А. Трэпка.

ФІЗЫКА.

КУРС VI КЛЯСЫ ГІМНАЗІІ.

МЭХАНІКА. ЦЯПЛЫНЯ.

Друкарня «Віленскага Выдавéцтва»
Б. Клéцкіна, Вільня, М.-Сьцяпанаўская, 23.
1922.

Гэты курс прытарнаваны да праграмы VI (III) клясы гуманістычнага тыпу і чытаецца ў 1-ай Віленскай Беларускай Гімназіі.

Сыстэматызаваны ён паводле падручніка Фізыкі Каліноўскага 1921 г. з невялікімі зьменамі і дапаўненьнямі.

Тэрмінолёгія апрацавана супольнымі сіламі вучыцялёў 1-ае Віленскае Беларускае Гімназіі.

УСТУП.

1. Матэрыя і цела. Усялякія прадметы, творы прыроды, усё, што мы пазнаём нашымі чуцьцямі, завецца фізычным целам. Калі мы зварочуем увагу толькі на вонкавую форму цела, кажам тады аб геомэтрычным целе.

Тое, з чаго целы складаюцца, завецца матэрыяй. Прыкл.: цэгла—цела, гліна—матэрыя, вада—матэрыя, хмара—цела.

2. Зьявішчам завецца ўсякая зьмена, якой падлягаець цела або матэрыя. Калі пры гэтым не зьмяняецца істота матэрыі, г. зн. яна астаецца тэй самай, зьявішча будзе фізычнае. Гэтымі зьявішчамі і займаецца фізыка.

Калі-ж матэрыя праходзіць глыбейшыя ўнутраныя зьмены, якія зьмяняюць яе ўласьцівасьці, зьявішча завецца хімічным і належыць да прадмету хіміі.

Дзеля таго, што паміж фізычнымі і хімічнымі зьявішчамі нельга правесьці ў іншых выпадках точнае мяжы, у вапошнім часе паўстала новая навука фізычная хімія.

Пр.: параваньне вады — фізычнае зьявішча, згараньне дроў — хімічнае зьявішча.

3. Спасьцярога і дасьлед. Фізыка, як і ўсе іншыя прыродазнаўчыя навукі, дабываець і зьбіраець ведамасьці пры падмозе спасьцярогі і дасьледу і з іх рэзультатаў выводзіць законы, гіпотэзы і тэорыі, карыстаючыся матэматыкай, якая ў формулах дазваляець выражаць тое, што чалавек пазнаў чуцьцём.

Спасьцярогай завецца дзейнасьць чалавека, калі зьявішча ідзець без яго волі, калі яно пачалося і канчаецца без яго мяшаньня, калі ён ня можа сам паўтарыць яго да волі. Пр.: зацьменьне сонца.

Дасьледам завецца дзейнасьць чалавека, калі ён сам вызываець, ствараець якое зьявішча, калі ён па сваёй волі можа зьмяняць тыя, ці іншыя абставіны зьявішча, прыкл., паданьне цел.

4. Закон, гіпотэза і тэорыя. Фізычным законам завецца сталая, нязьменная залежнасьць паміж прычынай і вынікам, выражаная ў словах, або ў матэматычнай формуле.

Гіпотэзай завецца дапушчэньне, якое аб'ясьняець якіясь групы зьявішч. Закон кажаць суха, што якоесь зьявішча вызываець іншае; гіпотэза стараецца аб'ясьніць, чаму гэта дзеецца. Пр.: гіпотэза аб быцьці малекулаў і атомаў.

Гіпотэза, калі яна аб‘ясьняе вялікшую лічбу зьявішч, або некалькі гіпотэзаў, зьвязаных паміж сабой, складаюць тэорыю. Пр.: атомная тэорыя абымаець пагляды ня толькі на будову матэрыі, але і на істоту цяплыні, электрыкі і г. д.

Гіпотэзы і тэорыі зьяўляюцца няпеўнымі часткамі навукі, законы застаюцца нязьменнымі, як выяўленьні праўды.

ЧАСЬЦЬ I.

МЕРАНЬНЕ і АДЗІНКІ.

1. **Мераньне** якой-не́будзь велічыні ёсьць прыраўнаньне яе да іншае велічыні таго-ж роду, прынятае за адзінку.

Пр.: даўжыню можна мераць сажнем, аршынам, футам, соткай, цэнтымэтрам, мэтрам і г. д.

2. **Адзінка даўжыні.** За адзінку даўжыні ў навуцы прыняты мэтр і яго часткі. Гэтая мера была сто гадоў таму назад прынята ў Францыі. Яна роўна даўжыні паміж дзьвюма рыскамі на дручку, зробленым з мешаніны плятыны з ірыдам і пераховаваным у Міжнародным Бюро Памераў у Францыі. Пры гэтым тэмпэратура дручка павінна быць 0°.

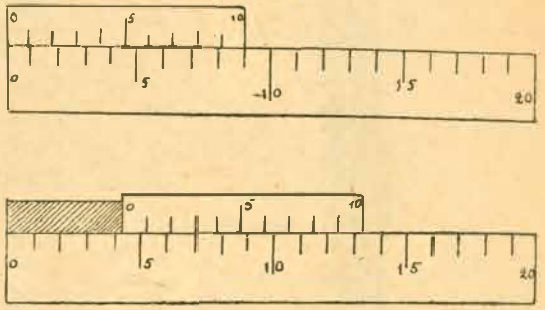
Даўжыню гэтую стараліся ўзяць з прыроды і зрабіць роўнай 1 : 40.000.000 даўжыні парыскага мэрыдыяна. Аднакжа пазьнейшыя памеры паказалі, што мэрыдыян мае 40.008.000 мэтраў. Больш точныя памеры можа дадуць яшчэ іншую розьніцу, а таму мэтр гэта ёсьць даўжыня дручка, што пераховуецца ў Францыі.

Ужываюцца яшчэ гэтакія адзінкі даўжыні, утвораныя з мэтра на аснове дзесятковае сыстэмы:

1 кілёмэтр (Km) — 1000 мэтраў
1 гэктомэтр (Hk) — 100 мэтраў
1 дэкамэтр (Dk) — 10 мэтраў
1 мэтр (m) — мэтр
1 дэцымэтр (dm) — 0,1 мэтра
1 цэнтымэтр (cm) — 0,01 мэтра
1 мілімэтр (mm) — 0,001 мэтра
1 мікрон (μ) — 0,001 мілімэтра
1 мілімікрон (μμ) — 0,001 μ. — 0,000001 mm.

У навуцы ўсяго сьвету прыняты за адзінку цэнтымэтр (cm).

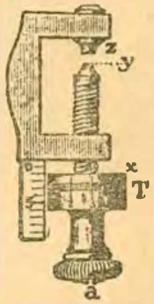
3. **Прылады дзеля мераньня даўжыні** Найзвычайнейшая прылада дзеля памеру даўжыні ёсьць лінейка, істужка, ланцуг і іншыя, падзеленыя на часткі мэтра. Да аднаго канца меранае даўжыні дастаўляецца рыска меркі з знакам 0 і на гэтай самай мерцы чытаюць тую рыску, да якое даходзіць другі канец дадзенае даўжыні. Аднача рэдка здараецца, каб можна было з пеўнасьцяй сказаць, што дадзеная даўжыня канчаецца якраз на рысцы меркі. І вось патрэбна яшчэ прылада, якая-бы точна мерала часткі падзелкі меркі (звычайна мілімэтра). Гэтая прылада ёсьць ноніус. Ноніус гэта другая дадаткавая лінейка, у якой даўжыня дзесяцёх (10) падзелак раўняецца дзевяцём (9) падзелкам асноўнае меркі, г. зн. даўжыня паміж дзьвюма рыскамі ноніуса раўняецца 0,9 даўжыні паміж дзьвюма рыскамі асноўнае меркі. (рыс. 1).



Рыс. 1.

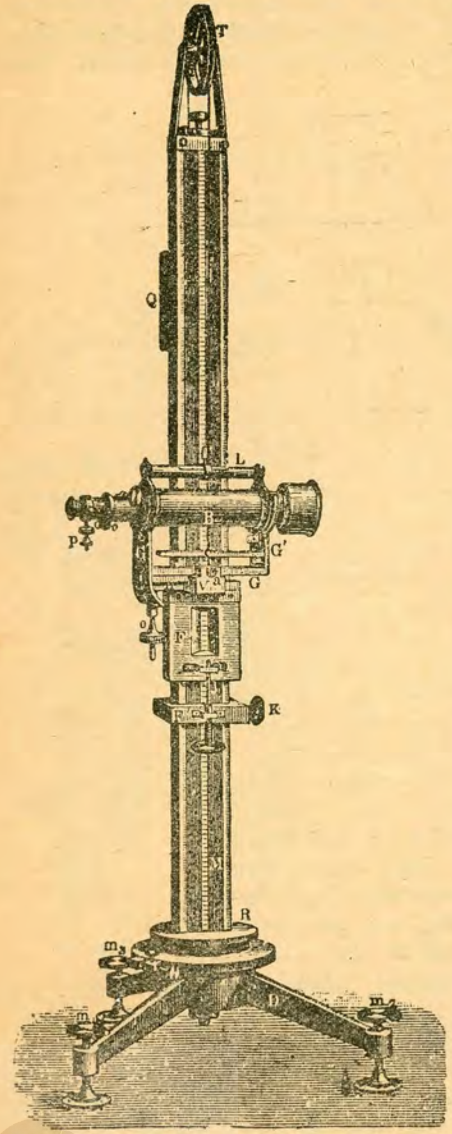
Ноніус дастаўляецца да меранае даўжыні, і тады глядзяць, якая рыска ноніуса зыходзіцца з рыскамі меркі. Гэтулькі дзясятых доляў будзе ў дадзенай даўжыні звыш цэлых падзелак, якіх лічбу проста чытаем на асноўнай мерцы. Пр.: дадзеная даўжыня займаець 4 падзелкі асноўнае меркі, а ноніус стаіць так, што яго 3-я рыска зыходзіцца з рыскай меркі. Значыць, мераная даўжыня будзе 4,3.

Вінт даець магчымасьць рабіць дужа точныя памеры. У часе аднаго абарота вінта ўвесь вінт перасунецца на адзін скок (г. зн. адлежнасьць паміж двума раўкамі на вінце). Уставіўшы вінт у вадну ножку абоймы ў форме літары U, мы можам точна мераць адлежнасьць паміж другой ножкай гэтае самае абоймы і канцом вінта. Гэткая прылада завецца мікромэтрам (рыс. 2). Яна дужа точная. Запраўды, калі возьмем вінт з скокам 0,5 mm, а галоўку яго падзелім на 500 роўных частак, тады, пакруціўшы галоўку вінта на 1 падзелку, мы дастанем рух канца вінта ў 1 мікрон, г. зн. гэтым мікромэтрам мы можам мераць з точнасьцяй да 1 мікрона.



Рыс. 2.

Да прыладаў, мераючых даўжыню, належыць катэтомэтр. Гэта ёсьць прылада, якая мерае адлежнасьць аднаго пункту ад другога па стоцьнай лініі Яна складаецца (рыс. 3) з слупка з падзелкамі, стаячага на трох ножках, па якім ходзіць люнэта, г. зн. коўная (мэталёвая) рулька з павялічальнымі шкламі і пастаўленымі накрыж павуцінкамі. Праз гэтую люнэту глядзяць на адзін канец меранага прадмета і зацемляваюць рыску падзелкі на слупку пры падмозе ноніуса. Патым перастаўляюць люнэту так, каб праз яе ў месцы скрыжаваньня павуцінак быў відаць другі канец меранага прадмета, і так сама чытаюць вышыню на слупку. Розьніца гэтых памераў і даець даўжыню меранага прадмета на стоцьнай лініі.

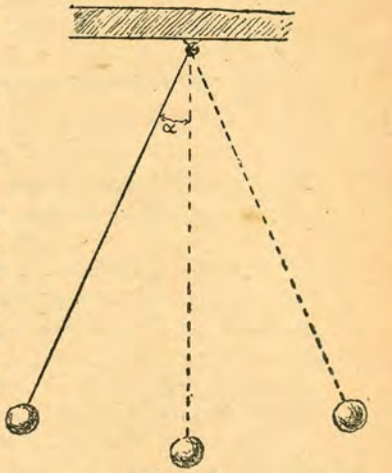


Рыс. 3.

Устаўка слупка ў точна стоцьным, а люнэты ў лежнявым кірунку робіцца пры падмозе вадзяное вагі. Вадзяная вага складаецца з шкляное выгнутае трохі рулькі, блізу зусім напоўненае якой-нéбудзь жыжкай (вадой, сьпіртам), у якой застаецца толькі маленькая бурбалка паветра. Рулька ў аправе, якая і ставіцца на прадмет, які трэба вырыхтаваць. Бурбалка паветра імкнецца заняць найвышэйшае месца. І калі рыхтаваная вярхніна будзе лежнявой, то яна стаіць якраз пасярэдзіне рулькі. Дзеля спасьцераганьня зроблены рыскі на рульцы.

4. Адзінка часу. З прычыны кружнага руху зямлі навокал свае восі, сонца і зоркі апісуюць кругі па небе. Калі якое нябеснае цела займаець найвышэйшае або найніжэйшае палажэньне на гэтым сваім крузе, то кажам, што яно кульмінуець. У астрономіі верхняя кульмінацыя сонца лічыцца пачаткам сонечнае пары, якая, значыць, цягнецца ад аднае кульмінацыі да наступнае. Дзеля прычын, аб якіх будзе гутарка ў касмографіі, сонечная пара не заўсёды маець роўную даўжыню: улетку яна карацейшая, узімку даўжэйшая. Таму ў навуцы прынята нейкая сярэдняя пара, вылічаная як сярэдняя з усяго году. Гэтая пара дзеліцца на 24 гадзіны, кожная гадзіна на 60 мінут, мінута на 60 сэкунд. І вось сэкунда прынята ў навуцы, як адзінка часу, яна раўняецца 1:(24.60.60)=1:86400 сярэдняе пары.

5. Прылады для мераньня часу. Агульна ведамай прыладаю зьяўляецца гадзіньнік, які паказуе сярэдні час. Яго асноўнай часткай зьяўляецца матач (рыс. 4). У найпрасьцейшай форме матач гэта ёсьць кулька, звычайна коўная, павешаная на нітцы. У супакоі матач заховуе точны стоцьны кірунак. Калі-ж адхінуць яго ў бок і пусьціць вольна, кулька будзе матацца навокал даўнейшага палажэньня раўнавагі. Час паміж часіною (мамэнтам) найвялікшага адхіненьня ад стоцьнае лініі ў адзін бок і часіною беспасярэдня чароднага найвялікшага адхіненьня ў другі бок завецца часам матаньня. Час матаньня матача тэй самай даўжыні ў розных мясцох зямлі розны, але ўсе матачы тае самае даўжыні ў тым самым месцы зямное кулі маюць той самы час матаньня пад варункам, каб адхіненьне ад стоцьнае лініі, г. зн. прастор матаньня, быў дужа невялікі. Мы можам выбраць такой даўжыні матач, каб яго час матаньня раўняўся 1 сэкундзе, гэта будзе сэкундны матач для дадзенага месца. У апісаным матачу прыцяганьне зямлі ёсьць тэй сілаю, якая выклікаець матаньне. Гэтае самае зьявішча можа быць выклікана і пружынай, пр., у прыладзе, што ўжываецца ў музыцы і называецца мэтроном. Перасовуючы гірку, зьмяняем час матаньня мэтронома. У практыцы ўжываецца часта сэкундамер, які мае мэханізм і выгляд гадзіньніка, але без гадзіннай і мінутнай стрэлкі. Па вялікаму колу бегаець сэкундная стрэлка, а мінутная маець свае кола. Націск на галоўку пушчаець у рух мэханізм, другі націск застанаўляець стрэлкі, трэці даводзіць іх да нуля.



Рыс. 4.

6. Інэрцыя і маса. Каб скрануць з месца драўляную кулю, патрэбен нейкі высілак. Гэты высілак шмат большы, калі куля будзе зялезная тае самае велічыні. Калі такая куля ў руху, то так сама, каб застанавіць яе, патрэбна нейкая перашкода і мацнейшая для зялезнай кулі, чымся для драўлянай. Такой перашкодай у прыродзе зьяўляецца церце. Чым церце менш, тым вялікшую дарогу пройдзець цела перш, чым застановіцца, і калі-б церця, або іншых перашкод ня было, дык і змень у руху цела ня было-б.

Кожнае цела, бяз вонкавае прычыны, не зьмяняець свайго стану руху ці спакою, у якім яно было дагэтуль. Гэтая ўласьцівасьць завецца інэрцыяй.

Уласьцівасьць гэтая ёсьць супольная ўсім целам, але адны маюць яе быццам у вялікшай ступені, чымся іншыя, пр., зялезная і драўляная куля. Тую прычыну, якая выклікаець розьніцу ў велічыні інэрцыі цел, мы завём масаю цела і кажам: зялезная куля маець большую масу, чымся драўляная ў тым самым абыйме.

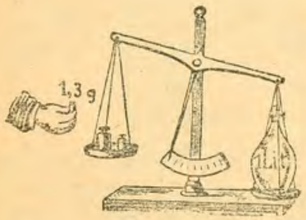
Масу цела можам прыраўнаць, а значыцца і памераць.

7. **Адзінка масы** ўстаноўлена разам з адзінкай даўжыні, мэтрам. Гэта ёсьць маса кілёграма, які пераховуецца ў Парыжы. Ён зроблены з мешаніны плятыны і ірыда і павінен быў важыць гэтулькі, колькі важыць вада ў абыйме 1 кубічнага дэцымэтра пры 4^0 Цэльзія і ціску 760 mm слупка ртуці.

Выявілася аднача, што гэты кілёграм розьніцца ад паказанага цяжару вады.

Кілёграм дзеліцца на часткі па дзесятковай сыстэме і вось як:

1 тонна — 1000 кілёграмаў.
1 кілёграм (Kg) — 1000 грамаў
1 гэктограм (Hg) — 100 грамаў.
1 дэкаграм (Dg) — 10 грамаў.
1 грам (gr)
1 дэцыграм (dg) — 0,1 грама.
1 цэнтыграм (cg) — 0,01 грама.
1 міліграм (mg) — 0,001 грама.



Рыс. 5

У навуцы прыняты за адзінку масы 1 грам (gr), г. зн. адна тысячная частка Парыскага кілёграма.

8. **Прылады дзеля памеру мас.** Дзеля прыраўнаньня, г. зн. памеру масы служаць гіркі, г. зн. як найтачнейшыя копіі Парыскага кілёграма і яго частак, зробленыя з кову. Прыраўнаньне адбываецца на вагах (рыс. 5). На аднэй шальцы кладзём цела няведамае масы, а на другой гіркі ажно да дастаньня поўнае аднавагі (раўнавагі).

Рыс. 6.

9. **Адзінкай вярхніны** зьяўляецца квадратны цэнтымэтр, г. зн. квадрат, які мае кожны бок роўны 1 цэнтымэтру, і квадратратныя меры, выведзеныя з розных мэтрычных адзінак даўжыні.

Адзінкай абыйма зьяўляецца кубічны цэнтымэтр, г. зн. куб, які маець усе лінейныя разьмеры роўныя 1 cm., і іншыя кубічныя меры, выведзеныя з іншых мэтрычных адзінак даўжыні.

Пр. $1\ m^2 = 100\ dm^2 = 10000\ cm^2$
$1\ m^3 = 1000\ dm^3 = 1000000\ cm^3.$

У практыцы ўжываецца 1 літр, які раўняецца 1 dm^3. Дзеля памеру абыйма ўжываецца цыліндар з падзелкамі ў cm^3, які завецца мэнзуркаю (рыс. 6).

10. **Спосабы мераньня вярхніны і абыйма.** Мераючы даўжыню, мы беспасярэдна раўнуем яе да адзінкі даўжыні, пр., прыкладваем да яе дручок з цэнтымэтровай падзелкай Пры мераньні вярхніны і абыйма мы наўперад карыстаемся геомэтрыяй, якая нас вучыць, як можна аблічыць вярхніну і абыймо правільных фігур і цел, калі ведамы іх лінейныя разьмеры. Пр., вярхніна трыкутніка раўняецца палове множыва яго асновы на вышыню. Памераўшы аснову ($AB=b$ cm.) і вышыню ($CD=h$ cm.), дастанем: вярхніна $\Delta\ ABC = 1/2\ bh\ cm^2$.

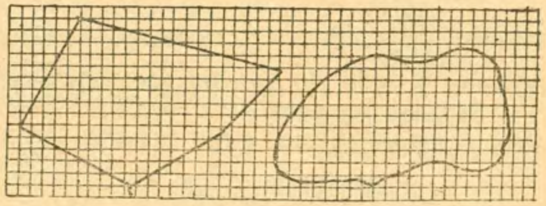
Абыймо прызмы раўняецца множыву яе асновы на вышыню. Калі пр. аснова будзе раўналежнабокі чатыракутнік з асновай $= b$ cm. і вышынёй $= h$ cm., а вышыня прызмы будзе H cm., то абыймо прызмы будзе:

$$V = bhH\ cm^3$$

У гэтых выпадках заместа памеру вярхніны і абыйма мы робім памер лінейных вялічынь і, карыстаючыся формуламі, аблічаем вярхніну і абыймо.

Аднак, не заўсёды маем магчымасьць так паступаць, а гэта бываець, калі вярхніна і абыймо ня ёсьць правільныя фігуры і целы. Тады дзеля памеру вярхніны ужываецца плянімэтр. Гэтая прылада аснована на тым, што, пасьля яе ўстаўкі, вострай ножкай яе абводзяць контур плоскае фігуры і дастаюць нейкую даўжыню, якая будзе прапорцыянальнай да вярхніны фігуры, скуль ужо аблічаюць вярхніну.

Апроч таго ўжываецца празрыстая папера з мілімэтровай сеткай. Яе накладаюць на фігуру, якой вярхніна шукаецца, і лічаць тады клеткі.



Рыс. 7.

Яшчэ дужа ўжываны спосаб апіраецца на тым, што з паперы выразаюць фігуру, якой вярхніна шукаецца, і гэтую папяровую фігуру важаць. Патым важаць нейкую іншую фігуру, выразаную з тае́ самае паперы, але ўжо такое формы, каб можна было ведаць яе вярхніну, пр., 1 квадратны дэцымэтр. Прыраўнаньне цяжараў гэтых дзьвюх фігур і дасьць шуканую вярхніну.

У фізыцы дзеля памераў абыйма ўжываецца мэнзурка, якую напаўняюць вадой да ведамай рыскі, а пасьля ў яе акунаюць тое цела, якога абыймо шукаецца. На колькі паднялася вада, гэтулькі і будзе мець абыйма дадзенае цела.

11. **Вялічыні прапорцыянальныя. Коэфіцыэнт прапорцыянальнасьці.**

Дзьве вялічыні завуцца прапорцыянальнымі, калі пры ўсялякіх зьменах, якія могуць у іх быць, яны заховуюць сталыя адносіны паміж сабой. Пр., кола круга і яго дыамэтр, г. зн. кола круга$=$l раўняецца дыамэтру$=$d памножанаму на сталую велічыню π (пі):

$l=\pi d$; тутака π будзе коэфіцыэнтам прапорцыянальнасьці.

Так сама дыамэтр круга раўняецца заўсёды яго радыусу, памножанаму на 2 (коэфіцыэнт прапорцыянальнасьці).

Г. зн. сталыя адносіны паміж дзьвюма зьменнымі вялічынямі завуцца коэфіцыэнтам прапорцыянальнасьці.

12. Гушчыня. Адзінка гушчыні. Зялезная куля таго самага абыйма, што і драўляная, маець вялікшую масу за драўляную. Агулам, кулі роўнага абыйма, але з розных матэрыяў, будуць мець розныя масы.

З другога боку, рознае велічыні целы з тае́ самае матэрыі так сама маюць розныя масы ў залежнасьці ад абыйма: цела ў два разы вялікшае будзе мець масу ўдвая вялікшую і г. д. Значыць, пры ўсялякай зьмене абыйма (пры тэй самай тэмпэратуры і вонкавым ціску, аб чым будзем казаць дале́й) адносіны масы да абыйма застаюцца сталымі, г. зн. яны будуць коэфіцыэнтам прапорцыянальнасьці.

Гэтыя адносіны масы да абыйма для дадзенай матэрыі называюць гушчынёй. Калі цела маець масу m gr. (г. зн. важыць), а абыймо яго раўняецца v cm³, то гушчыня, якую назавем d, будзе:

$$d = \frac{m\ gr.}{v\ cm^3} = \frac{m}{v} \times \frac{gr.}{cm^3} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (1)$$

Каб гэтае раўнаваньне было справядлівым, трэба, каб d мела разьмер $\frac{gr.}{cm^3}$. Значыць, гушчыня маець разьмер масы, дзеленай на даўжыню ў кубе, бо абыймо маець разьмер даўжыні ў кубе.

Залежна ад таго, якімі будзем карыстацца адзінкамі масы і даўжыні, гушчыня можаць мець разьмер:

пуды : футы ў кубе . . . $\frac{пуд}{фут^3}$

кілёграмы : мэтры ў кубе . . . $\frac{Kg}{m^3}$

грамы : цэнтымэтры ў кубе . . . . $\frac{gr.}{cm^3}$ і г. д.

Гэтая апошняя адзінка для гушчыні матэрыі і ўжываецца выключна ў навуцы.

13. Адносная гушчыня. Вышэй мененая гушчыня завецца яшчэ абсолютнай гушчынёй, дзеля таго, што яна выражаець адносіны масы цела да абыйма таго самага цела і маець іме́нную адзінку дзеля памераў (пр. gr : cm³).

Яе трэба адрозьняваць ад адноснае гушчыні. Няхай мы маем два целы: адно маець m_1 gr масы пры v_1 cm³ абыйма і абсолютная гушчыня яго $= d_1$ будзець:

$$d_1 \ \frac{gr}{cm^3} = \frac{m_1}{v_1} \ \frac{gr}{cm^3},$$

другое цела маець m_2 gr масы, v_2 cm³ абыйма і яго абсолютная гушчыня d_2 будзе:

$$d_2 \ \frac{gr}{cm^3} = \frac{m_2}{v_2} \ \frac{gr}{cm^3},$$

Калі мы возьмем адносіны гушчыні абодвух цел, то дастанем:

$$D = d_1 \ \frac{gr}{cm^3} : d_2 \ \frac{gr}{cm^3} = \frac{m_1}{v_1} \ \frac{gr}{cm^3} : \frac{m_2}{v_2} \ \frac{gr}{cm^3}$$

$$\text{або } D = \frac{d_1}{d_2} = \frac{m_1 \ v_2}{m_2 \ v_1} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (2).$$

Велічыня D зьяўляецца ўжо бязыме́ннай лічбай, бо найменьні ўсіх уваходзячых у раўнаваньне вялічынь скарочуюцца.

Калі у гэтым (2) раўнаваньні прымем d_2 за адзінку гушчыні, г. зн. прымем, што

$$d_2 = \frac{m_2}{v_2} = 1$$

то дастанем адносную гушчыню першага цела D (бязыме́нную лічбу).

За адзінку гушчыні прыймаецца ў навуцы і практыцы гушчыня дэстыляванае вады пры 4° C і 760 mm слупка ртуці. І вось, адноснай гушчынёй завуцца адносіны абсолютнай гушчыні цела да гушчыні вады пры 4° C і 760 mm.

Памер адноснае гушчыні робіцца вось як: дадзенае цела бяруць у тым самым абыйме, што і ваду, г. зн. $v_1 = v_2$, і важаць і цела і ваду; тады раўнаваньне (2) будзець такое:

$$D = \frac{m_1 \ v_1}{m_2 \ v_1} = \frac{m_1}{m_2}$$

Дзеля гэтага дасьледу ўжываецца або мэнзурка, аб якой казалася вышэй, або лепш пікномэтр, г. зн. бутэлька з шкляным коркам, праз які праходзіць тэрмомэтр, і з рулькай, па якой мераюць абыймо жыжкі. Пр. трэба даведацца адносную гушчыню сьпірту. У пікномэтр наліваюць сьпірт да рыскі на рульцы і важаць, зацеміўшы тэмпэратуру і ціск. Дасталі, пр., цяжар пікномэтру і сьпірту 121 гр. Патым выліваюць сьпірт і наліваюць ваду і ўзноў важаць. Дасталі пр. 130 гр. Далей важаць пікномэтр і дастаюць яго цяжар, пр. 85 гр. Тады:

Рыс. 8.

$$m_1 \text{ (сьпірту)} = 121 \text{ gr.} - 85 \text{ gr.} = 36 \text{ gr.}$$

$$m_2 \text{ (вады)} = 130 \text{ gr.} - 85 \text{ gr.} = 45 \text{ gr.}$$

$$\text{і для сьпірту } D = \frac{m_1}{m_2} = \frac{36}{45} = 0{,}8$$

Табліца адноснае гушчыні некаторых матэрый.

Плятына .	21,5	Шкло цяжкое .	3 і болей	Ртуць (18^0) . .	13,552
Золата. .	19,32	Шкло лёгкае .	2,4 –2,7	Гліцэрына . .	1,24
Волава. .	11,37	Лёд (0^0) . . .	0,917	Паветра (0^0 і 760 mm)	0,001293
Срэбра. .	10,53	Дрэва дубовае .	0,82		
Медзь . .	8,9	„ яловае .	0,56	Тлён (0^0 і 760 mm)	0,001429
Зялеза. .	7,86	Корак	0,24	Азот „	0,001251
Цынк . .	7,15	Ртуць (0^0) . .	13,596	Водар „	0,000090

14. Асноўныя і вывадныя адзінкі. Вышэй мы пазналі адзінкі даўжыні, часу і масы, якія былі „выдуманы“, можна сказаць, людзьмі. Далей мы пазналі адзінкі вярхніны, абыйма і гушчыні. Гэтыя мы вывозілі з першых. І вось тыя тры першыя мы называем асноўнымі, бо на іх асновааны агулам усе памеры, а ўсе іншыя адзінкі завуцца вывадны мі, бо яны выводзяцца з асноўных.

Сыстэма мер, у якой усе адзінкі выводзяцца з трох асноўных: адзінкі даўжыні (cm), часу (sec) і масы (gr), завецца абсолютнай, або каротка сыстэмай CGS. (цэжээс).

Раўнаваньне, якое выражаець залежнасьць вывадное адзінкі ад асноўных, завецца разьмерам адзінкі і абазначаецца вось як:

вярхніна $[P] = [L^2]$ або $[cm^2]$

абыймо $[V] = [L^3]$ або $[cm^3]$

абсол. гушчыня $[d] = \left[\frac{M}{L^3}\right]$ або $\left[\frac{gr}{cm^3}\right]$

ЧАСЬЦЬ II.

Мэханіка.

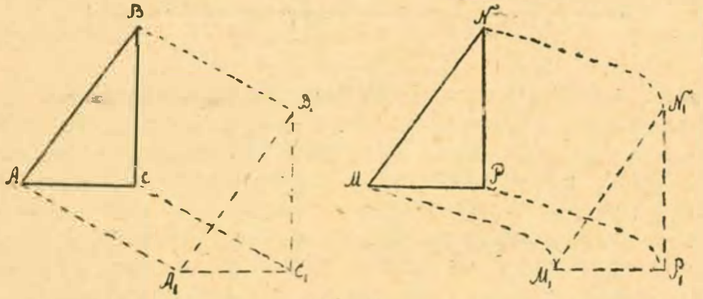
АДДЗЕЛ I. РУХ ПАСТУПНЫ.

15. Супакой і рух. Мы можам казаць аб палажэньні дадзенага цела толькі тады, калі ёсьць іншыя целы, адносна да якіх мы абмежуем яго палажэньне. Калі палажэньне цела адносна да гэтых цел не зьмяняецца, то кажам, што цела знаходзіцца ў супакоі, калі-ж яно зьмяняецца, кажам, што яно ў руху.

У цягніку чалавек будзе, кажам, у руху, калі ён ідзець праз вагон; калі ён сядзе, ён будзе ў супакоі, але толькі адносна да вагона. Сам-жа вагон, калі. цягнік ідзець, будзе ў руху адносна да станцыі, лясоў, дамоў, поля. Гэтыя-ж усе рэчы разам з зямной куляй — у кружным руху навокал восі зямлі, навокал сонца, а разам з сонцам — у руху адносна да зорак.

Усё на сьвеце ў руху і абсолютнага супакою няма, і толькі ў вышэй абазначаным разуменьні мы можам казаць аб супакоі, або руху цела. І, значыць, такі або іншы нарыс зьявішча залежыць у значнай меры ад нашага пункту гледжаньня.

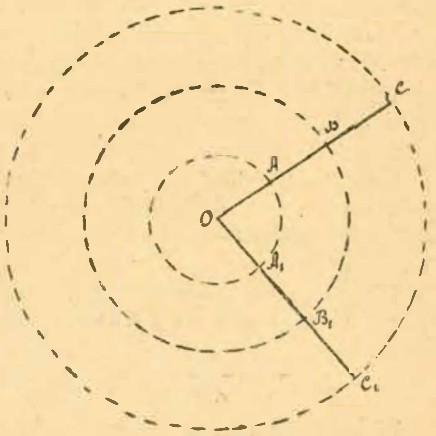
16. Рух паступны і кружны. Калі цела рухаецца так, што ўсе пункты рухаюцца зусім аднолькава, то гэткі рух завецца паступным, пр., перасовуючы трыкутную лінейку па паперы так, каб кожны з вяршкоў яе апісаў тую самую лінію (рыс. 9). Тады і ўсякі іншы пункт на лінейцы апіша тую самую лінію. І вось адсюль вынікае, што пры паступным руху ўсякая простая, праведзеная праз 2 пункты рухаючагася цела, застаецца ўвесь час раўналежнай да сябе самой.



Рыс. 9

Лінія, па якой рухаецца цела, завецца траэкторыяй цела; частка яе, якую прайшло, праходзіць, ці пройдзець цела—дарогай цела. Пры паступным руху траэкторыі і дарогі ўсіх пунктаў цела зусім аднолькавы.

Кола на вазе, матач у гадзіньніку могуць служыць прыкладамі кружнага руху (рыс. 10). Пры гэтым руху ёсьць адзін, або шмат пунктаў, якія ляжаць на лініі, што ня рухаецца, і якая завецца восяй кружэньня, пр. зямная куля кружыцца навокал сваё восі. Зямля кружыцца навокал сонца, але толькі адну лінію можна правесьці цераз зямлю: гэта яе вось, якая застаецца ўвесь час раўналежнай сама сабе. Усякая іншая лінія не захоўвае раўналежнасьці ў часе кружнага руху зямлі навокал сонца.



Рыс. 10.

Усякі рух будзе або паступным, або кружным, або комбінацыяй гэтых двух рухаў.

17. **Рух прасталінейны і крывалінейны.** Рух паступны бываець прасталінейным, калі траэкторыя цела ёсьць лінія простая, і крывалінейным, калі траэкторыя цела ёсьць лінія крывая.

18. **Рух раўнамерны і зьменны.** Каб пазнаць рух цела, трэба зьвярнуць увагу яшчэ і на тое, як прабягаець сваю дарогу пункт цела. Запраўды, на прабег розных частак свае дарогі цела можа патраціць розны час. Пр.: цягнік на станцыях стаіць, з гары ідзець барджджэй, а ў гару цягнецца памалу.

Рыс. 11.

І вось, калі ў усялякіх свабодна выбраных роўных часох цела прабягае роўныя дарогі, рух будзе раўнамерным. Пр.: калі якоесь цела (рыс. 11) прабягаець роўныя дарогі AB=BC=CD у роўны час, пр., у 1 сэкунду, то гэта яшчэ ня значыць, што рух будзе раўнамерным, бо, пр., BC яно магло прайсьці так, што задзержавалася на нейкую частку $(^1/_4)$ сэкунды гдзесьці паміж B і C, а ў руху яно было толькі $^3/_4$ сэкунды. Раўнамерным рух будзе тады, калі на ўсёй дарозе AD яно праходзіць у 0,1 сэк. дарогу AB : 10, у 0,01 сэк. дарогу AB : 100 і г. д.

Зразумела, што пры раўнамерным руху пункт прабягае дарогу ў 2, 3, 4 і г. д. разы большую ў часох у 2, 3, 4 і г. д. разы вялікшых. Значыць, дарога пры раўнамерным руху прапорцыянальна да часу, г. зн. адносіны паміж дарогай і часам сталыя.

Зьменным рухам завецца такі, у якім не захавана прапорцыянальнасьць адносін паміж дарогай цела і часам руху.

19. **Скорасьць раўнамернага руху.** Ужываюцца такія выражэньні: цягнік мае скорасьць 40 кілёмэтраў у гадзіну, куля маець скорасьць 700 мэтр. у сэкунду і г. д. Значыць, скорасьць гэта ёсьць нейкая ўласьцівасьць цела, уласьцівасьць часовая. Уласьцівасьць гэтая выяўляецца ў зьмене месца цела адносна да іншых цел. І вось можна казаць, што скорасьць ёсьць часовая ўласьцівасьць цела або пункту, якая выяўляецца ў яго руху.

Пры паступным раўнамерным руху памеры гэтае ўласьцівасьці цел аснованы на тым, што паміж дарогай цела і часам руху істнуюць сталыя адносіны. Гэтыя адносіны і зьяўляюцца велічынёй скорасьці.

Пр.: 1) цела прайшло раўнамерным рухам 25 кілёмэтраў у працягу 10 мінут. Яго скорасьць будзе:

$$\frac{25\ \text{km}}{10\ \text{min.}} = \frac{25}{10} \times \frac{\text{km}}{\text{min.}} = 2{,}5\ \frac{\text{km}}{\text{min.}}$$

2) Цела прайшло 60 мэтраў у 20 сэкунд. Яго скорасьць будзе:

$$\frac{60\ \text{m}}{20\ \text{sec.}} = 3\ \frac{\text{m}}{\text{sec.}} = 300\ \frac{\text{cm}}{\text{sec.}}$$

г. зн. трыста цэнтрымэтраў у сэкунду.

Значыць, скорасьць ёсьць велічыня іменная, маючая разьмер даўжыні дзеленай на час. Агулам кажучы, калі пры раўнамерным руху цела пройдзець дарогу s cm у t sec., то скорасьць яго v будзець:

$$v = \frac{s\ \text{cm}}{t\ \text{sec.}} = \frac{s}{t} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{sec.}}$$

Значыць, адзінкай скорасьці будзе такая скорасьць, з якой цела пройдзець адзінку дарогі ў адзінку часу. Залежна ад выбраных асноўных адзінак, мы можам мець адзінку скорасьці:

1 кілёмэтр у гадзіну
1 вярста ў мінуту
1 мэтр у сэкунду
1 цэнтымэтр у сэкунду і г. д.

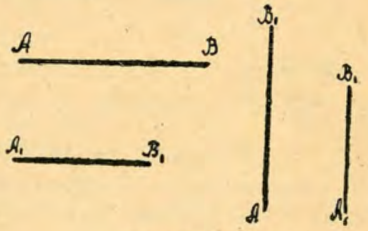
У сыстэме CGS за адзінку скорасьці прыймаецца

$$1\ \text{цэнтымэтр у сэкунду} = \frac{1\ \text{cm}}{\text{sec.}}$$

Перавод аднае адзінкі ў другую ёсьць звычайная арытмэтычная задача, пр.: перавядзём „1 кілёмэтр у гадзіну“ ў цэнтымэтры ў сэкунду:

$$\frac{1\ \text{km}}{1\ \text{гад.}} = \frac{100000\ \text{cm}}{60 \times 60\ \text{sec.}} = 27{,}(7)\ \frac{\text{cm}}{\text{sec.}}$$

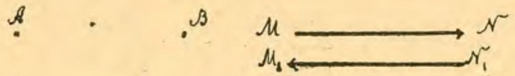
20. **Шкалевыя і кірункавыя вялічыні.** Дзеля ясьнейшага прыраўнаньня тых ці іншых ведамасьцей, выражаных у лічбах, ужываюцца адрэзкі простае лініі. Пр.: каб прыраўнаваць лічбу жыхараў у розных краінах, рысуюць рад простых ліній, якіх даўжыня прапорцыянальна да лічбы жыхараў у кожнай краіне. Тады разумеюць, што лічба жыхараў у ваднэй краіне ў гэтулькі разоў больш за лічбу жыхараў другой, у колькі разоў першая лінія даўжэйшая за другую. Такім самым спосабам можам прыраўнаць і час трываньня якіх-небудзь зьявішч, масы некалькіх цел і г. д.



Рыс. 12.

Гэтыя вялічыні завуцца шкалевымі, г. зн. такімі, якія ў ведамай шкалі (маштабе) выражаюць якуюсь арытмэтычную велічыню.

У іншых аднача прыпадках ня можна не зварочаваць увагі на кірунак лініі. Калі мы хочам паказаць, як пункт A перасунуўся ў B,

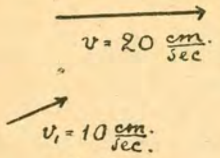


Рыс. 13.

то рух яго мы можам адцеміць лініяй MN з стрэлкай пры N. Лінія M_1N_1 з стрэлкай пры M_1 ўжо ня будзе адцемляваць гэтага руху, бо ён адбываўся ня ў той бок.

Гэткія шкалевыя вялічыні, якія паказуюць апроч арытмэтычнае велічыні зьявішча яшчэ яго кірунак, называюцца кірункавымі, або вэктарамі.

21. Скорасьць ёсьць кірункавая велічыня. Рух цела мы зьвязуем заўсёды з кірункам. Так сама і аб скорасьці мы маем паняцьце, што яна скіравана ў бок, у які адбываецца рух. Таму скорасьць ёсьць вялічыня кірункавая або вэктар.



Рыс. 14.

Пр.: Два пункты рухаюцца па сваіх траэкторыях. Першы маець скорасьць 20 cm/sec. другі 10 cm/sec. Гэтыя скорасьці мы можам прадставіць адрэзкамі простых, маючых тыя самыя кірункі, што адпаведныя траэкторыі, даўжыні, прапорцыянальныя да скарасьцей, і стрэлкі, пастаўленыя ў кірунку руху.

22. Раўнаваньне раўнамернага руху. Няхай простая лінія абазначаець траэкторыю пункту. На ёй мы прымем нейкі пункт 0, адносна да якога будзем адцемляваць палажэньне рухаючагася пункту. Зьменную адлежнасьць рухаючагася пункту ад сталага 0 назавём l

Рыс. 15.

з тэй умовай, што калі пункт знаходзіцца на права ад 0, то l будзе дадатнай велічынёй, г. зн. $+l$, калі-ж на лева ад 0, то l будзе адʻёмна, г. зн. $-l$. Рух пункту пачынаецца ад A, адлежнасьць яго ад 0 назавем $l_0 = OA$. Пункт рухаецца раўнамерна ў кірунку AB з скорасьцю v і прыходзіць у B праз t sec., прайшоўшы дарогу s. Пройдзеная дарога будзе раўняцца:

$$s = l - l_0 \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (1).$$

З другога боку, мы ведаем, што скорасьць пункту раўняецца дзелі дарогі на час, г. зн.:

$$v = \frac{s}{t}; \text{ скуль } s = vt \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (2).$$

Дзьве вялічыні, паасобку роўныя трэцяй, роўны паміж сабой, значыцца:

$$l - l_0 = vt,$$

$$\text{скуль } l = l_0 + vt \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (3).$$

Гэта ёсьць найагульнейшае раўнаваньне раўнамернага руху.

Прыклады: 1) знайсьці дарогу пункту, рухаючагася раўнамерным рухам з скорасьцю v = 5 cm/sec у працягу t = 8 sec. Раўнаваньне (2) даець:

$$s = 5 \text{ cm/sec} \times 8 \text{ sec} = 40 \text{ cm}.$$

З назовамі вялічынь мы паступаем, як з альгэбрычнымі вялічынямі, г. зн. скарочуем падобныя ў лічніку і назоўніку.

2) Пачатная адлежнасьць рухаючагася пункту ад сталага пункту $l_0 = 35$ cm., рух ідзець з права на лева з скорасьцю 8 cm/sec, г. зн. v = — 8 cm/sec. Знайсьці палажэньне пункту адносна да сталага пункту цераз t = 7 sec. Карыстаемся раўнаваньнем (3):

$$l = l_0 + vt = 35 \text{ cm} + (-8) \text{ cm/sec} \times 7 \text{ sec}.$$

$$l = 35 \text{ cm} - 8 \times 7 \text{ cm} = (35 - 56) \text{ cm} = -21 \text{ cm},$$

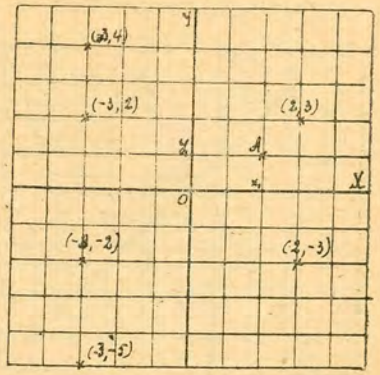
Гэта значыць, што рухаючыся пункт перайшоў за сталы пункт у лева і знаходзіцца ў адлежнасьці 21 cm ад яго.

3) Раўнаваньне руху: $l = 16t - 5{,}8$. Што абазначаюць лічбавыя вялічыні, калі t выражана ў sec., а даўжыня l у cm.? Раўнуючы да (3), бачым, што $l_0 = -5{,}8$ cm/sec., г. зн. пункт у пачатку свайго руху знаходзіцца на лева ад сталага пункту ў адлежнасьці 5,8 cm., і скорасьць яго v раўняецца 16 cm/sec.

4) Напісаць раўнаваньне руху, калі адлежнасьць пачатку дарогі ад сталага пункту раўняецца — 35 cm, а скорасьць 3 cm у sec. Адказ:

$$l = 3t - 35$$

23. Коордынаты. Дыаграмы. Калі трэба азначыць палажэньне пункту на роўнядзі, карыстаюцца мэтодаю так званых коордынатаў. Правядзём дзьве перасечныя пад простым кутом лініі; гэта будуць восі коордынатаў: горызонтная вось іксаў (X), стацьцявая — вось ігрэкаў (Y). Пункт перасеку іх завецца пачаткам коордынатаў. Калі маем нейкі пункт на роўнядзі, пр. A_1, то праводзім з яго стацьцявыя да восі іксаў і восі ігрэкаў. На восі X-аў дастаём даўжыню $0x_1$, адлежнасьць основы стацьцявой A_1x_1 ад пачатку коордынатаў; абазначаем гэтую даўжыню проста x_1. На восі Y-аў такім самым парадкам



Рыс. 16.

дастаём $0y_1$, адлежнасьць асновы A_1y_1 ад пачатку координатаў; абазначаем яе y_1.

Увядзём цяпер яшчэ ўмову, што тыя вялічыні x-аў, што ляжаць на права ад пачатку координатаў, будуць дадатнымі, г. зн. $+ x$, а тыя, што на лева ад 0, будуць ад'ёмнымі, г. зн. $- x$. Адносна вялічынь y-аў прымем, што тыя вялічыні, якія ляжаць вышэй за 0, будуць дадатнымі, г. зн. $+ y$, а тыя, што ніжэй за 0, ад'ёмнымі, г. зн. $- y$.

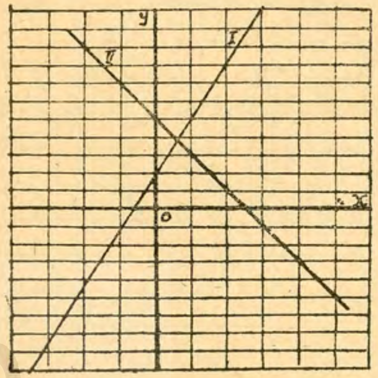
Цяпер палажэньне кожнага пункту на роўнядзі будзе зусім точна абмяжована яго координатамі. Пр.: 1) Маем нейкі пункт B. Пабудаваўшы яго координаты і памераўшы іх даўжыні, дастанем $x_b = - 3$ і $y_b = 7$. 2) Трэба знайсьці пункт C, які маец координаты $x_c = - 5$ і $y_c = - 3$. На восі X-аў адкладаем на лева ад пачатку координатаў 5 адзінак, а на восі Y-аў уніз ад 0 адкладаем 3 адзінкі і праводзім стацьцявыя да кожнай восі з гэтых пунктаў. Гдзе стацьцявыя перасякуцца, там і будзе ляжаць гэты пункт C. Дзеля таго, што дзьве простыя могуць перасякацца толькі ў адным пункце, дадзеныя вялічыні x і y абмяжуюць точна палажэньне шуканага пункту.

Возьмем цяпер нейкае раўнаваньне першае ступені з 2-ма няведамымі:

$$y = 3x + 2$$

Яно выражаец залежнасьць паміж x і y. Прымаючы для x чародна вялічыні 0, 1, 2, 3, 4 і г. д., дастаём для y:

x =	0	1	2	3
y =	2	5	8	11



Рыс. 17.

Знойдзем гэтыя пункты на рысунку 17 і злучым іх лініямі; тады пабачым, што яны ўсе ляжаць на аднэй простай. Падстаўляючы заместа x ад'ёмныя вялічыні, дастанем працяг тае самае простае, толькі ў бок ад'ёмных X-аў.

Калі возьмем раўнаваньне другое ступені, то дастанем нейкую крывую лінію. Аб гэтых лініях і іх раўнаваньнях вучыць нас аналітычная геомэтрыя.

Лініі простыя і крывыя, нарысаваныя ў координатнай сыстэме і выражаючыя залежнасьць паміж дзьвюма вялічынямі, завуцца дыаграмамі.

24. Дыаграма раўнаваньня раўнамернага руху. Возьмем нейкае раўнаваньне раўнамернага руху, пр.:

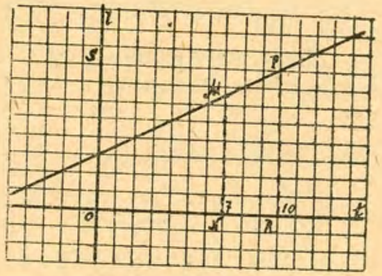
$$l = 3 + 0,5\ t$$

і ўмовімся адкладаць вялічыні t (час) на восі X-аў, а вялічыні l (адлежнасьць ад нейкага сталага пункту) на восі Y-аў. Укладзём табліцу для l у залежнасьць ад t:

t =	—8	—4	0	4	8	12	sec.
l =	—1	1	3	5	7	9	cm.

Нарысуем гэтыя пункты (рыс. 18). Усе яны будуць ляжаць на простай, і гэта будзе дыаграма раўнаваньня раўнамернага руху. З яе мы можам вычытаць некаторыя асаблівасьці гэтага руху.

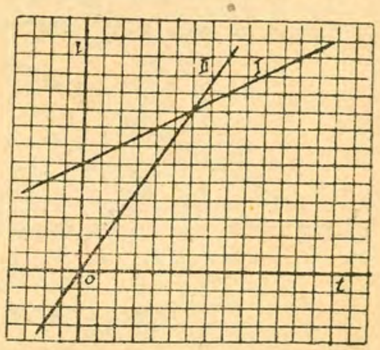
1) З яе мы дастаём для кожнае часіны адлежнасьць ад сталага пункту траэкторыі; пр. у апошнім прыкладзе трэба знайсьці гэтую адлежнасьць для часу t = 7 sec. На восі X-аў бяром пункт x = 7 і праз яго вядзём стацьцявую да восі X-аў аж да пункту, гдзе ён перасячэцца з лініяй руху. Даўжыня MN=6,5 будзе адлежнасьцяй l, якую мы шукалі.



Рыс. 18.

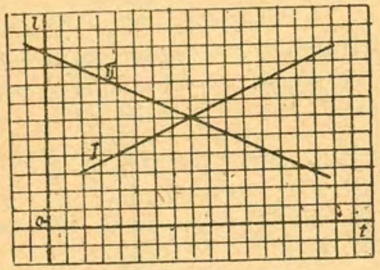
2) Знайсьці час, у якім адлежнасьць ад сталага пункту будзе l_a (пр. 8 cm.). На восі Y-аў бяром пункт S, для якога y = 8, і ведамым спосабам знаходзім пункт на лініі руху (P). Даўжыня SP = = OR = 10, памераная ў адзінках восі X-аў, і будзець гэтым часам.

3) Па аднэй траэкторыі (рыс. 19) рухаюцца ў тым самым кірунку 2 пункты, якіх раўнаваньні будуць: $l = 6 + 0,5t$. і $l = 1,5t$. Знайсьці час, калі другі пункт дагоніць першы. Дыаграмы паказуюць, што лініі перасякаюцца ў пункце A, г. зн. адлежнасьць іх у гэты мамэнт ад сталага пункту будзе тая самая. На восі X-аў чытаем, што гэты час будзе роўны t = 6 адзінак часу.



Рыс. 19.

4) Рысунак 20 прадстаўляе дыаграмы двух рухаючыхся пунктаў па тэй самай траэкторыі. Што з яго можна вычытаць?



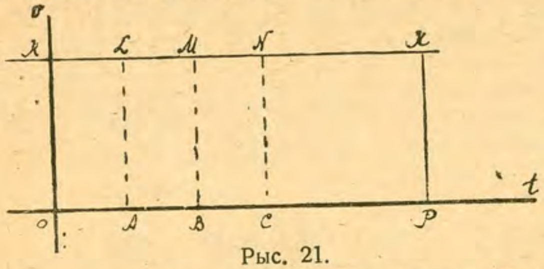
Рыс. 20.

25. Дыаграма скорасьці раўнамернага руху. Возьмем цяпер коордынаты і будзем на восі X-аў адкладаць час (г. зн. t), а на восі Y-аў скорасьць пункту, г. зн. v. Але скорасьць пры раўнамерным руху ёсьць велічыня сталая, г. зн. не зьмяняецца з часам. Інакш кажучы, ў кожнай часіне яна маець тую самую велічыню. Значыць, яе дыаграма будзе лінія простая, раўналежная да восі X-аў (рыс. 21).

Гэтую ўласьцівасьць скорасьці пры раўнамерным руху выражаюць вось як:

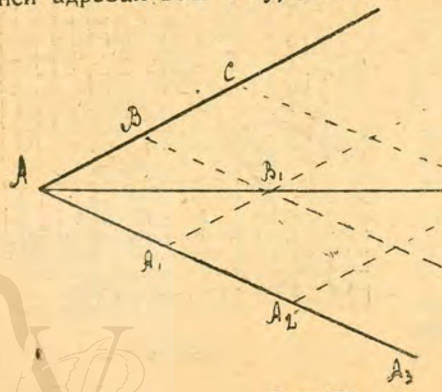
$$v = \text{const.}$$

Лацінскае слова „constans“ значыць „сталы, нязьменны“. У паасобных выпадках яна будзе раўняцца $v = 3$, $v = 7$....., гдзе 3, 7.. абазначаюць лічбу адзінак скорасьці ў кожным прыпадку.



Рыс. 21.

На дыяграме пункт P адпавядае якомусь часу, пр. t_1, а мы ведаем, што vt гэта ёсьць дарога цела за час t, значыцца vt_1 будзе дарога цела за час t_1. Гэтую-то дарогу і даець плошча прастакутніка ОНКР. Значыцца, памераўшы прастакутнік, асновай якога будзе адрэзак восі X-аў, а вышынёй адрэзак восі Y-аў, дастанем дарогу цела за дадзены час t_1.



Рыс. 22.

26. Складаньне раўнамерных рухаў. Дапусьцім, што нейкі пункт A (рыс. 22) рухаецца раўнамерна па сваёй траэкторыі ABC... і займаець у канцы першае адзінкі часу палажэньне B, у канцы 2-ое адзінкі часу палажэньне C і г. д. У тым самым часе траэкторыя ABC . . . рухаецца раўнамерна

па другой траекторыі $A_1A_2A_3 \ldots$, і яе пункт A займае па чародзе палажэньні: A_1 у канцы 1-ае адзінкі часу, A_2 ў канцы 2-ое адзінкі часу і г. д. Тады пункт B перасунецца па лініі BB_1, раўналежнай і роўнай AA_1, і займець у канцы 1-ае адзінкі часу палажэньне B_1. Пункт C у канцы 2 адзінкі часу займець палажэньне C_1, перасунуўшыся па лініі $CC_1 = AA_2$. І вось мы дасталі $\Delta\ AA_1B_1$ і $\Delta\ AA_2C_1$. Мы бачым, што гэтыя трыкутнікі падобныя: яны маюць $< AA_1B_1 = {}$ $= < AA_2C_2$, бо гэта ёсьць рух паступны, г. зн. траэкторыя ABC... рухаецца раўналежна сама да сябе; апроч таго

$$\frac{A_1B_1}{AA_1} = \frac{A_2C_1}{AA_2}$$

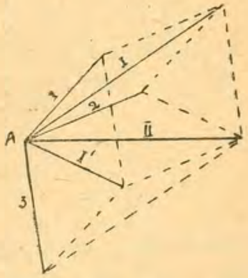
Значыцца, пункты B_1, C_1 і г. д. будуць ляжаць на аднэй простай, г. зн. запраўдная траэкторыя пункту A будзе лінія простая. Яна будзець дыаганаляю раўналежнабочніка, пабудаванага на абодвух складаных рухах.

Апроч таго, з падабнасьці гэтых трыкутнікаў $\Delta\ AA_1B_1$ і $\Delta\ AA_2C_1$ выплываець, што

$$\frac{AB_1}{AA_1} = \frac{AC_1}{AA_2} = \frac{B_1C_1}{A_1A_2}$$

Мы-ж прынялі, што $AA_1 = A_1A_2$, дык і $AB_1 = B_1C_1$; значыцца, пры руху, складаным з 2 раўнамерных, цела праходзіць у роўныя адзінкі часу роўныя дарогі, гэта значыць: раўнадзейны рух двух раўнамерных рухаў будзе таксама рухам раўнамерным.

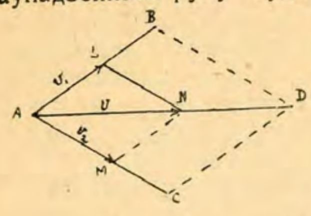
Калі заместа 2 рухаў будзе 3 ці больш рухаў (рыс. 23), у якіх знаходзіцца дадзены пункт, дык, складаючы першы (1) рух з другім (2), дастанем I раўнадзейны рух; складаючы I раўнадзейны з 3-ім рухам, дастанем II раўнадзейны, які будзе раўнадзейным рухам для ўсіх трох, і г. д.



Рыс, 23.

Як у арытмэтыцы ад парадку складаньня складанак сума не зьмяняецца, так і тут ад парадку складаньня рухаў раўнадзейны рух не зьмяняецца. Можам злажыць перш (1) з (3), дастанем I_1 раўнадзейны. Складаючы яго з (2), дастанем той самы II раўнадзейны рух.

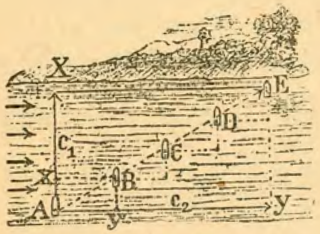
27. Складаньне скарасьцей. Вышэй мы даведаліся, што 2 раўнамерныя прасталінейныя рухі пункту складаюцца ў адзін прасталінейны раўнамерны раўнадзейны рух. Гэта значыць: калі дарога першага складанага руху будзе AB, другога AC, то дарога раўнадзейнага руху будзе AD (рыс. 24). Скорасьць кожнага руху мераецца адносінамі дарогі да часу; г. зн. скорасьць першага складанага руху будзе $v_1 = AB : t$, другога $v_2 = AC : t$ і раўнадзейнага будзе $v = AD : t$, калі пункт быў t адзінак часу ў руху. Нарысуем іх на нашым рысунку. Канцы вэктароў злучым простымі і тады дастанем, што трыкутнікі ABD і ALN падобны між сабой дзеля таго, што



Рыс. 24.

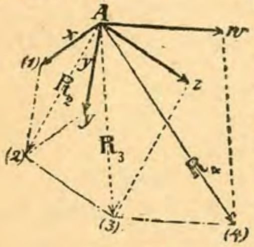
$$\frac{AB}{v_1} = \frac{BD}{v_2} = \frac{AD}{v} = t$$

А таму *раўнадзейная скорасьць дзьвюх скарасьцей раўнамернага руху пункту ёсьць па велічыні і кірунку дыагональ раўналежнабочнага чатыракутніка, пабудаванага на складаных скарасьцёх* (Рыс. 25).



Рыс. 25.

28. Складаньне вялікшае лічбу скарасьцей. Складаньне дзьвюх скарасьцей пункту можам упрасьціць вось як (рыс. 26): з канца вэктара першае скорасьці x праводзім вэктар раўналежны, роўны і таго самага кірунку, як і 2-ая скорасьць y. Лінія R_2 з кірункам ад A да (2) будзе як раз раўнадзейнай гэтых дзьвюх скарасьцей (x і **y**). Калі да гэтых дзьвюх скарасьцей захочам дадаць яшчэ трэцюю (z), то, складаючы R_2 з z, як вышэй, дастанем іх раўнадзейную R_3, якая будзе раўнадзейнай для ўсіх трох скарасьцей (x, y, z). Таксама з раўнадзейнай R_3 зложым і скорасьць **w** і дастанем раўнадзейную R_4 для ўсіх чатырох скарасьцей (x, y, z і w). Значыцца, каб злажыць некалькі скарасьцей, праводзім з якога-небудзь пункту (пр. A) вэктар 1-ае скорасьці, з канца яго вэктар 2-ое скорасьці, з яго канца вэктар 3-яе скорасьці і г. д. Пачатак першага вэктара (A) злучаем з канцом апошняга (4), і лінія A(4) будзе вэктарам раўнадзейнае скорасьці ўсіх складаных, г. зн. па велічыні і кірунку ад A да (4) будзе замяняць усе скорасьці, якія маець дадзены пункт.



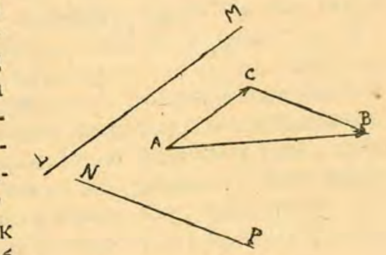
Рыс. 26.

29. Атрыманая фігура A1234A завецца многакутнікам скарасьцей. Як у арытмэтыцы сума не залежыць ад парадку дадаваньня складаных, таксама і тут велічыня і кірунак раўнадзейнай не залежыць ад таго, у якім парадку будзем складаць вэктары.

У асобным прыпадку можа здарыцца, што канец апошняе складанае скорасьці ўпадзець якраз у пачатак першае скорасьці; тады раўнадзейная скорасьць будзе роўна нулю, г. зн. пункт саўсім ня рухаецца.

Складаньне вэктароў носіць назоў *геомэтрычнага складаньня*.

30. Раскладаньне скорасьці. Маем нейкую раўнадзейную скорасьць AB (рыс. 27), якая зложана з дзьвюх скарасьцей, маючых: адна — кірунак LM, а другая — кірунак NP. Трэба даведацца вялічыні гэтых складаных скарасьцей. Ад пачатку раўнадзейнае праводзім раўналежную лінію да аднэй скорасьці, а ад канца раўнадзейнай — раўналежную да другой. Лініі гэтыя перасякуцца ў нейкім пункце C. Значыцца, вэктар AC будзе прадстаўляць па велічыні адну складаную скорасьць, а вэктар BC — другую. Стрэлкі, якія паказуюць кірунак скарасьцей, трэба паставіць так, каб пачаткам першае скорасьці быў пачатак раўнадзейнае (A). Другая скорасьць будзе мець свой пачатак у канцы першае (C).

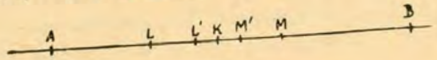


Рыс. 27.

Запраўды, злажыўшы вэктары скарасьцей AB і CB, мы дастанем раўнадзейную AB з кірункам ад A да B.

Калі ў нас дадзена раўнадзейная AB і адна з складаных скарасьцей па велічыні і кірунку (AC), то можам знайсьці другую складаную. Дзеля этага злучаем C і B, і лінія CB будзе па велічыні і кірунку (ад C да B) гэтай другой скорасьцю.

31. Прасталінейны зьменны рух. Сярэдняя і запраўдная скорасьць. Рух, пры якім дарога не пропорцыянальна да часу, завецца зьменным. Гэта значыць, што скорасьць гэтага руху ня ёсьць велічыня сталая (ня constans). У практыцы рэдка спатыкаецца рух раўнамерны; ўсе рухі, якія мы бачым, ёсьць рухі зьменныя. Для мераньня скарасьцей гэтых рухаў ужываецца *сярэдняя скорасьць*. Гэта ёсьць тая фікцыйная, або ўмоўная скорасьць, з якой пункт прайшоў бы тую самую дарогу, якую ён праходзіць зьменным рухам, і за той самы час, каліб ён рухаўся рухам раўнамерным. Пр., цягнік праходзіць адлежнасьць паміж A і B, роўную 60 вярстам, у працягу 3 гадзін, рухаючыся, ведама, зьменным рухам, бо ён затрымліваецца на станцыях, на гару йдзе паволі, з гары шыбчэй. Аднак, для практычных мэтаў кажам, што яго скорасьць 20 вёрст у гадзіну. Гэта і ёсьць яго сярэдняя скорасьць.



Рыс. 28.

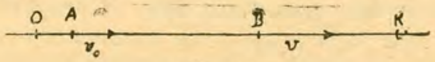
У зьменным руху нас, аднак, цікавіць запраўдная скорасьць, якую маець рухаючыся пункт у тым ці іншым пункце сваёй дарогі, пр., у пункце K (рыс. 28).

На аснове закону інэрцыі можам сказаць, што запраўдная скорасьць у нейкім пункце дарогі будзе тэй скорасьцю, з якой пункт (чы цела) рухаўся бы раўнамерным рухам, калі-б ён быў пакінены самому сабе, г. зн. на яго ня ўплывалі бы вонкавыя прычыны. Гэта, аднак, ня дасьць нам магчымасьці памерыць запраўдную скорасьць.

Каб-жа дайсьці гэтае мэты, возьмем невялікую частку LM дарогі, на якой ляжыць пункт K. Гэту дарогу цела праходзіць за нейкі час τ. Тады сярэдняя скорасьць рухаючагася пункту будзе $LM : \tau$. Зьменшым яшчэ дарогу і возьмем $L' M'$, пры чым адпаведны час руху будзе τ'; тады сярэдняя скорасьць будзе $L' M' : \tau'$. Памяншаючы далей дарогу і час, будзем даставаць усё больш точную велічыню сярэдняе скорасьці, якая ўсё бліжэй падыходзіць да запраўднае скорасьці ў пункце K. І вось, запраўдная скорасьць у пункце K будзе тым рубяжом, да якога імкнецца дайсьці сярэдняя скорасьць, калі зьмяншаць усё балей і балей дарогу і час. Як даведацца велічыню і кірунак гэтае запраўднае скорасьці, будзе далей паказана.

32. Прысьпешны і вальнеючы рух. Прысьпех. Пры раўнамерным руху скорасьць ёсьць велічыня сталая (constans); пры зьменным яна зьмяняецца кожную хвіліну. Рух, пры якім скорасьць павялічваецца, завецца прысьпешным, а рух, пры якім яна памяншаецца, вальнеючым. Зьмена велічыні скорасьці, г. зн. часовае ўласьцівасьці рухаючагася пункту, завецца прысьпехам.

33. Просталінейны аднолькава зьменны рух. З рухаў зьменных разгледзім пакуль-што рух просталінейны. Па простай лініі OK (рыс. 29) рухаецца пункт так, што ў пункце A траэкторыі ён маець скорасьць v_0, а цераз t сэкунд, калі пункт прыдзець у палажэньне B, скорасьць яго будзе v.



Рыс. 29.

Розьніца скорасьці ў пункце B і пункце A, г. зн. $v—v_0$, становіць прырост скорасьці за час t.

З усіх рухаў, якія могуць адпавядаць гэтым умовам, мы выбярам і будзем разглядаць толькі такі рух, у якім гэты прырост пропорцыянальны да часу. Гэты рух завецца аднолькава зьменным рухам. Калі з часам скорасьць павялічваецца, рух будзе прысьпешны, калі памяншаецца, рух будзе вальнеючы, і ў гэтым апошнім прыпадку прырост скорасьці будзе мінусавай велічынёй.

34. Прысьпех аднолькава зьменнага руху. Адзінка прысьпеху. Прысьпехам завецца зьмена скорасьці рухаючагася пункту. Як і скорасьць, ён мераецца пры аднолькава зьменным руху адносінамі прыросту скорасьці да часу.

Калі прырост скорасьці за час t ёсьць $v—v_0$, то прысьпех будзе:

$$w = \frac{v - v_0}{t} \quad . \ . \ . \ . \ . \ (1)$$

Прыклад. Пункт пры аднолькава зьменным руху маець у пункце A скорасьць $v_0 = 10$ cm/sec, а ў пункце B $v = 40$ cm/sec. Дарогу паміж A і B ён праходзіць за $t = 6$ sec. Значыць, прысьпех будзе:

$$w = \frac{40 \text{ cm/sec} — 10 \text{ cm/sec}}{6 \text{ sec}} = \frac{30 \text{ cm/sec}}{6 \text{ sec}} = 5 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$$

Атрыманы рэзультат чытаецца: „пяць цэнтымэтраў на сэкунду ў квадраце“ і абазначае, што скорасьць набывае прырост 5 cm/sec за кожную сэкунду. Значыць, прысьпех маець сваё асобнае найменьне. Мераючы яго ў якіх-небудзь адзінках даўжыні і часу, можам напісаць (гл. § 14), што разьмер прысьпеху будзе:

$$\left[\frac{L}{T^2}\right]$$

бо прысьпех ёсьць прырост скорасьці, мераны адзінкай скорасьці $\left[\frac{L}{T}\right]$ і дзелены на час, за які гэты прырост адбыўся, г. зн. [T].

Адзінка прысьпеху cm/sec² ёсьць адзінкаю ў сыстэме CGS, якой і будзем карыстацца ў фізыцы.

Ужо ведаем, што рух аднолькава зьменны можа быць прысьпешны і вальнеючы. Возьмем прыклад. Пункт рухаецца просталінейна аднолькава зьменным рухам. У пункце A ён меў скорасьць $v_0 = 50$ cm/sec; цераз $t = 10$ sec у пункце B ён маець скорасьць $v=20$ cm/sec; трэба даведацца, які будзе прысьпех.

$$w = \frac{v—v_0}{t} = \frac{20 - 50}{10} \times \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2} = - 3 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$$

Велічыня прысьпеху тут ад'ёмная (мінусавая), г. зн. рух вальнеючы маець ад'ёмны (мінусавы) прысьпех. Значыцца: прысьпех, як і скорасьць, ёсьць велічыня вэктарная, бо маець велічыню і кірунак і можа быць выражана вэктарам.

35. Раўнаваньне скорасьці аднолькава прысьпешнага руху. Раўнаваньне (1) у § 34 можам напісаць вось як:

$$v—v_0 = wt \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (1)$$

г. зн. прырост скорасьці за нейкі час раўняецца прысьпеху, памножанаму на гэты час.

Пр.: Прысьпех $w = 25\ cm/sec^2$. Прырост скорасьці за 2 sec будзе:

$$v - v_0 = wt = 25\ cm/sec^2 \times 2\ sec = 50\ cm/sec.$$

Прырост скорасьці за $1/5$ sec будзе:

$$v - v_0 = wt = 25\ cm/sec^2 \times 1/5\ sec = 5\ cm\ sec.$$

Запраўдную скорасьць рухаючагася пункту v можам знайсьці з раўнаваньня (1), калі яго напішам так:

$$v = v_0 + wt \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

гдзе v_0 ёсьць велічыня скорасьці ў мамэнце, ад якога лічым час.

Гэтае раўнаваньне і ёсьць раўнаваньне скорасьці аднолькава зьменнага руху.

Прыклады: 1) Пачатная скорасьць $v_0 = 30\ cm/sec$; прысьпех $w = 7\ cm/sec^2$. Якая будзе скорасьць цераз 4,5 sec?

$v = v_0 + wt = 30\ cm/sec + (7\ cm/sec^2 \times 4{,}5\ sec) = 30\ cm/sec + (7 \times 4{,}5)\ cm/sec = (30 + 7 \times 4{,}5)\ cm/sec = (30 + 31{,}5)\ cm/sec = 61{,}5\ cm/sec.$

2) Пачатная скорасьць $v_0 = 72\ cm/sec$; прысьпех $w = -12\ cm/sec^2$. Якая будзе скорасьць цераз 5 sec?

$v = v_0 + wt = 72\ cm/sec + [(-12\ cm/sec^2) \times 5\ sec] = 72\ cm/sec + (-12 \times 5)\ cm/sec = (72 - 12 \times 5)\ cm/sec = 12\ cm/sec.$

Цераз сколькі часу v будзе роўна нулю?

$v = 0 = v_0 + wt = 72\ cm/sec + (-12\ cm/sec^2) \times t\ sec = 72\ cm/sec - (12\ cm/sec^2 \times t\ sec)$, скуль $t\ sec = \dfrac{72\ cm/sec}{12\ cm/sec^2} = 6\ sec.$

Значыць, цераз 6 сэкунд пункт затрымаецца.

Якую скорасьць будзе мець пункт цераз 10 sec?

$v = v_0 + wt = 72\ cm/sec + [(-12\ cm/sec^2) \times 10\ sec] = 72\ cm/sec - 120\ cm/sec = -48\ cm/sec.$

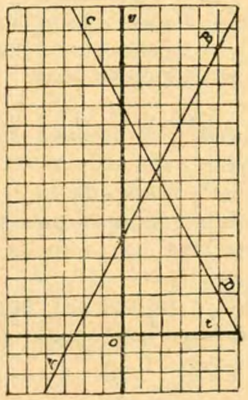
Абсолютная велічыня скорасьці будзе 48 cm/sec, але знак — паказвае, што яна маець процілежны да пачатнай скорасьці кірунак.

На практыцы мы спасьцерагаем гэткае зьявішча ў камні, кінутым уверх. Пачатная скорасьць яго ўсё зьмяншаецца, пакуль ня станецца роўнай нулю; тады камень пачынае падаць уніз, г. зн. скорасьць яго зьмяняе кірунак на адваротны і, ў меру прыбліжэньня камня да зямлі, усё павялічваецца.

36. Дыаграма раўнаваньня скорасьці аднолькава зьменнага руху. Маючы раўнаваньне скорасьці аднолькава зьменнага руху, мы ў кожным адзінокім прыпадку, карыстаючыся коордынатамі, можам нарысаваць дыаграму скорасьці дадзенага пункту.

Прыклад: $v = 5 + 2t.$

гдзе v — ёсьць шуканая скорасьць, 5 адпавядае выражанай у адзінках скорасьці (cm/sec) пачатнай скорасьці, г. зн. v_0; 2 — прысьпех, выражаны таксама ў адпаведных адзінках прысьпеху (cm/sec^2); t (sec) — час. І вось, у залежнасьці ад часу, адкладваючы t на восі іксаў, а на восі ігрэкаў вялічыні v, дастанем простую лінію (AB) (рыс. 30), якая даець нам магчымасьць для кожнага часу даведацца скорасьць пункту. Пр.: для $t = 5$ чытаем на дыаграме: $v = 15$ адзінак скорасьці, г. зн. cm/sec. Другі прыкл.: $v = 12 - 2t$. Гэтае раўнаваньне можам выразіць лініяй CD.



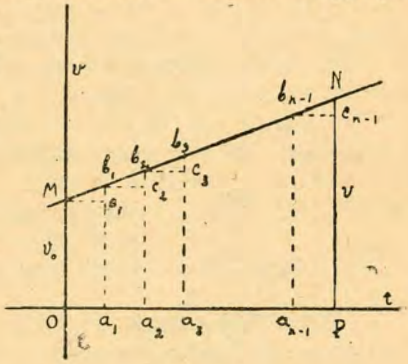
Рыс. 30.

Раўнуючы гэтыя дзьве дыаграмы, мы зараз-жа можам выясьніць і асаблівасьці таго і другога руху: 1-ы рух ёсьць прысьпешны, 2-і вальнеючы. У першым руху скорасьць v будзе роўна 0, калі $t = -2{,}5$ sec; у другім, калі $t = 6$ sec.

37. Вызначаньне дарогі пры аднолькава зьменным руху. Няхай лінія MN (рыс. 31) будзе дыаграмай скорасьці аднолькава зьменнага руху. У часе $t_0 = 0$ скорасьць будзе $v_0 = OM$; а ў часе t скорасьць будзе $v = NP$. Мы ведаем, што

$$v = v_0 + wt \ldots . (2)$$

Разаб'ем час t на n роўных частак і зробім дапушчэньне, што скорасьць на працягу $\frac{t}{n}$ часу не зьмяняе сваёй велічыні ($v = const$). Г. зн.: для хвіліны $0a_1$ скорасьць будзе OM; для хвіліны a_1a_2 скорасьць будзе a_1b_1; для хвіліны a_2a_3 будзе a_2b_2; і г. д. Значыцца, скорасьць у канцы кожнае хвіліны павялічваецца да запраўднае скорасьці пункту ў гэтым часе.



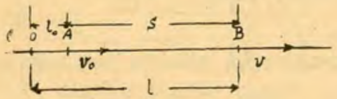
Рыс. 31.

Але мы ведаем, што дарога, якую пункт прайшоў раўнамерным рухам са скорасьцю $v = const$ за час t, раўняецца множыву vt, або плошчы прастакутніка, пабудаванага на гэтых дзьвюх вялічынях (гл. § 25). І вось выходзіць, што дарога для часу $0a_1$ роўна ▭ OMc_1a_1; для часу a_1a_2 роўна ▭ $a_1b_1c_2a_2$; для часу a_2a_3 роўна ▭ $a_2b_2c_3a_3$ . . . . . для часу $a_{n-1}P$ роўна ▭ $a_{n-1}b_{a-1}c_{n-1}P$.

Пры гэтым дапушчэньні скорасьць павялічваецца „скокамі“; запраўды ж скорасьць аднолькава зьменнага руху расьцець увесь час. Значыць, гэты рух „скокамі“ будзе тым больш рабіцца падобным да нашага аднолькава зьменнага руху, чым на вялікшую лічбу n разьдзелім час t, значыцца, чым меншыя будуць часьціну часу, у якіх, па нашаму дапушчэньню, рух пункту будзе раўнамерны. А гэта значыць, што аднолькава зьменны рух будзе рубяжом для гэтага руху скокамі. З другога боку, дарога рухаючагася „скокамі“ пункту, г. зн. сума плошчаў прастакутнікаў $OMc_1a_1 + a_1b_1c_2a_2 + \ldots + a_{n-1}b_{n-1}c_nP$, імкнецца да трапэцыі OMNP, як да свайго рубяжа.

Значыць, дарогай аднолькава зьменнага руху (рубяжа руху „скокамі“) зьяўляецца плошча трапэцыі OMNP (рубеж дарогі руху «скокамі»).

А мы з геомэтрыі ведаем, што плошча трапэцыі раўняецца палове сумы раўналежных бакоў, памножанай на вышыню, г. з.



Рыс. 32.

$$\square\ OMNP = \frac{OM+NP}{2}\times OP$$

Але-ж вышэй мы адзначылі: $OM=v_0$; $NP=v$; $OP=t$; значыць (рыс. 32):

$$\square\ OMNP = \text{дарога } AB = \frac{v_0+v}{2}\,t = \frac{v_0+v_0+wt}{2}\,t;$$

$$S \text{ або дарога } AB = \frac{2v_0+wt}{2}\,t = v_0t + \frac{wt^2}{2}\ \ldots\ldots (3)$$

Прыклад. Пачатная скорасьць пункту $v_0 = 30$ cm/sec, прысьпех $w = 20$ cm/sec². Дарога пункту за t sec будзе:

$$S = v_0t + \frac{wt^2}{2} = (30\ \text{cm/sec}\times 10\ \text{sec}) + \left(\frac{20}{2}\ \text{cm/sec}^2 \times 10^2\ \text{sec}^2\right) =$$

$$= 300\ \text{cm} + (10\times 100\ \text{cm}) = (300+1000)\ \text{cm} = 1300\ \text{cm}$$

38. Раўнаваньне дарогі аднолькава зьменнага руху. Раўнаваньне (3) даець формулу толькі для часткі дарогі аднолькава зьменнага руху, г. зн. для AB; калі-ж трэба ўзяць пад увагу яшчэ і адлежнасьць пункту ад сталага пункту 0 (рыс. 32), то мы павінны ўвясьці ў гэтае раўнаваньне велічыню $OA = l_0$, (адлежнасьць пачатку руху ад сталага пункту 0), і $OB = l$, (адлежнасьць рухаючагася пункту ад сталага 0). З самага рысунку мы бачым, што

$$OB = OA + AB,$$

г. зн.:

$$l = l_0 + s = l_0 + v_0t + \frac{wt^2}{2}\ \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Гэта ёсьць агульнае раўнаваньне дарогі зьменнага руху. Усе вялічыні l_0, v_0, w і l могуць быць дадатнымі або ад'ёмнымі,—значыцца, яны ёсьць альгэбрычныя вялічыні. Яны могуць таксама быць і роўнымі 0. Калі $l_0 = 0$, дык дастаём:

$$l = v_0t + \frac{wt^2}{2}\ \ldots\ldots\ldots\ldots (2).$$

Гэта значыць, што рух пачынаецца ад сталага пункту 0. Калі і $v_0 = 0$, дастаём:

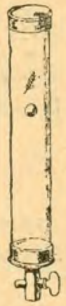
$$l = \frac{wt^2}{2}\ \ldots\ldots\ldots\ldots (3)\ \ldots$$

Гэта значыць, што пачатная скорасьць роўна 0, і што цела адразу рухаецца з прысьпехам. У гэтым апошнім прыпадку дарога, якую яно пройдзець, пропорцыянальна да квадрату часу, г. зн. за час у 2, 3, 4 .... разы вялікшы дарога будзе ў 4, 9, 16 ... разоў вялікшая.

39. Свабоднае паданьне цел. Арыстотэль (IV век да Хрыста) вучыў, што „цяжэйшыя“ целы падаюць хутчэй за „лягчэйшыя“. Гэты пагляд пратрываў аж да канца XVI веку, калі італьянскі вучоны, Галілей, яго разьбіў і даў апісаньне гэтага зьявішча. Ён першы стаў на шлях фізычнага дасьледу, і ў гэтым яго найвялікшая заслуга. Галілей разважаў вось як: калі кожная частка нейкага цела, якая будзе „лягчэй“ за ўсё цела, падаець павальней, чымся ўсё цела, то чаму ўсе часткі сумесна падаюць таксама шыбка, як усё цела? Ён зрабіў дасьлед: узлезшы на вежу ў Пізе (італьянскі горад), ён пусьціў з яе на зямлю розныя целы, і яны дайшлі да зямлі ў адным часе.

Нам самым можа здавацца справядлівым пагляд Арыстотэля, калі возьмем мэталь і пр. паперыну. Мэталь хутчэй спадзець. Але мы ўдасьледзе заўважым, што паперына будзе хістацца; гэта абазначае, што яна спатыкаець нейкае праціўленьне ў паветры. Калі возьмем манэту і папяровы кружок, меншы за гэтую манэту, і, злажыўшы іх так, каб манэта была падысподам, пусьцім на зямлю, то яны ўпадуць адначасна. Гэта значыць, што праціўленьне паветра не адчуваецца паперынай, бо яго прыймае на сябе мэталёвая манэта.

Ньютон (Newton) зрабіў такі дасьлед (рыс. 33). У шкляную трубку, зачыненую з абодвух канцоў, клаў ён кусок мэталю, паперыну і пушынку. Паставіўшы трубку стацьма, ён бачыў, што целы падаюць не аднолькава шыбка: першым далятае да нізу кусок мэталю, пасьля— паперына, апошняй — пушынка. Калі-ж з гэтае трубкі выпампаваць паветра, то ўсе тры целы падаюць аднолькава. Згэтуль вывад: калі ня прымем пад увагу праціўленьня паветра, то ўсе целы ў тым самым месцы зямной кулі падаюць аднолькава.



Рыс. 33.

Дасьледамі сваімі Галілей давёў, што дарогі, якія праходзяць целы, падаючы свабодна, пропорцыянальны да квадрату часу. Гэта і ёсьць рух аднолькава зьменны (гл. § 38). Далей мы даведаемся, што гэта не саўсім точна; а пакуль-што прымем гэты закон, як точны, і будзем ужываць нашу формулу дзеля свабоднага паданьня цел.

Адпаведныя памеры, аб якіх цяпер гаварыць ня будзем, даюць магчымасьць знайсьці велічыню прысьпеху гэтага руху. Гэтая велічыня зьмяняецца ў залежнасьці ад месца на зямлі, пр. ад географічнае шырыні, ад вышыні над роўнем мора. Гэтую велічыню, дужа важную ў фізыцы, абазначылі літарай g (таму адзінка масы, грам, абазначаецца gr). У нашых географічных шырынях у крыглай лічбе

$$g = 981 \frac{cm}{sec^2}$$

Разумеем гэту велічыню так, што прырост скорасьці свабодна падаючага цела за адзінку часу (за сэкунду) раўняецца 981 cm/sec. Гэтак, за 2 сэкунды прырост будзе 2 × 981 cm/sec = 1962 cm/sec.

Раўнаваньне скорасьці аднолькава зьменнага руху

$$v = v_0 + wt$$

напішацца тады, пры $v_0 = 0$ (пачатная скорасьць = 0) і $w = g$, вось так:

$$v = gt.$$

Адгэтуль мы можам аблічыць скорасьць для кожнае хвіліны часу ад пачатку руху; прыкладам:

за 2 sec: $v = 981 \frac{cm}{sec^2} \times 2\ sec = 1962\ \frac{cm.}{sec}$

„ 4,5 sec: $v = 981 \frac{cm}{sec^2} \times 4{,}5\ sec = 4414{,}5\ \frac{cm}{sec}$ і г. д.

Вызначым цяпер дарогу, якую свабодна падаючае цела прабягае ад пачатку руху. З § 38 маем:

$$l = l_0 + v_0 t + \frac{wt^2}{2}$$

За сталы бяром пункт, скуль пускаем цела, г. зн. $l_0 = 0$; пачатная скорасьць $v_0 = 0$, бо цела было ў супакоі; тады

$$l = \frac{wt^2}{2}$$

Для гэтага прыпадку дарогу l абазначым літарай h, бо гэта запраўды ёсьць вышыня, з якой пускаем цела, а вышыня ў матэматыцы аба-

значаецца звычайна гэтай літарай. Таксама замест w паставім g, як вышэй, і тады дастанем:

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

Рыс. 34.

З гэтага раўнаваньня бачым, што дарога, пройдзеная свабодна, падаючым целам, пропорцыянальна да квадрату часу. Гэта значыць, што, калі AB (рыс. 34) ёсьць дарога, пройдзеная за адну, першую адзінку часу, то дарога, пройдзеная за дзьве першыя адзінкі часу, AC, будзе ў $2^2 = 4$ разы больш за AB, г. зн. AC = 4AB, і дарога, пройдзеная за першыя тры адзінкі часу, AD, будзе ў $3^2 = 9$ разоў больш за AB, г. зн. AD = 9 AB і г. д. Далей, дарогі, пройдзеныя за першую, другую, трэцюю і г. д. адзінкі часу паасобку, будуць: BC = AC — AB = 3AB; CD = AD — — AC = 5AB і г. д.; значыцца:

$$AB : BC : CD : DE : \ldots = 1 : 3 : 5 : 7 : \ldots .$$

інакш кажучы, дарогі, якія цела праходзіць за чародныя аднолькавыя часьціны часу, адносяцца да сябе, як рад няпарных лічбаў.

Гэты закон выкрыты тым-жа Галілеем дарогай дасьледу. Ён узяў вяроўку, якую спускаў з высокага дому на зямлю. На канцы вяроўкі была прычэплена валавяная куля, і яна датыкалася да зямлі. Вышэй была прычэплена другая куля ў нейкай адлежнасьці BM; яшчэ вышэй трэцяя ў адлежнасьці BN=4 BM; далей чацьвертая ў пункце P (BP = 9 BM) і г. д. У нейкай хвіліне ён пускаў вяроўку і слухаў, як удараліся кулі аб зямлю. Удары ўсіх куль чутны ў саўсім аднолькавых адступах часу адзін пасьля аднаго. І запраўды, трэцяя куля мае прайсьці дарогу ў 4 разы большую, чымся другая, і гэту дарогу яна па вышэй сказанаму закону будзе ісьці ўдвая даўжэй, чымся другая. Чацьвертая куля мае прад сабой дарогу ў 9 разоў вялікшую, чымся другая; яна яе і пройдзе за ўтрая даўжэйшы час, чымся другая і г. д.

Калі ведаем велічыню g $\left(\text{для нашай шырыні } 981 \frac{cm}{ces^2}\right)$, дык можам аблічыць, з якой вышыні будзе падаць цела за t sec:

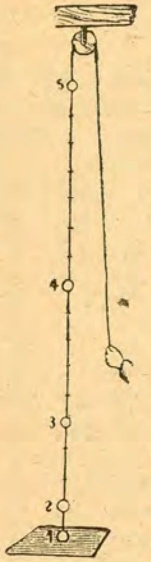
за 1 sec . . . . $h_1 = \frac{981 \frac{cm}{sec^2} 1\ sec^2}{2} = 490{,}5\ cm = 4{,}905\ m$

„ 2 „ . . . . $h_2 = \frac{981 \frac{cm}{sec^2} 2^2 sec^2}{2} = \frac{981 \times 4}{2} cm = 1962\ cm = 19{,}62\ m$

і г. д.

Значыць, за 1 sec цела падаець з бліска 5 m, за 2 sec — з блізка 20 m і г. д.

Можам так сама знайсьці скорасьць, з якой цела будзе падаць з тае чы іншае вышыні. З раўнаваньня:



Рыс. 35.

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

знойдзем час паданьня:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Падставіўшы t ў раўнаваньне скорасьці

$$v = gt$$

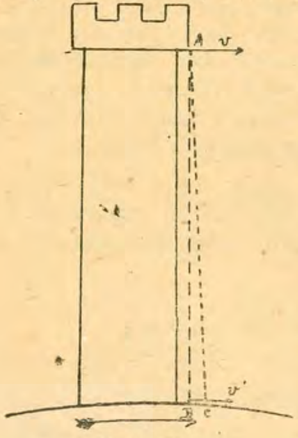
знаходзім:

$$v = g\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{2gh}$$

Прыкладам: $h = 30$ m; $g = 981$ cm/sec²; тагды

$$v = \sqrt{2.981\frac{cm}{sec^2}\times 3000\,cm} = 2426\frac{cm}{sec} = 24{,}26\frac{m}{sec}$$

40. Адхіленьне ад стоці свабодна падаючых цел. Кірунак g. З высокае будыніны (рыс. 36), з якое робім дасьледы свабоднага паданьня цел, спусьцім шнур, увязаўшы на канцы гірку. Ён дасьць нам кірунак стоцьнае лініі. Калі цяпер з верхняга канца гэтае лініі мы пусьцім свабодна цела, то пабачым, што яно ўпадзець у нейкай адлежнасьці ад асновы стоці. Адлежнасьць гэтая тым вялікшая, чым з вышэйшага пункту падала цела і чым бліжэй да экватару ляжыць месца дасьледу. На полюсе адлежнасьць гэная роўна 0. Адхіленьне ад стоці заўсёды скіравана на ўсход. Значыць, зьявішча гэтае знаходзіцца ў нейкім зьвязку з кружным рухам зямлі навокала сваёй восі. І запраўды, цела ў пункце A мае нейкую скорасьць кружнага руху, часткі-ж яго, якія ляжаць далей ад восі кружнага руху, маюць вялікшую скорасьць, чымся бліжэйшыя; значыцца, скорасьць у пункце A будзе вялікшая за скорасьць кружнага руху ў пункце B. З гэтай скорасьцю v цела пакідаець пункт A і, паводле закону інэрцыі, захоўвае яе ў часе паданьня. Да гэтае скорасьці v дадаецца скорасьць, выкліканая прыцяганьнем зямлі, і раўнадзейнай гэтых двух рухаў (пад уплывам скорасьці v і прысьпеху g) будзе нейкая лінія AC, адхіленая ад стоці AB на ўсход.



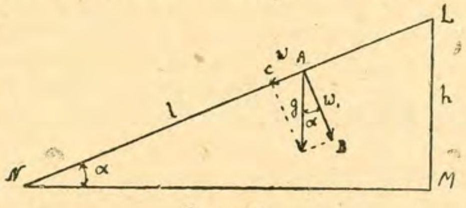
Рыс. 36.

Аблічаньне паказала, што адхіленьні ад стоці BC запраўды прадстаўляюць вынік кружнага руху зямлі, і калі-б зямля яго ня мела, дык целы падалі-б у точна стоцьным кірунку. Гэта значыць, што прысьпех g маець стоцьны кірунак.

Велічыня BC агулам ня бывае вялікай. Пры 100 m вышыні паданьня (AB) яна ў нашых географічных шырынях роўна 2 cm.

Адхіленьне ад стоці зьяўляецца адным з фізычных довадаў кружнага руху зямлі навокала восі.

41. Паданьне цел па пахілай роўнядзі. Пахілай завецца роўнядзь, якая з горызонтнай лініяй творыць нейкі гостры кут α. Дапусьцім, што нейкае цела A ляжыць на гэткай пахілай роўнядзі. Яно будзе ссоўвацца з роўнядзі. Разгледзім яго рух (рыс. 37). Калі-б роўнядзь не перашкаджала, цела падала-б свабодна па стоцьнай лініі. Але такі рух немагчымы; магчымы-ж за тое рух уздоўж роўнядзі. Адцеміўшы, што на цела дзеець прысьпех g, які ёсьць вэктарная велічыня, мы разложым гэны вэктар на два складаныя: адзін стоцьны да роўнядзі, г. зн. з кірункам AD, другі — раўналежны з роўнядзю, г. зн. AC. Убачым тады, што прысьпех AD ня можа скрануць цела з месца, бо таму перашкаджаець роўнядзь, а прысьпех AC можа зрабіць гэта, бо ў гэтым кірунку перашкод для руху цела нямашака. Гэты рух будзе аднолькава прысьпешным, бо ён ёсьць выяўленьне сталага прысьпеху AC, пропорцыяльнага да g. Раўнаваньні аднолькава прысьпешнага руху, бо такім будзе паданьне па пахілай роўнядзі, будуць:



Рыс. 37.

$$v = wt\ \ldots (1).\quad і\quad l = \frac{wt^2}{2}\ \ldots\ldots (2)$$

Велічыня прысьпеху w у гэтым прыпадку можа быць дастана з трыкутнікаў ABC і MNL, бо яны між сабой падобны. AB — гэта ёсьць вэктар g; AC — гэта вэктар w; MN—гэта вышыня паданьня цела, якую мы абазначылі літарай h; MN — гэта дарога цела, падаючага па пахілай роўнядзі, г. зн. l. І вось дастаём:

$$\frac{AC}{AB} = \frac{ML}{MN},\ \text{або}\ \frac{w}{g} = \frac{h}{l},\ \text{скуль}\ w = g\frac{h}{l} = g\sin\alpha\ (3)$$

Значыць, прысьпех w тым менш, чым больш будзе l, г. зн. чым менш пахілена будзе роўнядзь.

Падстаўляючы ў раўнаваньне (1) велічыню t з раўнаваньня (2), дастанем:

$$v = \sqrt{2wl}.$$

У гэтым апошнім, замяніўшы велічыню w ведамай нам велічынёй g з раўнаваньня (3), дастаём:

$$v = \sqrt{2wl} = \sqrt{2g\frac{h}{l}\,l} = \sqrt{2gh.}$$

Гэтак, для скорасьці, з якой цела будзе рухацца ў пункце N, мы дасталі тую самую велічыню, як і ў прыпадку свабоднага паданьня цела; значыць: *скорасьць цела, падаючага па пахілай роўнядзі, не залежыць ад нахілу роўнядзі аднасна да горызонтнае лініі, а залежыць яна толькі ад вышыні паданьня (h).*

Дзеля праверкі гэтага руху цел ужываецца прылада, якая завецца *пахілай роўнядзьдзю.* Гэта жалабок, добра адпаліраваны, па якім пускаюць свабодна падаць мэталёвую кулю. На гэтай прыладзе, пры падмозе мэтронома, які будзе выбіваць адпаведныя хвіліны часу, можна зрабіць вось якія дасьледы: 1) цела, коўзаючыся па пахілай роўнядзі, праходзіць дарогі, пропорцыянальныя да квадрату часу; г. зн.: рух будзе аднолькава прысьпешны; 2) скорасьць цела пропорцыянальна да часу, у якім цела падала; 3) скорасьць цела пропорцыянальна да квадратнага караня з вышыні паданьня.

42. Кіданьне цела стацьма ўверх. Калі кінем цела стацьма ўверх, дык яно будзе ляцець усё павальней (рыс. 38), бо пачатная яго скорасьць будзе ўсё зьмяншацца дзела таго, што ад яе будзе адымацца прысьпех ад зямнога прыцяганьня; г. зн.:

$$v = v_0 - gt \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1).$$

Гэтая скорасьць у нейкі мамэнт станець роўнай нулю, а будзе гэта тады, калі

$$v = 0 = v_0 - gt, \text{ скуль } t = \frac{v_0}{g} \quad . \; . \; . \; . \; (2).$$

Вышыню, да якой даляціць цела, дастанем з раўнаваньня для дарогі аднолькава зьменнага руху:

$$l = l_0 + v_0 t + \frac{wt^2}{2}$$

Дарогу l абазначым літарай h, бо гэта ёсьць вышыня; l_0 роўна 0, бо пачатнае дарогі ня было; $w = -g$, бо, калі v_0 велічыня дадатная, то g, скіраванае ў процілежны бок, будзе ад'ёмным. Гэтак:

$$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \qquad (3).$$

Рыс. 38.

Падставім у гэтае раўнаваньне велічыню t з (2), што нам дасьць:

$$h = v_0\frac{v_0}{g} - \frac{gv_0^2}{2g^2} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{v_0^2}{2g} = \frac{2v_0^2 - v_0^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g} \qquad (4).$$

Прыклад: v_0, пачатная скорасьць цела, кінутага ўверх, = 40 m/sec. Як высока цела даляціць?

$$h = \frac{(4000 \text{ cm/sec})^2}{2.981 \text{ cm/sec}^2} = \frac{16000000 \text{ cm}^2/\text{sec}^2}{1962 \text{ cm/sec}^2} = \text{каля } 8155 \text{ cm} = 81{,}55 \text{ m}.$$

Дайшоўшы да найвышэйшага пункту, цела пачне падаць так, як свабодна пушчанае. Даведаемся, сколькі часу яно будзе падаць, каб дайсьці да пункту, з якога было кінута. Гэта вышыня h ужо нам ведама, яна па (4) роўна:

$$h = \frac{v_0^2}{2g}$$

З другога боку, свабодна пушчанае цела пройдзець дарогу

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

Значыць:

$$\frac{v_0^2}{2g} = \frac{gt^2}{2}, \text{ скуль } t = \frac{v_0}{g} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (5)$$

Мы дасталі, што цела будзе падаць гэтулькі часу, сколькі яно ляцела ўверх, бо (5) аднолькава з (2).

Якая-ж будзе скорасьць гэтага цела, калі яно вяртаецца ў пункт, з якога было кінута? Раўнаваньне (4) з § 39 даець:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Калі заместа h падставім $\frac{v_0^2}{2g}$, дык дастанем:

$$v = \sqrt{2g\frac{v_0^2}{2g}} = \sqrt{v_0^2} = \pm v_0.$$

Тут мы павінны выбраць знак —, бо скорасьць гэтая будзе процілежнага кірунку да пачатнае.

Гэты самы рэзультат мы дасталі-бы, калі-б у раўнаваньне скорасьці

$$v = v_0 - gt$$

уставілі значэньне t з раўнаваньняў (2) і (5): цела ляцела ўверх $\frac{v_0}{g}$ адзінак часу (2) і пасьля падала $\frac{v_0}{g}$ адзінак часу (5), значыць, у дарозе было ўсяго

$$t = \frac{v_0}{g} + \frac{v_0}{g} = \frac{2v_0}{g}$$

Тады:

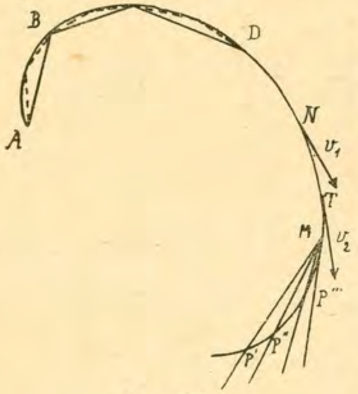
$$v = v_0 - g\frac{2v_0}{g} = v_0 - 2v_0 = - v_0$$

Той самы рэзультат, што і раней, і зразу з адпаведным знакам.

Задача. Давясьці, што скорасьць цела, кінутага ўверх, у кожным месцы сваёй дарогі будзе аднолькава як пры руху цела ўверх, так і пры паданьні ўніз.

Трэба адцеміць, што ў усіх вышэй паданых разважаньнях і вылічэньнях мы ня прымалі пад увагу церця паветра.

43. Крывалінейны рух. Няхай пункт рухаецца па ломанай лініі ABCD . . . . . (рыс. 39). На кожным адрэзку пункт мае скорасьць таго кірунку, які мае адрэзак. У канцы кожнага адрэзку, значыцца, у пунктах B,C,D . . . , скорасьць раптоўна зьмяняе свой кірунак. Дапусьцім цяпер, што велічыня гэтых адрэзкаў усё меншае і лічба іх павялічваецца. Тады ломаная лінія будзе збліжацца да крывой. Кожную крывую мы можам разглядаць, як рубеж упісанае ломанае (з вяршкамі кутоў на крывой).



Рыс. 39.

Калі праз пункт M на крывой правядзём сечную і будзем яе паварачваць навокала гэтага пункту так, каб другі пункт перасеку збліжаўся ўсё болей да M, дык як рубеж гэтага руху дастанем сутычную ў пункце M. Кірунак гэтай сутычнай і будзе кірункам крывой ў гэтым пункце.

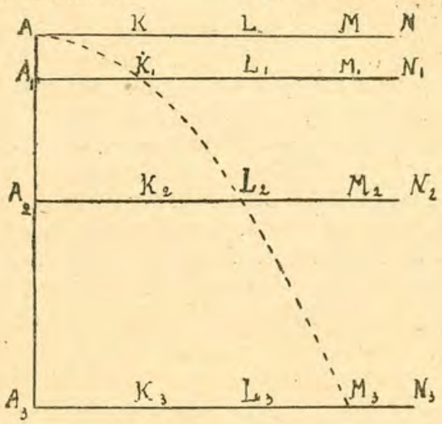
Калі пункт рухаецца па крывой, то кірункам яго руху будзе кірунак самае крывое; значыцца, кірунак сутычнае ў кожным пункце крывой прадстаўляе кірунак руху ў гэтым пункце.

І вось мы бачым, што пры руху па крывой скорасьць зьмяняе ўвесь час свой кірунак. Яна можа таксама зьмяняць і сваю велічыню.

44. Рух цела кінутага наўскос. З штадзеннага жыцьця ведаем, што камень, кінуты наўскос да горызонту, прабягае нейкую крывую траэкторыю. Пастараемся выясьніць сабе гэты рух.

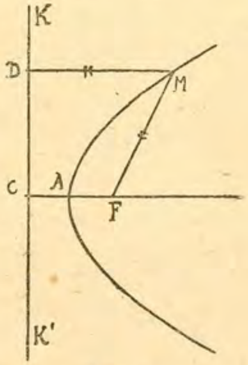
Дапусьцім, што пункт (цела), кінуты з нейкага пункту A (рыс. 40) са скорасьцю v, якая мае кірунак горызонтны. Калі-б пункт ня падаў на зямлю з прысьпехам g, ён бы, па закону інэрцыі, рухаўся ў тым самым пачатным кірунку скорасьці v. Але вось ён пачынае адначасна падаць. Значыцца, яго запраўдны рух будзе рухам раўнадзейным двух рухаў: 1) раўнамернага паступнага з скорасьцю v і 2) аднолькава зьменнага з прысьпехам g. Можам гэта прадставіць

сабе так, што траэкторыя раўнамернага руху AKLMN падаець прысьпешным рухам па траекторыі $AA_1A_2A_3$ . . . . У канцы першае адзінкі часу траэкторыя AKLMN . . . займець палажэньне $A_1K_1L_1M_1N_1$ . . . і, значыцца, цела апыніцца ў пункце K_1; у канцы другое адзінкі часу яна займець палажэньне $A_2K_2L_2M_2N_2$ . . . і рухаючаеся цела апыніцца ў пункце L_2 і г. д. Злучым цяпер пункты AK_1, L_2, M_3 і г. д. лініяй; мы ўбачым, што яна будзе крывая. Яна ў матэматыцы ведама пад назовам параболі.



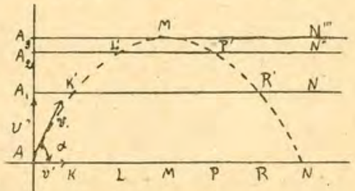
Рыс. 40.

Парабола мае тую ўласьцівасьць, што кожны з яе пунктаў знаходзіцца ў роўнай адлежнасьці ад нейкага сталага пункту, які завецца вогнішчам параболі, і ад простай лініі, якая завецца кіраўнічай (рыс. 41).



Рыс. 41.

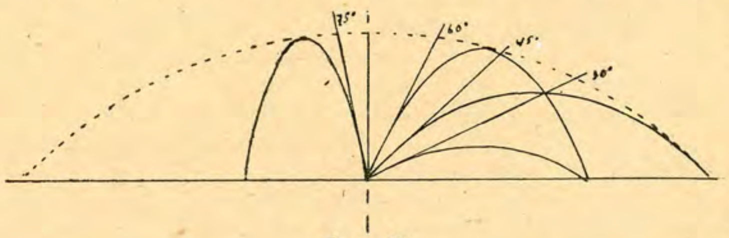
Калі кірунак пачатнае скорасьці v творыць з горызонтам нейкі кут, дык дастаём тое самае зьявішча (рыс. 42). Гэткую пачатную скорасьць можам разлажыць на два кірункі: па стоцьнай лініі v' і па горызонтнай v''. І тады можам сабе прадставіць, што пункт рухаецца ў горызонтным кірунку з сталай скорасьцю v'', а траэкторыя гэтага руху рухаецца так, як цела, кінутае стацьма ўверх з скорасьцю v'. Значыцца, ізноў можам нарысаваць раўнадзейную траэкторыю гэтых двух рухаў. Цела за першую адзінку часу пройдзе па сваёй траэкторыі дарогу = AK, за 2-ую адзінку часу KL = AK, за 3-ую LM = AK і г. д. За першую адзінку часу сама яго траэкторыя пройдзе дарогу AA_1, за другую — дарогу A_1A_2, за 3-ую дарогу A_2A_3, за чацьвёртую яно пачне падаць, г. зн. пройдзе дарогу A_3A_2, за 5-ую дарогу A_2A_1 і за 6-ую дарогу A_1A. Знойдзем-жа на гэтых падымаючыхся і падаючых палажэньнях траэкторыі запраўдныя месцы, якія займаець цела. Яны будуць па чарзе A',K',L',M',P',R' і N. Злучым іх крывой лініяй; гэта і будзе запраўдная траэкторыя кінутага наўскос цела. Крывая гэтая так сама будзе параболяй.



Рыс. 42.

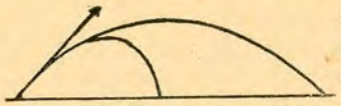
Мы ведаем, што скорасьць кінутага стацьма цела ў кожным пункце яго дарогі будзе тая самая і пры руху ўверх, і пры паданьні ўніз. Затым, калі з гэтым рухам зложым нейкі рух раўнамерны па горызонце, дык велічыня раўнадзейнае скорасьці пры падыманьні цела (пр. у пункце L′) будзе роўна велічыні яе пры паданьні (у пункце P′), ведама, у пунктах на аднолькавай вышыні. Розьніца будзе паміж імі толькі тая, што адна будзе скіравана ўверх, а другая ўніз, але пад тым самым кутом α.

Калі будзем з дадзенага пункту кідаць целы з тэй самай скорасьцю, але пад рознымі кутамі нахілу, то прыкмецім нейкую залежнасьць паміж *вышынёй* і *далечынёй* кіданьня і кутом, пад якім цела кінута. *Вышынёй* кіданьня завецца адлежнасьць у стоцьным кірунку найвышэйшага пункту дарогі цела ад пункту, з якога цела кінута (AA_3). *Далечынёй* кіданьня завецца адлежнасьць пункту перасеку дарогі цела з горызонтнай лініяй ад пункту, з якога цела кінута (AN). Вышыня будзе найвялікшая тады, калі цела кінута стацьма. Далечыня будзе найвялікшая тады, калі цела кінута пад кутом 45^0. Да пунктаў, якія ляжаць бліжэй, цела даляціць, калі яно будзе кінута пад адным з двух кутоў: вялікшым, або меншым за 45^0 (пр. 60^0 або 30^0) (рыс. 43).



Рыс. 43.

Усе гэтыя вывады справядлівы толькі ў ідэале, бо мы ня прыймалі пад увагу праціўленьня паветра, якое вельмі зьмяняе траэкторыю кінутага цела. Запраўды, пры руху ў паветры гэтая лінія ня ёсьць парабола, а гэтак званая *балістычная крывая* (рыс. 44).

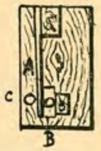


Рыс. 44.

Усё вышэй сказанае можна добра дасьледзіць пры падмозе струі вады. Ужываецца спэцыяльнае сітка з дзіркамі на цыліндровай сьценцы, праз якія выліваецца вада і даець траэкторыі, блізкія да параболі.

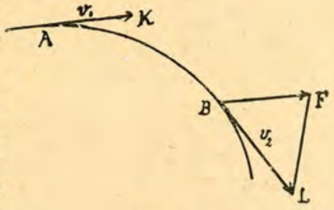
Можам зрабіць яшчэ адзін дасьлед (рыс. 45). Дошчачка A трымае кульку B, якая падае свабодна на зямлю, калі A адхіліць. Тая самая дошчачка A скідвае кульку C, калі будзе адхілена. Па дошчачцы A б'юць больш або менш крэпка малатком, і абедзьве кулькі пачынаюць адначасна падаць. Кулька B падаець аднолькава зьменным прысьпешным рухам па стоцьнай лініі, а кулька C падаець крывалінейным прысьпешным рухам. Абедзьве яны дасягаюць зямлі адначасна, што правяраем па аднолькаваму гуку паданьня іх на зямлю. З якой сілай мы бы ні кінулі кульку C, гукі паданьня будуць аднолькавы.

Адсюль робім вывад, што час паданьня цела ў стоцьным кірунку залежыць толькі ад прысьпеху g, а велічыня пачатнае скорасьці, дадзенай целу ў горызонтным кірунку, варункуе толькі далечыню яго лёту.



Рыс. 45.

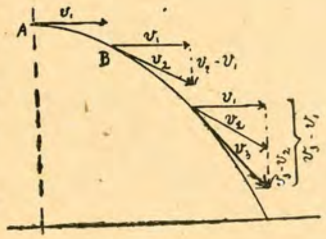
45. Прысьпех у крывалінейным руху. Пункт рухаецца па крывой (рыс. 46). У пункце A ён маець скорасьць, скіраваную па лініі сутычнай да крывой ($AK = v_1$); у пункце B скорасьць яго будзе $v_2 = BL$. Гэтая апошняя маець ужо іншы кірунак, а мо навет і іншую велічыню. Значыць, у часе паміж A і B была нейкая зьмена скорасьці v_1, ці да скорасьці v_1 дададзена (у геомэтрычным значэньні) нейкая іншая скорасьць і дастана v_2. На аснове закону складаньня вэктароў мы можам знайсьці, якая і якога кірунку была дададзена скорасьць. З пункту B праводзім лінію BF, раўналежную з AK, і адкладаем ад пункту B даўжыню $v_1 = AK$ у кірунку скорасьці v_1. Пункт F, канец вэктара v_1, злучаем з пунктам L. Тагды FL, дададзеная да BF, дасьць нам раўнадзейную BL. Значыцца, велічыня FL і будзе тэй зьменай скорасьці (прыростам скорасьці), якая зрабілася ў часе ад A да B.



Рыс. 46.

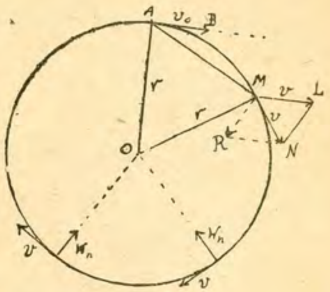
Пачнем цяпер пункт B усё прыбліжаць да A і возьмем адносіны прыросту скорасьці да часу, г. зн. будзем дзяліць прырост скорасьці на час. Велічыня гэтых адносін будзе зьбліжацца да нейкага рубяжа, які і будзе *прысьпехам* у гэтым пункце A.

Для прыкладу возьмем паданьне цела, кінутага наўкос да горызонту (рыс. 47). У пункце A скорасьць цела роўна v_1 і маець горызонтны кірунак. У пункце B гэтая скорасьць зьмяняецца ў v_2. Знаходзім геомэтрычна прырост скорасьці. Ён будзе DL. Велічыню DL аднясём да часу, г. зн. падзелім на час t, які прайшоў ад A да B, і тагды дастанем велічыню прысьпеху g. Якія бы мы ні ўзялі два пункты на гэтай параболі і знайшлі паміж імі прысьпех, мы заўсёды дасталі бы прысьпех g, які будзе мець такжа заўсёды стоцьны кірунак.



Рыс. 47.

46. Раўнамерны рух па коле. Дацэнтравы прысьпех. Дапусьцім, што цела рухаецца па коле з аднолькавай (па сваёй абсолютнай велічыні) скорасьцю (рыс. 48). Ня гледзячы на тое, што скорасьць астаецца сталай велічынёй, у гэтым руху ёсьць нейкі прысьпех, бо скорасьць зьмяняе ўвесь час свой кірунак. У пункце A цела мела скорасьць AB = v, у пункце M яна будзе мець скорасьць MN = v, прырост скорасьці будзе LN.



Рыс. 48

Чамуж роўны гэты прырост? Злучым пункты A і M хордаю AM. Тады дастанем трыкутнікі AOM і MLN. Яны абодва раўнаплечныя, бо AO = MO = r, ML = MN = v, і падобныя, бо ∠ AOM = ∠ NML (дзеля таго, што MN ⊥ OM і ML ⊥ OA). Адсюль дастаём:

$$\frac{LN}{ML} = \frac{AM}{AO} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Будзем цяпер зьбліжаць M да A, каб знайсьці рубеж прыросту скорасьці. Для вельмі малой велічыні AM можам замяніць дугою, а дуга AM гэта ёсьць якраз дарога цела за час t, якая будзе роўна vt, бо цела рухаецца з аднолькавай скорасьцю. Падстаўляючы гэтыя значэньні ў раўнаваньне (1), дастаём:

$$\frac{LM}{v} = \frac{vt}{r}, \quad \text{або} \quad LN = \frac{v^2t}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Гэта, значыць, ёсьць велічыня прыросту скорасьці за час t. Дзелючы яе на t, дастанем велічыню прысьпеху:

$$w = \frac{LN}{t} = \frac{v^2t}{rt} = \frac{v^2}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Прысьпех раўнамернага крывалінейнага руху роўны дзелі квадрату скорасьці на радыус.

Спраўдзім, які разьмер мае гэтая новая велічыня. Разьмер v ёсьць [cm/sec], r мае разьмер [cm], значыць:

$$[w] = \left[\frac{cm^2/sec^2}{cm}\right] = \left[\frac{cm}{sec^2}\right]$$

Той самы разьмер, як і прысьпех аднолькава зьменнага простолінейнага руху.

Кірунак гэтага руху знойдзем вось як. Пунктам, у якім выяўляецца прысьпех LN, ёсьць рухаючыся пункт M. Прысьпех LN будзе стоцьны да лініі AM, бо вышэй памянутыя трыкутнікі падобны і два другія бакі трыкутніка MNL адпаведна стоцьныя да бакоў трыкутніка AMO. Калі, памяншаючы хорду AM, будзем зьбліжаць пункт M да A, то і лінія MN будзе ўсё болей зьбліжацца да кірунку AB. Затым і лінія MK будзе ўсё прыбліжацца да лініі AO. А лінія AO ёсьць кірунак радыуса, г. зн. кірунак дацэнтравы. З гэтага і выводзім, што прысьпех кружнага руху мае дацэнтравы кірунак, г. зн. надае целу рух да цэнтру. Гэтую велічыню будзем абазначаць праз w_n і будзем пісаць:

$$w_n = \frac{v^2}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

ЗАДАЧЫ.

1. Пункт праходзіць раўнамерным рухам дарогу ў 42 cm. за 8 sec. Знайсьці скорасьць пункту ў cm/sec і m/min, напісаць раўнаваньне, прымаючы за сталы пункт пачатнае палажэньне рухаючагася пункту на траэкторыі.

2. Цягнік праходзіць за гадзіну 30 km дарогі. Якая будзе яго сярэдняя скорасьць у cm/sec?

3. Нарысаваць на паперы, пабітай на клеткі, дыаграму палажанага на процэнты капіталу = 2000 м. па 6% гадавых.

4. Нарысаваць дыаграму раўнаваньня руху з задачы № 1.

5. Па тэй самай траэкторыі рухаюцца два пункты. Раўнаваньні іх рухаў будуць: $l = 8 + 4{,}5t$ і $l = 15 - 3t$. Аблічыць, калі яны спаткаюцца, і знайсьці месца спатканьня на дыаграме.

6. Раўнаваньні руху двух пунктаў, рухаючыхся па просталінейнай траэкторыі : $l = 9 - 5t$ і $l = 8 + 2t$. Ці і калі могуць спаткацца гэтыя пункты?

7. Якую скорасьць трэба даць целу, кінутаму стацьма ўверх, каб яно паднялося да вышыні 32 m, калі ня прымаем пад увагу праціўленьня паветра, і калі $g = 981 \frac{cm}{sec^2}$?

8. Кідаем цела з вышыні 40 m. над зямлёй, даючы яму пачатную скорасьць 11 m/sec, скіраваную стацьма ўніз. За які час яно даляціць да зямлі, калі праціўленьня паветра ня прымаем пад увагу і калі $g = 981$ cm/sec²?

9. Разьвязаць задачу 8, прымаючы, што пачатная скорасьць мае кірунак: 1) стоцьны ўверх, 2) горызонтны, 3) творыць з горызонтам кут $\pm 30^0$.

10. Разлажыць вэктар на складаныя, з якіх адна ўдвая вялікша за другую, а кут паміж імі $= 90^0$.

11. Якую скорасьць трэба даць кулі, каб яна ўкацілася ўверх па пахілай роўнядзі, творачай з горызонтам кут 30^0? Даўжыня роўнядзі 120 cm. ($g = 981$ cm/sec, і церця ня прымаем пад увагу).

12. Два цягнікі мінаюцца, ідучы адзін з скорасьцю 30 км./гадз., другі — 45 км./гадз. З якой скорасьцю цягнікі мінаюцца адзін адносна да другога, калі яны ідуць насустрэч і калі ідуць у адзін бок?

13. Два цягнікі, даўжынёй кожны 72 m., ідуць з аднолькавай скорасьцю ў процілежных кірунках і мінаюцца ў працягу 7 сэкунд. Якая скорасьць кожнага з іх?

14. Цягнік ідзе з скорасьцю 40 км/гадз. Як кінуць кулю з вакна вагону, даючы ёй скорасьць 20 m/sec, каб яна ўдарылася ў тэлеграфны слуп у адлежнасьці 18 м. ад кідаючага?

15. Цела абягае тры разы ў сэкунду кола, якога радыус 16 cm. Рух кружны раўнамерны. Знайсьці велічыню дацэнтравага прысьпеху.

АДДЗЕЛ II. СІЛА.

47. Ньютонавыя законы руху. Паняцьце сілы. Паняцьце сілы нам ведама і зразумела. Для навукі, аднак, патрэбна точнае азначэньне, якое зрабіла-бы немагчымымі ўсякія непаразуменьні.

Такое точнае выясьненьне паняцьця сілы знаходзім у законах руху, якія падаў адзін з найвялікшых геніяў усяго сьвету, Ньютон (Newton), англіец родам, які і назваў іх „аксіомамі або законамі руху“ (axiomata sive leges motus).

Закон 1-ы. Кожнае цела астаецца ў супакоі або рухаецца раўнамерным рухам па простай лініі, калі яно не падлягае дзейнасьці сілы.

Гэта ёсьць той самы закон інэрцыі, з якім мы пазнаёміліся ў § 6. Але з формуліроўкі яго вынікаюць яшчэ іншыя вывады. Зададзём сабе пытаньне: у чым выяўляецца дзейнасьць сілы, калі гэтая дзейнасьць мае месца? Для нас саўсім ясна, што калі цела пакінута самому сабе, то ня можа быць ніякае зьмены ў яго руху ці супакою. Калі-ж мае месца нейкая зьмена, пр., калі быўшае ў супакоі цела пачынае рухацца, або рухаўшаеся зьмяняе сваю скорасьць, ці кірунак, адным словам, калі зробіцца нейкая зьмена, тады мы шукаем прычыны яе. Мы ўжо ведаем, што зьмена ў руху цела—гэта ёсьць прырост скорасьці, або, аднесены да часу, гэта ёсьць прысьпех. (Прысьпех можа быць дадатны або адʻёмны, альгэбрычны або геомэтрычны).

І вось прычыну прысьпеху мы прыпісваем сіле і кажам: пакуль на цела ня дзее ніякая сіла, у руху яго няма ніякага прысьпеху (скорасьць яго астаецца сталай, у адзінокім прыпадку—нуль). Калі-ж рух цела адбываецца з прысьпехам,—тады кажам, што на цела дзееець сіла, якая даець яму гэты прысьпех.

Закон II. Мы прымаем, што, калі дзьве сілы дзеяць на дзьве роўныя масы, якія дастаюць роўны прысьпех, то гэтыя сілы роўныя між сабой. Каб вялікшая маса дастала той самы прысьпех, як і меншая, на яе павінна дзеяць вялікшая сіла, і гэтая сіла павінна быць у гэтулькі разоў вялікшай, у сколькі разоў маса першага цела вялікша за масу другога. Інакш кажучы: паміж сілай і масай істнуюць простыя адносіны.

З другога боку, калі дзьве роўныя масы дастаюць розны прысьпех, дык кажам, што на тую масу, што мае вялікшы прысьпех, дзее вялікшая сіла, — і ў гэтулькі разоў вялікшая, у сколькі разоў прысьпех гэтага цела большы за прысьпех другога. Значыць: і паміж сілай і прысьпехам істнуюць простыя адносіны.

Гэта значыць, што сіла тым вялікшая, чым вялікшая маса m і чым большы прысьпех w. Матэматычна гэта выражаецца вось як:

$$f = kmw \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\quad (1)$$

гдзе k ёсьць нейкі коэфіцыэнт пропорцыянальнасьці.

Гэтую новую велічыню, сілу, трэба ўмець мерыць; вось, за адзінку сілы прымем такую сілу, якая масе, роўнай адзінцы масы, дае прысьпех, роўны адзінцы прысьпеху; тады раўнаваньне (1) напішацца так:

$$f = k.\ 1.\ 1.$$

Ясна, што, каб f было роўна 1, трэба, каб k = 1, г. зн.: коэфіцыент пропорцыянальнасьці прымаем роўным 1. І тады для раўнаваньня сілы дастаём:

$$f = mw \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\quad (2),$$

г. зн.: пры гэтак выбранай адзінцы сілы, сіла мераецца множывам масы на прысьпех, які яна даець гэтай масе.

Намі прыняты: для масы—адзінка gr. (грам), для прысьпеху—адзінка $\frac{cm}{sec^2}$ (цэнтымэтр на сэкунду ў квадраце). Адзінку сілы, якая масе ў адзін грам дае прысьпеху адзін цэнтрымэтр на сэкунду ў квадраце, называем дынаю (Dyne).

$$\text{Дына} = 1\ gr. \times 1 \frac{cm}{sec^2} = 1 \frac{gr.\ cm}{sec^2} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\quad (3)$$

Прыкл.: маса 25 gr. дастае прысьпех 40 $\frac{cm}{sec^2}$. Якая сіла на яе дзее?

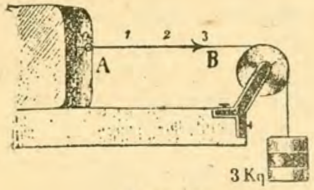
$$f = 25\ gr. \times 40 \frac{cm}{sec^2} = 1000 \frac{gr.\,cm}{sec^2} = 1000\ dyne$$

Дына гэта ёсьць новая вывадная адзінка, якая будзе мець разьмер:

$$[Dyne] = \left[\frac{ML}{T^2}\right], \text{ або, ў сыстэме } CGS, = \left[\frac{gr.\ cm}{sec^2}\right] \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\quad (4)$$

Сіла мае яшчэ адну ўласьцівасьць, якая так сама характэрызуе прысьпех; гэтаю ўласьцівасьцю ёсьць *кірунак*. За кірунак сілы прымаем дадзены ею кірунак прысьпеху. Значыць, сіла ёсьць кірункавая велічыня, і яна можа быць прадстаўлена вэктарам.

Сіла мае заўсёды сваё месца на целе, да якога яна прыложана: пр., калі цягнем цела вяроўкай, то месцам прылажэньня сілы будзе месца на целе, у якім вяроўка ўвязана (рыс. 49).

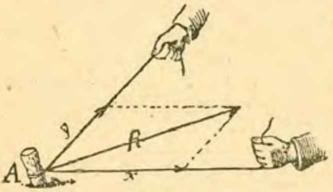


Рыс. 49.

Калі папхнем цела пальцам, то месцам прылажэньня сілы будзе частка вярхніны цела, да якое датыкаемся пальцам. У нашых разважаньнях часта будзем прымаць, што месцам прылажэньня сілы зьяўляецца адзін пункт цела.

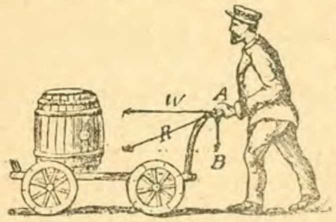
Дзеля таго, што сіла ёсьць велічыня вэктарная, мы можам з ею паступаць, як з вэктарам, г. зн.: геомэтрычна складаць, адымаць, раскладаць.

Прыкладам, рыс. 50 прадстаўляе 2 сілы: x і y, якія, складзеныя, даюць раўнадзейную R. Рыс. 51 дае абраз раскладаньня аднае сілы R на дзьве: горызонтную W і стоцьную B. Да гэтага вернемся яшчэ пазьней.



Рыс. 50.

Цяпер разгледзім вось якое зьявішча: дзьве роўныя сілы маюць процілежныя кірункі (рыс 52). Ясна, што цела не дастане ніякога прысьпеху, бо сілы будуць раўнаважыцца. Аднак, на самае цела гэтыя сілы будуць мець іншую дзейнасьць: яны яго будуць расьцягаваць, калі іх кірункі будуць такія, як на рыс. 52-а, або сплюшчаваць, г. зн. сьціскаць, калі кірункі іх будуць скіраваны да цела (рыс 52-b). У абодвух прыпадках цела будзе, як кажуць, дэформована.



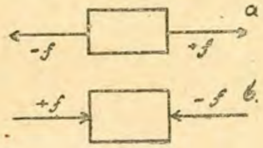
Рыс. 51.

Раўнаваньне (2) выяўляе істоту другога закону Ньютона, які даслоўна гаворыць:

Зьмена руху пропорцыянальна да рухаючае сілы і мае кірунак дзейнасьці сілы.

Раўнаваньне (2) можам лёгка датарнаваць да слоў гэтага закону. Няхай пад дзейнасьцю сілы f за час яе трываньня t зьмяняецца скорасьць з v_1 на v_2 (бяз зьмены кірунку); тады прысьпех

$$w = \frac{v_2 - v_1}{t}$$



Рыс. 52.

Падстаўляючы гэтую велічыню ў (2), дастанем:

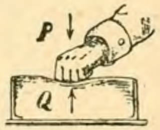
$$f = m\frac{v_2 - v_1}{t}, \text{ або } ft = mv_2 - mv_1 \; . \; . \; . \; . \; . (5).$$

Множыва масы m на яе скорасьць v назавем скольскасьцю руху; множыва сілы f на час яе дзейнасьці t назавем імпульсам сілы. Тады раўнаваньне (5) можам выразіць славамі: імпульс сілы роўны прыросту скольскасьці руху тэй масы, на якую дзеець сіла. Множыва двух множнікаў можа аставацца нязьменным, калі пры зьмянішаньні аднаго множніка другі ў гэтулькі-ж разоў павялічваецца. Прыкл., калі f павялічыцца ў 5 разоў, а t паменшыцца ў 5 разоў, дык множыва, або імпульс сілы астанецца той самы. Значыцца: тая самая зьмена скольскасьці руху можа мець месца пры розных сілах, але дзеючых у адпаведна розным працягу часу.

Запраўды, зялезную кулю, якая можа быць паднята на нітцы, але рухам павольным, папрабуем падняць уверх шыбка на гэтай самай нітцы. У такім прыпадку нітка абарвецца, бо скольскасьць руху (mv) павялічылася, дык павялічылася і сіла f.

Закон III. Пры кожнай дзейнасьці зьяўляецца заўсёды роўная ей, але скіраваная ў процілежны бок процідзейнасьць.

Калі рукой цісьнем на стол, то наша рука адчувае такі самы ціск з боку стала (рыс. 53). Абедзьве асобы, якія расьцягіваюць шнур, маюць уражэньне, быццам шнур цягне іх да сябе. Калі кажам: „зямля прыцягае камень“, які падае, то мы павінны дапоўніць гэтыя словы, кажучы што „камень з роўнай сілай прыцягае зямлю“, або што „целы ўзаемна прыцягаюцца“ і г. д.



Рыс. 53.

Чым-жа дапаўняець гэты III-і закон два першыя?

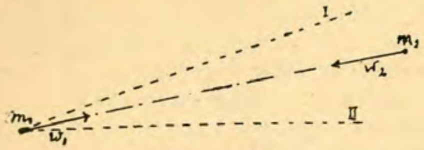
І-ы закон даець магчымасьць устанавіць дзейнасьць сілы на цела: калі ёсьць прысьпех, ёсьць і сіла. Адваротнага вываду: „калі няма прысьпеху, дык няма і сілы“, тутака быць ня можа, бо некалькі сіл могуць даць раўнадзейную, роўную нулю.

II-і закон вучыць, як мераць сілу: сіла мераецца множывам масы на прысьпех. Кірункам сілы ёсьць кірунак прысьпеху.

III-ці закон вучыць нас аб жарале сілы. Калі-б на ўсім сьвеце было толькі адно цела, дык па III-му закону Ньютона ня было-б таго об'екта, на які-б дзеяла процідзейная сіла ў нашым целе, а, значыцца, ня было-б і самае сілы. Дык скуль-бы ўзялася тая сіла, якая-б дзеяла на нашае цела?! Толькі прысутнасьць другога цела можа выклікаць паміж імі двума ці то прыцяганьне, ці адпіханьне, і гэтая дзейнасьць з роўнай сілай выяўляецца ў абодвух целах.

Няхай дадзеная маса m_1 рухаецца з прысьпехам w_1 (рыс. 54). На аснове І-га закону робім вывад, што на яе дзеець сіла; II-і закон кажа, што гэтая сіла дзеець у кірунку прысьпеху масы і што велічыня сілы будзе $m_1 w_1$; III-і закон дае наказ шукаць у кірунку прысьпеху другой масы, на якую дзеець сіла роўная, але скіраваная ў процілежным кірунку. Калі ўдаецца знайсьці гэтую другую масу

m_2, якая рухаецца, кіруючыся да масы m_1, з прысьпехам w_2, ды пры гэтым велічыня сілы $m_2w_2 = m_1w_1$, — то мы ўстанавілі прысутнасьць сілы, памерылі яе вартасьць і знайшлі яе жарало, якім зьяўляецца маса m_2 (так сама, як жаралом сілы, дзеючай на масу m_2, ёсьць маса m_1).



Рыс. 54.

У гісторыі астрономіі знаходзім цікавы прыклад. Зямля наша належыць да сонечнай сыстэмы і праходзіць навокала сонца эліптычную дарогу. Апрача зямлі, ёсьць і другія плянэты, якія так сама ходзяць падобнымі дарогамі, толькі ў featureрознай адлежнасьці ад сонца. Да 1864 г. вучоныя ведалі вось якія плянэты: найбліжэйшая да сонца — Мэркуры, далей Вэнус, Зямля, Марс, Юпітэр, Сатурн, Уран. На гэтыя нябесныя целы ў першую чаргу дзеець сонца, а затым і яны ўсе паміж сабой уплываюць адна на адну, зьмяняючы свае рухі. Гэтыя зьмены называюцца пэртурбацыямі. І вось астроном Ле-Вэрïэ (Le-Werrier) аблічыў рух Урана, найдалейшае ад сонца спаміж ведамых плянэтаў, і знайшоў, што ў Урана ёсьць нейкі прысьпех, але жарала гэтага прысьпеху ён ня бачыў. Ён знайшоў толькі велічыню і кірунак гэтага прысьпеху, а таксама тае сілы, якая яго вызываець. На гэтай аснове другі астроном, Гале (Galle), адкрыў істнаваньне новае плянэты: Нэптуна.

Ясна, што гэтае адкрыцьце магло быць зроблена толькі тагды, калі істнуе адно няведамае цела (Нэптун). Каліб было больш няведамых плянэтаў, адкрыць іх гэтым шляхам было-б немагчыма. Запраўды, калі дадзены прысьпех ёсьць раўнадзейны двух, або больш прысьпехаў, дык няма ведама, як яго разлажыць, бо дзеля гэтага трэба йшчэ ведаць кірункі паасобных прысьпехаў, а мо навет і велічыні іншых з іх. У гэтым прыпадку не заўсёды можна разьвязаць задачу.

Увага. На рыс. 54, мы абазначылі масы m_1 і m_2 пунктамі і кажам, што маса знаходзіцца ў пункце. Ведама, гэта ёсьць толькі умоўнае абазначэньне, бо маса павінна мець абыймо. Аднак, дзеля упрашчэньня разважаньня мы выбіраем у целе нейкі пункт і дапускаем, што ён замяняе сабою ўсю масу. Гэтакі пункт, якому прыпісваем усе ўласьцівасьці масы, завецца матэрыяльным пунктам, і гэтым абазначэньнем надалей будзем часта карыстацца.

48. Сіла цяжару. Свабодна падаючае цела рухаецца з прысьпехам g. Гэты прысьпех вызываецца сілай цяжару. Ясна, што гэтая сіла цяжару, коратка кажучы, цяжар дадзенага цела мераецца адзінкамі сілы, значыцца, дынамі.

Прыкл. У дадзеным месцы на зямлі $g = 981 \frac{cm}{sec^2}$. Які будзе цяжар цела, калі маса яго роўна 25 gr? Раўнаваньне (2) § 47 дае:

$$f = m\,w = 25 \text{ gr. } 981 \frac{cm}{sec^2} = 24525 \frac{gr. cm}{sec^2} = 24525 \text{ dyne.}$$

У іншым месцы, пр. у Вільні, гдзе $g = 981{,}44 \frac{cm}{sec^2}$, цяжар будзе іншы:

$$f = 25 \text{ gr. } 981{,}44 \frac{cm}{sec^2} = 24536 \text{ dyne.}$$

Знойдзем, чаму раўняецца цяжар 1 gr. і 1 mg. у тым месцы зямлі, гдзе $g = 981$ cm/sec²

$$\text{цяжар } 1 \text{ gr} = 1 \text{ gr} \times 981 \text{ cm/sec}^2 = 981 \text{ dyne}$$

$$„ \quad 1 \text{ mg} = 0{,}001 \text{ gr} \times 981 \text{ cm/sec}^2 = 0{,}981 \text{ dyne.}$$

Значыць, дына ёсьць $\frac{1}{981}$ цяжару аднаго грама ў тым месцы, гдзе $g = 981$ cm/sec². Цяжар 1 міліграма роўны блізка 1 дыне. Дзеля таго, што нам трэба мераць значна вялікшыя сілы, часта ўжываецца адзінка ў міліён разоў вялікшая за дыну, мэгадына, роўная 10^6 dyne, трохі больш за цяжар 1 кілёграма.

Агулам, цяжар нейкае масы m у тым месцы, гдзе прысьпех свабодна падаючых цел роўны g, будзе:

$$f = mg \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1).$$

Для прыкладу даем ніжэй велічыню сілы цяжару 1 грама ў розных мясцох зямное кулі:

на экватары . . .	978,1	dyne	ў Вільні	981,44	dyne
„ полюсы . . .	983,1	„	„ Варшаве . . .	981,22	„
ў Парыжу	980,96	„	„ Вене	980,88	„
„ Грынвічу	981,26	„	„ Гэльсінгфорсе .	982,81	„

Чым аб'ясьняецца розьніца цяжару ў розных мясцох зямное кулі, будзе сказана пасьля.

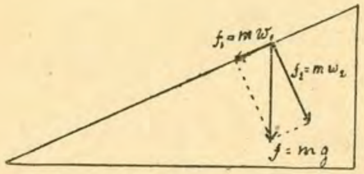
Вышэй мы сказалі: калі „зямля прыцягае камень“, то і „камень прыцягае зямлю“. І запраўды: зямля падае на камень, бо абодва целы пад уплывам сілы прыцяганьня прыбліжаюцца адно да аднаго. Няхай маса камня будзе m і прысьпех g; тагды сіла цяжару будзе mg. III-і закон Ньютона кажа, што тая самая сіла дзеець і на другое цела, г. зн. на зямлю. Яе маса M дастае нейкі прысьпех w, значыцца: сіла, якая яе рухае, роўна Mw. Але гэтыя дзьве сілы роўны між сабой. Значыцца:

$$mg = - Mw.$$

Знак — мы паставілі перад аднэй з іх, бо яны скіраваны ў процілежныя бакі. Адгэтуль:

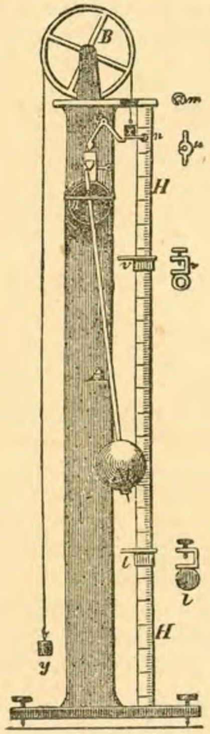
$$w = - \frac{m}{M} g \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2).$$

З гэтага мы бачым, што прысьпех, які вызывае падаючы камень у масе зямлі, у гэтулькі разоў меншы за прысьпех самога камня, у сколькі разоў маса камня менш за масу зямлі. Лёгка зразумець, што мы ня маем такіх чулых прыладаў, каб мерацъ гэтую малюсенькую велічыню, але ўсёжтакі яна ёсьць, яна істнуе.



Рыс. 55.

У § 41, разглядаючы паданьне цела па пахілай роўнядзі, мы раскладалі прысьпех на 2 кірункі: адзін — раўналежны да роўнядзі, другі — стоцьны да яе. Зробім тое самае з сілай $f = mg$, якая дзеець на матэрыяльны пункт (рыс. 55). Сіла $f_1 = mw$ дае пункту прысьпех уздоўж роўнядзі; сіла $f_2 = mw_2$ толькі прыціскае пункт да роўнядзі і, як пабачым далей, варункуе велічыню няўхільнага пры руху церця.



Рыс. 56.

49. Дасьледы з машынай Атвуда (Atwood). Рыс. 56 дае паняцьце аб машыне Атвуда. На горызонтнай восі можа круціцца з магчыма найменшым церцем кола B, якое мае на абадзе равок. Праз гэты равок перакінут шаўковы шнурок, на канцох якога павешаны дзьве роўнае масы гіркі; а калі гэтак цяжар абедзьвюх гірак аднолькавы, дык гіркі будуць увесь час аставацца ў супакоі. Калі мы прыложым да аднае гіркі нейкую сілу, прыкл. падымем яе пальцам уверх, дык гіркі пачнуць рухацца: адна ўверх, а другая ўніз, і, па тэорыі, рухаліся-бы раўнамерным рухам, калі-б церце ў мэханізьме і церце паверта ня робілі іх рух вальнеючым. Значыць, наша прылада ня можа лічыцца такой, на якой можна было-бы зусім точна спраўдзіць законы руху; але ўсё-ж такі маем магчымасьць выкарыстаць яе, як наглядную ілюстрацыю руху.

Калі аднэй з гірак (прыкл. правай) мы дададзём нейкую масу (у форме мэталёвага кружка з выразам для шнурка), дык яна пачне падаць, а другая гірка будзе падымацца. Рух будзе прысьпешны. Будзе гэта дзеяцца пад уплывам дадатковае сілы, якой зьяўляецца сіла цяжару масы кружка. Калі-б гэты кружок падаў свабодна, ягоны прысьпех быў-бы g, але тут ён сваёй сілай прыводзіць у рух яшчэ гіркі (ня лічучы кола і шнурка). Калі-б ня было церця, рухаючыяся масы (2 гіркі — кожная з масай m, значыць 2 m, — і маса кружка m_1, разам $2m + m_1$) рухаліся бы з сталым прысьпехам, які быў-бы ў

гэтулькі разоў меншы за прысьпех g, у сколькі разоў m_1 (маса кружка) менш за $2m + m_1$ (маса ўсіх рухаючыхся цел). Вынікае гэта з II-га закону Ньютона: прысьпех, дадзены тэй-жа сілай розным масам, адваротна пропорцыянальны да гэтых масаў.

У практыцы прысьпех будзе трошкі меншы за тэорэтычны і ня будзе сталым, а ўсё гэта з прычыны церця; ня гледзячы на гэта, можам зрабіць на машыне вось якія дасьледы:

1) Карыстаючыся вадзяной вагой і стоцяй (§ 4 ч. I), устанаўляем машыну як найтачней у стоцьным кірунку. Зьнімаем падстаўку v, якая мае круглы выраз — такі, каб гірка x праходзіла праз яго свабодна. Сэкундны матач M спаўняе дзьве функцыі: 1) кожны раз, як ён праходзіць праз сваё найніжэйшае палажэньне, ён падымае малаточак v, які выбівае сэкунды; 2) пры першым падняцьці малаточка v вагі t аслабаняюць падстаўку n, і гірка x пачынае падаць. Падстаўка l ня мае выразу і служыць для затрыманьня руху гіркі x; пры гэтым чуецца гук ад удару гіркі аб падстаўку.

Спраўдзім цяпер раўнаваньне дарогі пры аднолькава прысьпешным руху:

$$l = \frac{wt^2}{2}$$

якім мы з досыць значным прыбліжэньнем можам аблічыць рух падаючае гіркі. Ставім гірку x на падстаўку n. На гірку накладаем дадатковы кружок m. Падстаўку l ставім на такой вышыні, каб удар гіркі x аб яе адбыўся адначасна з якім-небудзь ударам матача аб званок (пр. з 2-ім), Першы раз матач зазваніў, калі гірка пачала рухацца; значыць, гірка была ў руху 1 сэкунду і прайшла прыкл. 10 cm. Гэтую велічыню дарогі мы чытаем на слупку з рыскамі, што на права, на якім і замацаваны падстаўкі.

Велічыня прысьпеху будзе: $w = \frac{2l}{t^2} = \frac{2.10}{1} = 20 \frac{cm}{sec^2}$

Аблічым дарогу, якую пройдзе гірка ў 2, 3, 4 . . . . сэкунды. За 2 сэк. $l = 40$ cm; за 3 сэк. $l = 90$ cm; за 4 сэк. $l = 160$ cm і г. д. Спраўдзім гэта. Падстаўку l ставім на 40 cm, на 90 cm, на 160 cm і г. д. і кожны раз даем гірцы падаць. Тады пераканаемся, што ўдары гіркі x аб падстаўку будуць схадзіцца з 3-ім, 4-м, 5-м званком, што і пацьвярджае правільнасьць закону аб тым, што аднолькава прысьпешны рух мае дарогу пропорцыянальную да квадрату часу.

2) Паставіўшы гірку x на падстаўку n, замест кружка m паложым на яе кружок u, а на слупку з рыскамі умацуем падстаўку v. Кружок u не праходзіць праз выраз у v. Гэтую падстаўку v паставім так, каб кружок u ўдараў па ей адначасна з 2-м званком. Тады, адхіліўшы матач, пускаем у рух мэханізм. Пры 1-м званку гірка x з кружком u пачынае рухацца прысьпешным рухам. Пры 2-м званку кружок u астаецца на падстаўцы v, а далей гірка x рухаецца раўнамерным рухам з тэй скорасьцю, якую яна мела падчас 2-го званка. Калі адлежнасьць падстаўкі v ад пачатку руху ёсьць 10 cm, то прысьпех $w = 20$ cm/sec^2 і скорасьць гіркі $v = wt = 20$ cm/sec $\times$ 1 sec $=$ $= 20$ cm/sec. Значыць, у нашым прыкладзе гірка павінна з гэтай скорасьцю раўнамерна рухацца далей. Паставіўшы падстаўку l на рысцы слупка 30 cm, мы пачуем адначасна 3-і званок і ўдар гіркі x аб падстаўку. Паставіўшы падстаўку на рысцы 50 cm, пачуем 4-ы званок і адначасна ўдар гіркі і г. д.

3) Заменім цяпер гіркі x і y такімі, каб агульная маса ў руху: $2\,m' + m_1$ была ўдвая меншая за папярэднюю. Прыкладам, калі $2\,m + m_1 = 2 \times 25$ gr. $+$ 10 gr. $=$ 60 gr., то возьмем $2\,m^1 + m_1 =$ $= 2 \times 10$ gr. $+$ 10 gr. $=$ 30 gr. Тады сіла цяжару, якая дае рух усей сыстэме: $m_1 = 10$ gr. (цяжар кружка u), астаецца тэй самай, а ўся маса, якая дастае прысьпех, паменшала ўдвая. У грубых лічбах рэзультаты дасьледаў дадуць, што прысьпех павялічыўся удвая, г. зн. мы спраўдзілі формулу:

$$w = \frac{f}{m}$$

прысьпех адваротна пропорцыянальны да масы.

Мы кажам „у грубых лічбах“, бо мы ня прымалі пад увагу масы кола, якая так сама дастае прысьпех, і ўсялякага церця.

4) Зьменім цяпер гіркі x і y, а таксама кружок u так, каб сіла цяжару, якая даець рух усей сыстэме, павялічылася ўдвая,— значыцца, замест цяжару m_1 возьмем $2m_1$, але з тым, каб агульная сума мас у руху асталася тая самая, г. зн.: $2m_2 + 2m_1 = 2m + m_1$. Пр., заместа кружка ў 10 gr. возьмем кружок у 20 gr., а заместа гірак па 25 gr возьмем гіркі па 20 gr. (2×20 gr $+$ 20 gr $=$ 60 gr). Паўторым вышэйапісаныя дасьледы. Ізноў у грубых лічбах дастанем пацьверджаньне таго, што прысьпех проста пропорцыянальны да сілы.

50. Дацэнтравая сіла. Калі прывяжам камень да вяроўкі і, узяўшы другі яе канец у руку, пачнем круціць камень, дык ён будзе апісваць кружную дарогу. У кожным месцы гэтае дарогі ён будзе мець іншы кірунак сваёй скорасьці (гл. § 45 і 46). Каліб у нейкай хвіліне вяроўка разарвалася, камень паляцеўбы па лініі сутычнай да яго траэкторыі, аддаляючыся пры гэтым ад рукі. Значыцца, шнур прымушае камень ісьці па кружнай дарозе, шнур, значыцца, надае камню нейкую сілу, якая і завецца дацэнтравай. З другога боку, рука, якая круціць гэты камень, адчувае нейкі ціск з боку вяроўкі, які цягне руку ў бок камня. Гэтая сіла, саўсім згодная з III законам Ньютона, ёсьць тая процідзейнасьць, якая зьяўляецца ў вяроўцы пад уплывам дацэнтравае сілы. Гэтую новую сілу завуць адцэнтравай. Пакуль што мы займемся толькі дацэнтравай сілай.

У § 46 мы разгледзілі ідэальны прыпадак раўнамернага руху па коле і знайшлі, што там выяўляецца дацэнтравы прысьпех. Законы Ньютона кажуць, што прысьпех вызываецца заўсёды сілай. Гэта і ёсьць дацэнтравая сіла. Знойдзем велічыню яе. Велічыня прысьпеху нам ведама:

$$w_n = \frac{v^2}{r} \quad (\S\ 46 \text{ раўн. } 4).$$

З другога боку ведаем, што сіла мераецца множывам масы на прысьпех; значыць, прымаючы, што маса m рухаецца з скорасьцю v па коле радыуса r, дастанем для дацэнтравае сілы f_n раўнаваньне:

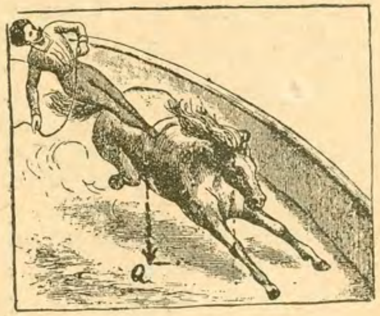
$$f_n = \frac{mv^2}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (1).$$

Разглядаючы гэтае раўнаваньне, бачым, што дацэнтравая сіла павінна быць:

1) тым больш, чым вялікша маса,
2) тым больш, чым меншы радыус дарогі,
3) тым больш, чым вялікшы квадрат скорасьці;

г. зн.: паміж сілай і масай істнуе простая пропорцыянальнасьць, паміж сілай і радыусам адваротная пропорцыянальнасьць, урэшце, сіла проста пропорцыянальна да квадрату скорасьці.

Лёгка спраўдзіць гэта на тым самым камні. Чым вялікшы камень, тым вялікшае тым цяжэй яго круціць; чым карацейша вяроўка, тым вялікшае (ня патрэбна напружаньне, каб камень меў тую самую скорасьць з якой ён выляцеў бы). лічбу абаротаў у адзінку часу, а скорасьць, Калі будзем павялічаваць скорасьць камня, а вяроўка будзе нямоцная, дык яна разарвецца; значыць, дацэнтравая сіла павялічваецца, калі ўзрастае скорасьць.



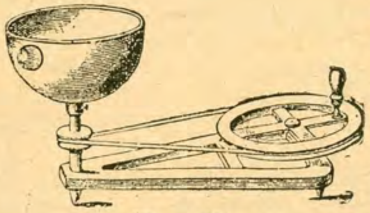
Рыс. 57.

Прывяжам судзіну з вадой да вяроўкі і будзем яе круціць, як раней круцілі камень. Вада ня выльецца. Дацэнтравая сіла, перададзеная вадзе расьценкамі судзіны, не даець ей распрыснуцца па лініі, сутычнай да яе дарогі.

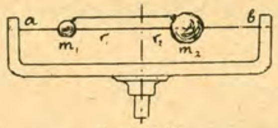
Конь, бягучы па коле (навокал арэны ў цырку), нахіляецца да цэнтру (рыс. 57).

51. Дасьледы з цэнтрыфугай. (Рыс. 58). Цэнтрыфуга — гэта прылада, якая служыць для даваньня цэлу кружнага руху. Цела прыладжваецца на восі малога кола, а вялікае кола прыводзіцца ў кружны рух ручкай на ім. Гэты рух безканечным шнуром перадаецца малому колу, а значыць і целу.

1. У місцы (рыс. 58) кінутая свабодна кулька ў часе кружэньня будзе падымацца па сьценцы міскі. Дацэнтравай сілай будзе тут тая сіла, з якой на кульку цісьне сьценка судзіны ў горызонтным кірунку.

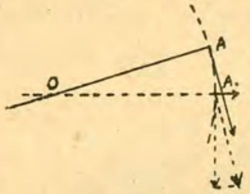

Рыс. 58.

2. Разгледзім падрабней вось які дасьлед. На цэнтрыфугу ставім рамку (рыс. 59). На дручку ab рухаюцца зьвязаныя паміж сабой шнурком дзьве мэталёвыя кулькі рознае масы. Калі паставім гэтыя кулькі ў роўнай адлежнасьці ад восі кружэньня, то, пусьціўшы ў ход цэнтрыфугу, пачуем зара гук удару. Спыніўшы машынку, пабачым, што кулькі пасунуліся да рамкі—ў бок вялікшае кулькі. Перастаўляючы кулькі, мы знойдзем такое палажэньне, пры якім кулькі навет пры найхутчэйшым кружэньні будуць аставацца на сваіх мясцох. Гэтае палажэньне адпавядае адваротным адносінам адлежнасьці восі кружэньня ад асяродка цяжару кулек, г. зн.: адлежнасьць меншае кулькі ад восі ў гэтулькі разоў больш за адлежнасьць ад восі вялікшае кулькі, у сколькі разоў маса вялікшае кулькі больш за масу меншае.



Рыс. 59.

Выясьнім гэтае зьявішча. Маючы свабодны рух уздоўж дручка, кулька A, пры руху дручка навокала восі O, перасунецца на дручку ў адцэнтравым кірунку (рыс. 60.). Справа ў тым, што скорасьць, у пункце A, якую кулька стараецца захаваць (аб чым нас вучыць закон інэрцыі), пры пераходзе ў пункт A_1 дае складаную скорасьць уздоўж радыуса, што і вызывае аддаленьне кулькі ад восі.



Рыс. 60.

Калі-ж дзьве кулькі, зьвязаныя шнурком, утрымліваюцца на сваіх мясцох, то, значыцца, яны знаходзяцца пад дзейнасьцю дацэнтравых сіл. Гэтыя сілы даець напружаньне злучаючага іх шнурка. Сілы гэтыя, відавочна, будуць роўныя. Назавем адпаведна масы, скорасьці і адлежнасьці ад восі абедзьвюх кулек літарамі: m_1, v_1, r_1, m_2, v_2, r_2. Тады, згодна з раўн. (1) § 50, дастанем:

$$\frac{m_1 v_1^2}{r_1} = \frac{m_2 v_2^2}{r_2} \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Скорасьці v_1 і v адносяцца да сябе, як іх радыусы, бо абедзьве кулькі ў тым самым часе робяць аднолькавую лічбу абаротаў, але не па аднолькавым дарогам; значыць:

$$v_2 : v_1 = r_2 : r_1; \; . \; . \; . \; . \; . \; (2).$$

Перапішам раўн. (1) вось як:

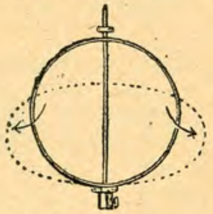
$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2^2}{v_1^2} \cdot \frac{r_1}{r_2}$$

і падставім (2):

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot \frac{r_1}{r_2} = \frac{r_2}{r_1} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

што і адпавядае рэзультатам дасьледу.

3. Умацуем на цэнтрафузе вось з мэталёвым абручом, які ўмацаваны ўнізе, а ўверсе мае выраз, якім свабодна коўзае па восі (рыс. 61). Калі пусьцім цэнтрафугу ў кружны рух, абруч пачне сплюшчавацца і тым больш, чым рух шубчэйшы. Тут часткі абруча імкнуцца да захаваньня кірунку сваёй скорасьці і аддаляюцца ад восі, але гэтаму аддаленьню ставіць рубеж дацэнтравая сіла. Пры сплюшчаваньні абруча выяўляюцца гэтак званыя сілы пружыннасьці, якія і даюць патрэбную дацэнтравую сілу. Чым хутчэйшы рух, тым вялікшая будзе сіла, якая імкнецца адсунуць часткі абруча ад восі, і, значыцца, абруч павінен больш сплюшчыцца, каб у самым сабе вызваць вялікшае напружаньне, якое зраўнаважыла-б сілу, вызваную інэрцыяй.


Рыс. 61.

Падобнае „сплюшчаваньне“ ў кірунку восі кружэньня маюць кружачыся целы, калі яны могуць яму паддацца; падобнае сплюшчаваньне сцьвярджаем і на зямной кулі, вынікае-ж гэта з тых самых прычын, з якіх вынікае сплюшчаваньне абруча.

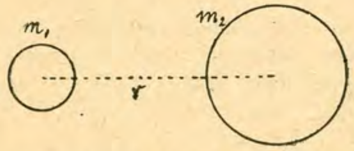
4. Умацуем на цэнтрафузе шкляную судзіну (рыс. 62), куды наліта трохі ртуці і захварбаванае вады. Калі пусьцім цэнтрафугу ў рух, то жыжкі займуць палажэньне, як паказана на рысунку, пры чым ртуць займець месца далей ад восі. Абедзьве яны будуць быццам прыціснуты да бакоў судзіны. Гдзе дацэнтравая сіла? — няхай адкажа чытач.


Рыс. 62.

52. Сусьветнае прыцяганьне (гравітацыя).

Найвялікшай заслугай генія Ньютона было сформуляваньне закона аб так званым сусьветным прыцяганьні, які кажа, што ўсе бяз вынятку целы прыцягаюцца паміж сабой, пры тым для дзьвюх масаў, якія знаходзяцца адна ад аднэй у нейкай адлежнасьці, сіла прыцяганьня пропорцыянальна да велічыні масаў і адваротна пропорцыянальна да квадрату адлежнасьці. Значыць, чым вялікшыя масы, тым больш сіла, а калі адлежнасьць павялічваецца ўдвая, утрая і г. д., дык сіла памяншаецца ў чатыры, дзевяць і г. д. разоў.

Сіла прыцяганьня выяўляецца як паміж вялікімі целамі, прыкладам: сонца, зямля,—так і паміж найдрабнейшымі часьцінамі, на якія мы можам хоцьбы ў мысьлі падзяліць целы,—зусім незалежна ад таго, ці будзем мець дзела з часьцінамі аднаго цела, ці розных целаў. Значыць, калі кажам аб прыцяганьні двух целаў, то разумеем, што кожная часьціна аднаго цела прыцягае кожную часьціну другога цела, і ўсе гэтыя сілы даюць нейкую раўнадзейную сілу. Матэматычнае разважаньне, якога тут не падаем, даводзіць, што для аднародных куляў, якія ў-ва ўсіх сваіх пунктах маюць аднолькавую гушчыню, прыцяганьне адбываецца так, як быццам масы гэтых куляў сконцэнтраваны ў іх цэнтрах. Значыць, калі кажам аб адлежнасьці такіх куляў, дык разумеем адлежнасьць паміж іх цэнтрамі.



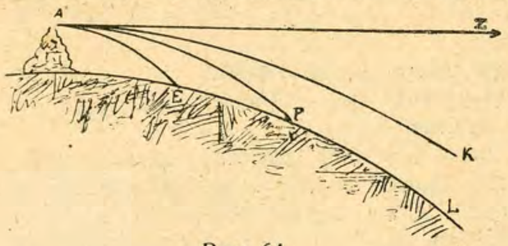
Рыс. 63.

Няхай адлежнасьць паміж цэнтрамі дзьвюх куляў з масамі m_1 і m_2 будзе r (рыс. 63); тады закон Ньютона: простая пропорцыянальнасьць сілы да масаў і адваротная пропорцыянальнасьць да квадрату адлежнасьці—выразіцца формулай:

$$F = k\,\frac{m_1 m_2}{r^2}\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ (1).$$

гдзе k—нейкі коэфіцыент пропорцыянальнасьці. Як знайсці яго будзе паказана далей.

Легенда кажа, што ўпаўшы яблык навёў Ньютона на адкрыцьце гэтага закону. Больш пэўна тое, што вялікую ролю ў гэтым адыграў рух месяца навокала зямлі. Месяц рухаецца па нейкай крывой, якую для упрашчэньня прымем за кола. Кружны рух можа адбывацца толькі тагды, калі істнуе дацэнтравая сіла. Як на камень, што кружыцца навокала рукі, дзеець дацэнтравая сіла—напружаньне вяроўкі, так на месяц, што кружыцца навокала зямлі, дзеець дацэнтравая сіла—прыцяганьне, якое істнуе паміж зямлёй і месяцам.



Рыс. 64.

Вось,—як простым разважаньнем можна пераканацца, што паміж штадзенна бачаным рухам кінутага камня і рухамі далёкіх ад нас целаў у сусьвеце няма аснаўное розьніцы, што ўсе гэтыя рухі падлягаюць таму самаму закону сусьветнага прыцяганьня. Прадставім сабе, што з нейкага высока над зямлёй ляжачага месца (рыс. 64) кідаем цела ў ґорызонтным (A Z) для гэтага месца кірунку. Яно ўпадзе на зямлю, прайшоўшы дарогу AE. Павялічым яго пачатную скорасьць;

яно ўпадзе далей, прайшоўшы дарогу AF. Дапусьцім цяпер, што зямля—гэта правільная куля, і што кінутае цела не спатыкае церця. Павялічваючы пачатную скорасьць, мы дойдзем да такога руху цела, што яно падаючы ня будзе прыбліжацца да зямлі. Яно абляціць зямлю навокала і дзеля таго, што церця няма, вернецца ў пункт A з тэй самай пачатнай скорасьцю. Гэта і ёсьць той рух, які месяц адбывае навокала зямлі.

Гэтак разважаў Ньютон. Адлежнасьць месяца ад зямлі ведама, час аднаго абароту навокала зямлі — так сама ведамы (для упрашчэньня прымаем, што дарога месяца навокала зямлі ёсьць кола); тады можам аблічыць скорасьць месяца, адкуль знаходзім дацэнтравы прысьпех месяца. З другога боку, калі прыцяганьне месяца і камня зямлёй ёсьць выяўленьне таго самага закону прыроды — сусьветнага прыцяганьня, то прысьпех месяца будзе аднасіцца да прысьпеху камня, як квадраты іх адлежнасьці ад цэнтру зямлі.

Калі гэты закон справядлівы, то вялічыні, дастаныя для дацэнтравае сілы і для прысьпеху ад зямнога прыцяганьня месяца, павінны быць аднолькавы, а прынамся ня розьніцца больш, чым дапускаюць магчымыя абмылкі пры памерах. І вось упрошчанае аблічэньне:

Адлежнасьць месяца ад зямлі ў круглых лічбах r = 60 зямных радыусаў (R = 6367 km.); час аднаго абароту месяца навокала сонца T = 27 дзён 7 гадзін 43 мінуты = 2360580 sec. Скорасьць месяца будзе:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi\ .\ 60\ .\ 6367\ .\ 10^5}{2360580}\ \frac{cm}{sec}$$

$$\text{а прысьпех: } w_n = \frac{v}{r} = \frac{(2\pi\ .\ 60\ .\ 6367\ .\ 10^5)^2}{(2360580)^2\ .\ 60\ .\ 6367\ .\ 10^5}\ \frac{cm}{sec^2} =$$

$$= \frac{4\pi^2\ .\ 60\ .\ 6367\ .\ 10^5}{(2360580)^2}\ \frac{cm}{sec^2} = 0{,}271\ \frac{cm}{sec^2}\ .\ .\ .\ .\ .\ (2).$$

З другога боку, прысьпех свабодна падаючых цел пры самай вярхніне зямлі $g = 981\ cm/sec^2$; значыцца, у адлежнасьці, у 60 разоў вялікшай, прысьпех гэты будзе ў $60^2 = 3600$ разоў меншы:

$$\frac{981\ \frac{cm}{sec^2}}{3600} = 0{,}2725\ \frac{cm}{sec^2}\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ (3).$$

Рэзультаты (2) і (3) надзіва згодны.

Цяпер для нас ясна, што прысьпех свабодна падаючага цела ня ёсьць велічыня сталая, што яна зьмяняецца ў залежнасьці ад адлежнасьці ад цэнтру зямлі. У нашых практычных пытаньнях, аднак розьніцы гэтыя надта невялікія.

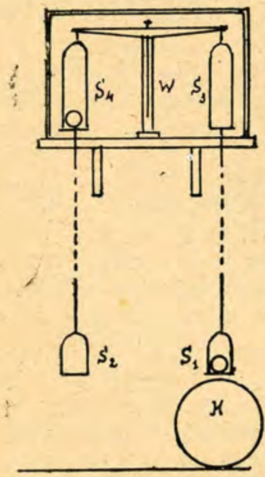
Пазнаёміўшыся з тэй простай формулай сусьветнага прыцяганьня, якая мае гэткі багаты зьмест, ня маем права зьмоўчыць аб належным аўтару яе прызнаньні за ягоны вялікі розум, які гэты закон здалеў абняць і гэтак проста выразіць. Праўда, што формула яго паказвае так сама і прастату сусьветнае будовы, але ня менш вартым увагі зьяўляецца геній Ньютона, які паказаў чалавецтву гэту прастату.

53. Аблічэньне коэфіцыента гравітацыі і масы зямлі і іншых цел сонечнае сыстэмы.

У формуле Ньютона

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

нам няведама k — коэфіцыент, які мае назоў **коэфіцыента гравітацыі**. Істнуе некалькі спосабаў знаходу яго. Ніжэйпаданага спосабу памéраў у 1881 годзе ўжыў Жольлі (Jolly) ў Мюнхене.



Рыс. 65.

Пад самай стольлю высокае (25 m.) лесьвічнае клеткі былі павешаны вагі з падвойнымі шалькамі (рыс. 65): адна пара шалек (S_3 і S_4) блізка столі, другая (S_1 і S_2) на 21 m. ніжэй—пры зямлі. На аднэй з ісподніх шалек S_1 палажылі шкляную кулю, напоўненую ртуцьцю. Другая такая самая куля раўнаважыла першую, але была пакладзена на вышэйшай шальцы S_4. Пасьля поўнага зраўнаважаньня вагоў пад ісподнюю кулю падлажылі вялікую валавяную кулю (1 m. у дыамэтры). Гэтую кулю складалі з пліт, якія ўсе разам мелі масу ў 5775,2 kg. Аказалася, што шалька S_1 перацягнула вагі; значыцца, каб ізноў дастаць раўнавагу, трэба было на шальку S_4 далажыць нейкую масу. У дасьледзе маса кулі з ртуцьцю была 5009,45 gr., маса валавянае кулі была 5775200 gr., адлежнасьць паміж цэнтрамі абедзьвюх куляў, калі вагі былі зраўнаважаны, h=56,86 cm; маса, якую дадалі на шальку S_4, каб зраўнаважыць дзейнасьць сілы гравітацыі, была 0,6 mg=0,0006 gr. (у круглай лічбе), што дае цяжар гэтае масы $= 0{,}0006 \times 980{,}8$ dyne $= 0{,}59$ dyne. Падстаўляючы ў раўнаваньне (1) гэтыя вялічыні, дастаём:

$$0{,}59 \frac{\text{gr. cm}}{\text{sec}^2} = k \frac{5009{,}45 \text{ gr.} \times 5775200 \text{ gr.}}{(56{,}86 \text{ cm})^2}$$

скуль можам знайсьці, чаму роўна k:

$$k = 6{,}6 \times 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{gr. sec}^2} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

Ведаючы, чаму роўна k, можам знайсьці, чаму раўняецца сіла прыцяганьня паміж дзьвюма масамі ў 1 gr.—кожная на адлежнасьці 1 cm адна ад аднэй (прыкл., 2-ма плятыновымі кулькамі ў 1 gr. кожная, цэнтры якіх адлежны адзін ад аднаго на 1 cm):

$$F = 6{,}6 \,.\, 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{gr. sec}^2} \,.\, \frac{1 \text{ gr.} \,.\, 1 \text{ gr.}}{1 \text{ cm}^2} = 6{,}6 \,.\, 10^{-8} \frac{\text{gr. cm}}{\text{sec}^2} = 6{,}6 \,.\, 10^{-8} \text{ dyne} \; (3)$$

Гэтая сіла раўняецца аднэй 16-міліённай частцы дыны, а мы ведаем (§ 48), што сіла аднае дыны блізка роўна цяжару 1 міліграма. Дык цяпер зразумела, чаму мы не спасьцерагаем гравітацыйнае дзейнасьці паміж акружаючымі нас целамі.

Іншыя памеры далі для k вялічыні дужа блізкія, з розьніцамі, якія лёгка аб'ясьняюцца няўхільнай няточнасьцю дасьледаў. Велічыня k, ведама, не залежыць ад хімічных уласьцівасьцей целаў, а таму і сіла прыцяганьня паміж целамі не залежыць ад іх хімічнага складу, а выключна ад масы целаў і ад узаемнае адлежнасьці.

Дастаўшы k, можам зрабіць цікавыя памеры масы зямлі. Возьмем нейкую масу m; яе цяжар будзе mg. З другога боку, гэты цяжар ёсьць тая гравітацыйная сіла, якая дзеецца паміж зямлёй і целам; гэтую сілу, значыць, можам выразіць раўнаваньнем (1), падстаўляючы заместа m_1 масу m, заместа m_2 шуканую масу зямлі M, заместа r — радыус зямлі R.

$$mg = k \frac{mM}{R^2}$$

Згэтуль:

$$M = g \frac{R^2}{k}$$

Заместа g, R і k падставім іх лічбавыя вялічыні : $g = 981$ cm/sec²; $R = 6367 . 10^5$ cm; $k = 6{,}6 . 10^{-8}$ cm³/gr. sec². Тады ў круглай лічбе дастанем:

маса зямлі $M = 5{,}7 . 10^{27}$ gr. (блізка 6000 трылёнаў тонн).

Далей, дастаўшы велічыню масы зямлі, можам аблічыць масу сонца вось як. Нам вéдамы: рух зямлі навакола сонца, адлежнасьць зямлі ад сонца і маса зямлі; згэтуль выводзім велічыню дацэнтравае сілы. З другога боку, прыцяганьне сонца аблічаем з формулы $\frac{k m_1 m_2}{r^2}$, гдзе m_1 — маса зямлі, m_2 — шуканая маса сонца, r — адлежнасьць ад цэнтру зямлі да цэнтру сонца. Такой-жа мэтодай, дастаўшы масу сонца, можам аблічыць масы і ўсіх іншых плянэтаў сонечнае сыстэмы, бо і рухі навакола сонца добра вéдамы. Таксама можам „зважыць“ і нашу плянэту—месяц.

Вось-жа ня дзіва, што тая валавяная куля, якой рабілі памеры k, пераховуецца, як памятка, ў унівэрсытэце ў Мюнхене, бо яна памагла „зважыць“ і зямлю, і сонца, і плянэты.

54. Прычыны розьніцы цяжару роўных мас у розных мясцох зямлі. Сіла цяжару — гэта ёсьць тая сіла прыцяганьня, якая існуе паміж зямлёй і целам. Сіла гэтая залежыць ад адлежнасьці цэнтраў прыцягаючыхся целаў. Зямля ня куля, яна сплюшчана пры полюсах; значыцца, цела, якое знаходзіцца на полюсе, ляжыць бліжэй да цэнтру зямлі, і затым сіла прыцяганьня, г. зн. яго цяжар, будзе вялікшая, чымся на экватары. У сярэдніх шырынях велічыня прыцяганьня будзе мець сярэднія значэньні.

Ёсьць яшчэ і другая важная прычына, якая вызывае розьніцу сілы прыцяганьня на розных шырынях зямное кулі.

Цела на экватары апісвае разам з зямлёй кружную дарогу навокал зямное восі. Гэты рух імкнецца адкінуць цела ад зямлі, чаму перашкаджае частка сілы прыцяганьня. Значыць, частка сілы цяжару йдзе на ўдзяржаньне цела пры зямлі, толькі другую частку мы запраўды мерым нашымі прыладамі (прыкл., пружыннымі вагамі). Калі ўсю сілу прыцяганьня абазначым F, часьць яе, якая ідзець на тое, каб утрымаць кружны рух цела, праз F_1, а тую, што мы мерым на пружынных вагах, праз F_2, то можам напісаць:

$$F = F_1 + F_2$$

Гэтая частка F_2 выяўляецца ў ціску цела на падставу, у прысьпеху, з якім цела свабодна падае, і, значыць, ёсьць запраўдны цяжар цела. Калі-б зямля пачала круціцца хутчэй навокала сваёй восі, то, каб удзяржаць цела на экватары, патрэбна была-б вялікшая сіла F_1, а разам з тым F_2 паменшала-бы, бо сіла F (сума F_1 і F_2) асталася-б тая самая. Калі-б пры павялічэньні скорасьці кружэньня зямлі настала такая хвіліна, што F_1 стала бы роўнай F, г. зн. уся сіла прыцяганьня пайшла-б на ўтрыманьне цела пры зямлі, тады-бы цэлы ня мелі цяжару. Пры далейшым павялічэньні скорасьці зямлі целы адляталі-б ад зямлі так, як адлятае прыліпшае балота ад кола, калі калёсы паедуць хутчэй.

На полюсах сіла F_2 пры ўсякіх зьменах скорасьці кружнага руху зямлі аставалася бы тая самая $= F$, бо тая частка сілы F, што йдзе на дацэнтравую сілу, г. зн. на ўдзяржаньне целаў пры зямлі, $F_1=0$. Тут, значыць, сіла цяжару F_2 роўна сіле прыцяганьня F. У меру пераходу з экватара на полюс сіла цяжару ўсё расьце.

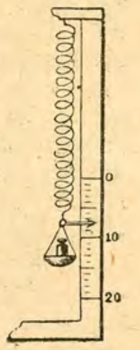
Вышэй мы ўжо чулі, што і форма зямлі вызывае тое, што цяжар цела на экватары меншы за цяжар на полюсах. Значыць, абодва гэтыя варункі дапамагаюць адзін аднаму ў тым самым кірунку: у кірунку меншаньня цяжару целаў на экватары.

Яшчэ і розная будова зямлі выклікае тыя ці іншыя зьмены ў сіле прыцяганьня для іншых месц на зямлі.

Пасьля гэтых выясьненьняў відавочна, якая і чаму будзе зьмена ў цяжары, калі цела будзе аддаляцца ад зямлі. Няхай чытач сам адкажа, як зьменіцца цяжар цела, калі яно будзе апускацца ў нетру зямлі, прыкл., у глыбокую студню? Які будзе цяжар цела, калі яго паставім у цэнтры зямлі?

Цяпер некалькі ўваг. Трэба адрозьніваць: масу цела (гэта характэрная для яго велічыня) і зьменны ў залежнасьці ад абставін цяжар яго. Маса цела мераецца грамамі (kg, фунты—словам, адзінкамі масы), цяжар—адзінкамі сілы: дына (мэгадына). Агулам кажучы, цяжар ёсьць сіла, і аб гэтым трэба заўсёды памятаць.

55. Дынамомэтр. Пружынныя вагі. Калі павесім на пружыне цела, то пружына выцягнецца; калі павесім больш цяжкое цела, то пружына больш выцягнецца. Можам таксама і сьціскаць пружыну, вызываючы рознымі сіламі розныя „скарочаньні“ пружыны. Гэтай уласьцівасьцю пружыны карыстаюцца дзеля мераньня сіл. Пружыну абцяжаем нейкай масай m. Яе цяжар будзе mg (прыл., 15 gr. масы; цяжар яе пры $g=980,2\ \mathrm{cm/sec}^2$ у дадзеным мейсцы$=mg=14703$ dyne). Пружына на сваім свабодным канцы мае стрэлку, і мы адзначаем тое месца, на якім стрэлка затрымалася, калі мы павесілі першую масу. Затым вешаем другую, трэцюю і г. д. і адзначаем на абойме, да якога месца пры якой сіле пружына расьцягнулася, ці скарацілася. Цяпер, калі маем нейкую сілу, якую трэба памерыць, мы можам карыстацца гэтай прыладай, бо яна паказала справядліва, якая сіла дэфармуе пружыну. Гэта прылада завецца дынамомэтрам або сіламерам (рыс. 66).



Рыс. 66.

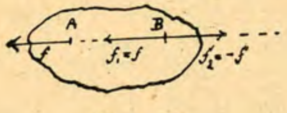
У практыцы часта ўжываюць прылады, аснованыя на сказаных прынцыпах, для знаходу вагі, г. зн. масы цела. Гэта саўсім несправядліва, і вось чаму. На сказанай прыладзе мы адзначым месца, да якога цяжар 15 gr. расьцягнуў пружыну, і напішам 15 gr. Цяпер перавязём гэную-ж прыладу ў месца, гдзе g роўна іншай велічыні, а не $980,2\ \mathrm{cm/sec}^2$. Кладучы ізноў нейкую масу так, каб стрэлка дайшла да тае́ самае рыскі, мы пераканаемся, што гэтая маса ўжо ня будзе роўна 15 gr. Яна будзе больш, ці менш за 15 gr. у залежнасьці ад таго, ці ў гэтым месцы g больш, ці менш за $980,2\ \mathrm{cm/sec}^2$. Пружыннымі вагамі можна карыстацца для знаходу масаў толькі ў тым месцы зямлі, гдзе яны зроблены, або яшчэ ў тых месцах, гдзе g мае тую самую велічыню, як і ў месцы вырабу вагоў.

Ня гледзячы на гэта, на пружынных вагах можна точна важыць, але толькі карыстаючыся правільнымі гіркамі і то вось як. Заўважаем, да якое рыскі дайшла стрэлка, калі павесілі важанае цела. Затым абцяжаем вагі гіркамі да тае́ самае рыскі, і іх масу прымаем за запраўдную масу цела.

Агулам, трэба памятаць, што, важучы цела, мы абазначаем яго масу ў грамах, kg, фунтах, лотах і г. д., а ня сілу цяжару,—кажучы каротка, не „цяжар“; дзеля знаходу велічыні цяжару трэба ведаць прысьпех g свабодна падаючага цела для гэтага месца, чаго важаньне не дае.

З вышэйсказанага вынікае, што дынамомэтр, каб точна спаўняць сваю ролю, павінен быць калібраваны ў адзінках сілы: дынах, або мэгадынах. Тагды ён будзе годны для ўжытху ў-ва ўсіх месцах зямлі і будзе служыць для мераньня сілаў.

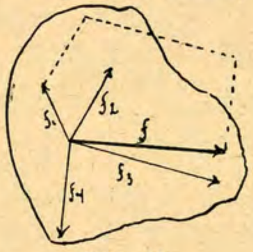
56. Дзейнасьць некалькіх сілаў адначасна на ідэальна цьвёрдае цела. Ідэальна цьвёрдым целам будзем называць такое цела, якое агулам не паддаецца дэформацыям; гэта значыць, што часткі яго ня могуць зьмяняць свайго палажэньня ад ніякае дзейнасьці сілаў. Гэтую ўмову ўводзім дзеля упрашчэньня разважаньня.



Рыс. 67

Перш за ўсё заўважым, што, калі на такое ідэальна цьвёрдае цела дзееець сіла, то пункт яе прылажэньня можна перанясьці куды хаця ў кірунку яе дзейнасьці. Запраўды (рыс. 67), калі маем сілу f з пунктам прылажэньня A, то на лініі яе дзейнасьці можам у нейкім пункце B выабразіць дзьве сілы f_1 і f_2 так сама велічынёй па f, але скіраваныя ў процілежныя бакі па лініі AB. Гэтыя сілы ніякое дзейнасьці на цела мець ня будуць, бо яны зраўнаважацца. Далей, на гэтыя тры сілы f, f_1 і f_2 можна паглядзець так, што f і f_2 раўнаважацца, г. зн. сума гэтых сілаў ніякое дзейнасьці на цела ня мае (не зьмяняе стану яго інэрцыі, не вызывае дэформацыяў, бо гэтых быць ня можа). Дзеля гэтага мы можам проста адкінуць сілы f і f_2. Астанецца тагды сіла f_1, якая па велічыні і кірунку роўна f, але мае іншы пунтк прылажэньня. Вось, мы і перанесьлі сілу f з пункту A ў пункт B па кірунку сілы f.

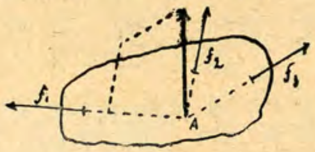
Разгледзім цяпер паасобныя прыпадкі складаньня сілаў.



Рыс. 68.

1. На ідэальна цьвёрдае цела дзеюць некалькі сілаў, маючых супольны пункт прылажэньня. (Рыс. 68). Сілы прадстаўлены вэктарамі; вось, згодна з тым, што было сказана ў § 47 аб складаньні сілаў, мы можам проста пабудаваць мнагакутнік вэктароў, і тагды бок f, які яго замкне, будзе па велічыні і кірунку раўнадзейнай усіх сілаў (f_1, f_2, f_3 і f_4).

2. На ідэальна цьвёрдае цела дзеюць некалькі сілаў, якіх кірункі перасякаюцца ў адным пункце.



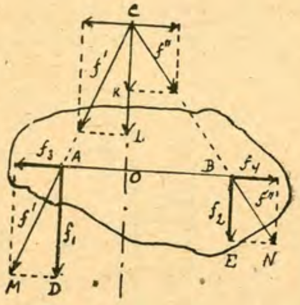
Рыс. 69.

Пераносячы пункты прылажэньня кожнае сілы ў гэты супольны пункт A (рыс. 69), будуем мнагакутнік сілаў і дастаём ізноў адну сілу f, якая будзе раўнадзейнай для ўсіх трох (f_1, f_2 і f_3).

Можа здарыцца, што супольны пункт прылажэньня не ляжыць у самым целе. Мы ўсёж такі можам перанесьці туды дзейнасьць усіх сілаў, быццам гэты пункт неяк зьвязаны з целам. Знайшоўшы раўнадзейную, мы перанясём пункт яе прылажэньня па простай, што вызначаець яе кірунак, у месца ў самым целе.

3. На ідэальна цвёрдае цела дзеюць дзьве раўналежныя сілы:

а) сілы скіраваны ў адзін бок (рыс. 70). Робім дапушчэньне, што на гэтае цела ў пунктах A і B дзеюць апроч дадзеных сіл f_1 і f_2 яшчэ дзьве сілы f_3 і f_4, якія роўны паміж сабой, але скіраваны ў процілежныя бакі, г. зн.: $f_3 = -f_4$, і абедзьве маюць супольны кірунак па простай лініі AB. Даданьне гэтых сілаў нічога не зьмяняе ў дзейнасьці сыстэмы сілаў на дадзенае цела, бо сілы раўнаважацца; значыць, гэта ёсьць мэтод дапушчальны. Сіла f_1, складзеная з f_3, дае раўнадзейную $AM = f'$; сілы f_2 і f_4 даюць раўнадзейную $BN = f''$. Кірункі дастаных сілаў f' і f'' перасякаюцца ў пункце C, куды і перанясём пункты прылажэньня сілаў f' і f''. У гэтым пункце разложым кожную з гэтых сілаў на тыя самыя сілы, з якіх яны былі зложаны, г. зн.: f_1 і f_3, так сама f_2 і f_4. Відавочна, што f_3 і f_4 раўнаважацца, і мы іх адкідаем. Астаюцца сілы f_1 і f_2, раўнадзейная якіх раўняецца іх суме і дзееець у кірунку CO. Яе мы можам перанясьці ў які-небудзь пункт на лініі CO, прыкладам у пункт O, што ляжыць на ў лініі AB. З падобнасьці трыкутнікаў COA і ADM, дастаём:



Рыс. 70.

$$\frac{CO}{AO} = \frac{AD}{DM} = \frac{f}{f_3} \, . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

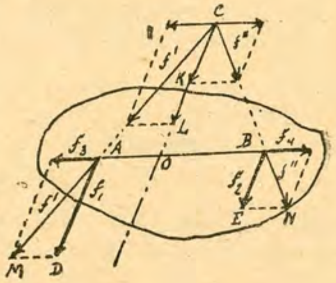
Далей, з падобнасьці трыкутнікаў COB і BEN выплывае:

$$\frac{CO}{OB} = \frac{BE}{EN} = \frac{f_2}{f_4} \, . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2).$$

Дзелючы (1) на (2) дастанем:

$$\frac{OB}{OA} = \frac{f_1}{f_2} \text{ (бо } f_3 \text{ роўна } f \text{)}$$

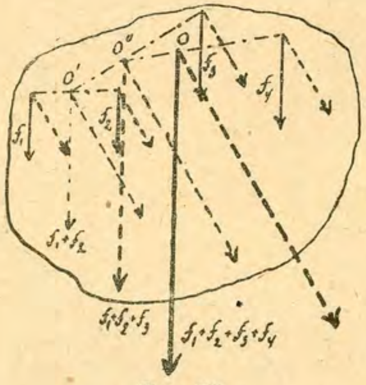
г. зн., што пункт O дзеліць простую, паміж пунктамі A і B, на часткі адваротна пропорцыянальныя да велічыні сілаў f_1 і f_2.



Рыс. 71.

Каліб сілы f_1 і f_2 мелі іншы кірунак адносна да лініі AB (рыс. 71), захоўваючы свае пункты прылажэньня A і B, то, складаючы іх, як вышэй паказана, мы бы дасталі ізноў, што простая AB дзеліцца пунктам прылажэньня раўнадзейнае (пункт O) на два адрэзкі, адваротна пропорцыянальныя да сілаў f_1 і f_2. Значыць, ізноў дасталі-бы той самы пункт O.

З гэтуль вывад: дзейнасьць дзьвюх раўналежных сілаў, скіраваных у той самы бок, можна замяніць аднэй раўнадзейнай сілай, якая па велічыні будзе раўняцца суме гэтых сілаў, будзе мець супольны кірунак з дадзенымі сіламі і будзе дзяліць адлежнасьць паміж пунктамі прылажэньня сілаў у адваротна пропорцыянальных адносінах да самых сілаў.



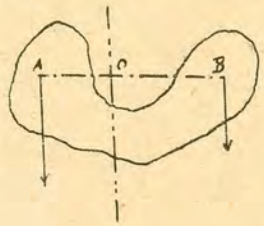
Рыс. 72.

Гэты пункт О завецца асяродкам дадзеных раўналежных сілаў.

b) Больш, як дзьве скіраваныя ў адзін бок сілы (рыс. 72). Маем, прыкл., 4 сілы: f_1, f_2, f_3 і f_4. Замяняем f_1 і f_2 іх раўнадзейнай $(f_1 + f_2)$; асяродкам гэтых сілаў будзе пункт О'. Гэтую раўнадзейную складаем з f_3; новая раўнадзейная $(f_1+f_2+f_3)$ будзе мець свой асяродак у пункце О''. Гэтую другую раўнадзейную складаем з f_4, і апошняя раўнадзейная $(f_1+f_2+f_3+f_4)$ будзе праходзіць цераз асяродак усіх сілаў О.

Зьменім цяпер толькі кірунак сілаў (пунктавыя лініі на рыс. 72), узяўшы тыя самыя велічыні сілаў і іх пункты прылаж. Злажыўшы сілы, як паказана, дастанем, што іх раўнадзейная пройдзе ізноў цераз пункт О, які будзе асяродкам гэтых сілаў.

Значыць, дзейнасьць на ідэальна цьвёрдае цела якой-хоч лічбы раўналежных сілаў, скіраваных у адзін бок, можа быць заменена дзейнасьцю аднае раўнадзейнае сілы, якая скіравана ў той самы бок, як і дадзеныя сілы, роўна суме гэтых сілаў і праходзіць цераз нейкі характэрны для цела пункт, які завецца асяродкам гэтых сілаў. Палажэньне асяродка не залежыць ад супольнага для сілаў кірунку, а толькі ад велічыні самых сілаў і ад палажэньня іх пунктаў прылажэньня. Гэта ня значыць, што гэты пункт ёсьць пунктам прылажэньня раўнадзейнае, а паказвае толькі тое, што кірунак раўнадзейнае дадзеных сілаў праходзіць цераз гэты пункт. Можа здарыцца, што асяродак сілаў будзе ляжаць і не на самым целе (рыс. 73).



Рыс. 73.

c) Дзьве раўналежныя сілы, скіраваныя ў процілежныя бакі (рыс. 74). Маем дзьве сілы: f_1 і f_2; пры гэтым $f_1 > f_2$. Разложым f_1 на такія дзьве сілы (f_3 і f_4), — раўналежныя і скіраваныя ў бок сілы f_1, каб адна з іх (f_3) праходзіла цераз пункт B і была роўна сіле f_2. Тады сіла f_4 пройдзе праз пункт O, які знойдзем з раўнаваньня:

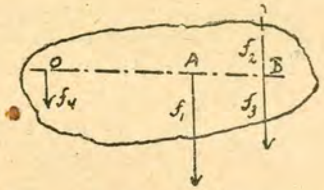
$$f_3 : f_4 = OB : BA.$$

Але мы прынялі $f_3 = f_2$; тады: $f_4 = f_1 — f_2$ і

$$f_2 : (f_1 — f_2) = OB : BA$$

$$\text{або } f_2 : f_1 = OB : OA.$$

Сілу f_1 мы разлажылі на f_3 і f_4; сіла f_3 раўнаважыцца з f_2; значыць, астаецца адна сіла $f_4 = f_1 — f_2$, якая і будзе раўнадзейнай гэтых дзьвюх сілаў.

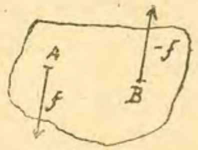


Рыс. 74.

Вывад. Раўнадзейная дзьвюх раўналежных сілаў, скіраваных у процілежныя бакі, раўняецца іх розьніцы, раўналежна да іх кірунку, скіравана ў бок вялікшае сілы і праходзіць цераз пункт (асяродак раўналежных сілаў), якога адлежнасьці ад сілаў адваротна пропорцыянальны да велічыні сілаў. Пункт гэты ляжыць не паміж пунктамі А і В, а вонках і бліжэй да вялікшае сілы.

d) Якая-хоч лічба раўналежных сілаў, дзеючых у адзін або розныя бакі. На аснове вышэй сказанага ясна, што раўнадзейная ўсіх гэных сілаў раўняецца альгэбрычнай іх суме, раўналежна да іх, і кірунак яе зыходзіцца з простай, якая праходзіць цераз асяродак дадзеных раўналежных сілаў.

e) Пара сілаў. У адзіночным прыпадку можам мець дзейнасьць дзьвюх раўналежных сілаў, скіраваных у процілежныя бакі і роўных між сабой (рыс. 75). Каліб мы хацелі злажыць іх, як вышэй паказана, то іх раўнадзейная была бы па велічыні роўная О, асяродак-жа гэтых сілаў быў-бы адсунуты ў безканечнасьць. Што гэта значыць? Гэта трэба разумець так, што дзейнасьці дзьвюх раўналежных, роўных і скіраваных у розныя бакі сілаў нельга замяніць аднэй раўнадзейнай. Яны складаюць гэтак званую пару сілаў і даюць кружны рух целу, на якое дзеюць. Аб гэтым будзе гутарка ніжэй.

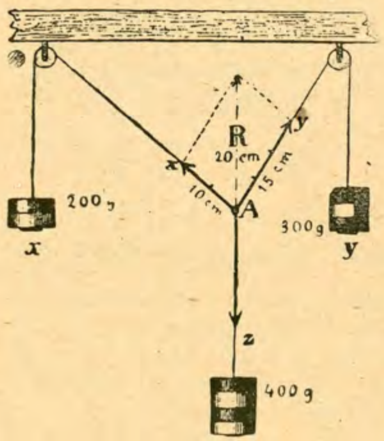


Рыс. 75.

57. Раўнавага сілаў. Хоць паняцьце раўнавагі сілаў зразумела з нашых штодзенных спасьцярогаў, аднак, для навучных мэтаў мы павінны даць больш точнае формулаваньне яго.

Сілы раўнаважацца, калі яны не даюць целу прысьпеху. Прысьпеху-ж яны не дадуць, калі раўнадзейная іх раўняецца нулю. Значыць, калі раўнадзейная некалькіх сілаў, дзеючых на цела, раўняецца нулю, то сілы гэтыя раўнаважацца. Мы тут пакуль-што разглядаем толькі рух паступны.

На рыс. 76 і 77 паказаны прыклады такое раўнавагі. На першым з іх паказана раўнавага 3 сілаў, якія дзеюць на адзін пункт А. Раўнадзейная дзьвюх сілаў ёсьць роўная і па кірунку процілежная да трэцяе. Знайшоўшы палажэньне сілаў, калі паміж імі істнуе раўнавага, нарысуем на паперы вэктары, г. зн. адрэзкі, раўналежныя да кірунку дзьвюх складаных і прапорцыянальныя да цяжару гірак. Затым пабудуем раўналежнабочнік сілаў. Яго дыаганаль і будзе раўнадзейнай, якая па велічыні будзе раўняцца 3-яй сіле, а кірунак будзе мець процілежны. Калі, прыкл., сілы будуць 200 gr., 300 gr. і 400 gr., то бакі—адрэзкі простых, г. зн. вэктары сілаў, будуць аднасіцца да сябе, як 2 : 3 : 4 = = 10 cm : 15 cm : 20 cm. На гэтай прыладзе можам знайсьці трэцюю масу, калі 2 ведамы, можам спраўдзіць тыя ці іншыя масы,—але гэтага дасьледу нельга разглядаць, як „доваду“ закона складаньня сілаў, бо довад гэты зьмяшчаецца ў азначэньні сілы, як вэктара.



Рыс. 76.

Рыс. 77.

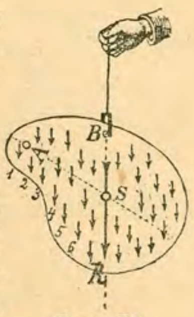
Рыс. 77 паказвае раўнавагу раўналежных сілаў, якімі зьяўляюцца цяжары гірак. Тут ясна відочны адносіны паміж гэтымі цяжарамі і адлежнасьцямі паміж пунктамі іх прылажэньня.

Абодва дасьледы вельмі комплікуюцца церцем, якое істнуе ў мэханізмах.

58. Асяродак цяжару. Калі павесім цела (рыс. 78) на шнурку, то пасьля некалькіх матаньняў яно прымець нейкае палажэньне супакою. Заўважым, што сіла цяжару не даець прысьпеху целу, бо ёй процідзееець сіла напружаньня шнурка. Дзейнасьць шнурка на цела гэта ёсьць сіла, скіраваная стацьма ўверх і раўнаважачая сілу цяжару цела. Алеж мы ведаем, што сіла прыцяганьня зямлі дзееець на кожную частку цела ў стоцьным кірунку. Гэтыя сілы, як раўналежныя, пры складаньні іх даюць адну сілу, якая і раўнаважыцца процідзейнасьцю напружаньня шнурка, маючы кірунак да цэнтру зямлі. У гэтым разважаньні мы прымаем дзеля прастаты, што зямля ёсьць куля, і то аднародная, і што цэнтр яе масы ляжыць у геомэтрычным цэнтры яе. З прычыны малой велічыні цела, раўнуючы да зямлі, кірункі сілы цяжару паасобных частак цела мы прымаем за раўналежныя лініі, хоць запраўды яны ўсе йдуць па радыусам і зыходзяцца ў адным пункце—цэнтры зямлі. І вось, калі адна сіла (напружаньне шнура) зьніштажае сілу цяжару ўсіх частак цела, дык гэта можа мець месца толькі тады, калі гэная сіла роўна раўнадзейнай усіх сілаў цяжару ўсіх частак цела, ды калі яна мае кірунак гэтае-ж раўнадзейнае і дзееець у процілежны бок.

Калі возьмем нейкую аднародную кулю і будзем яе вешаць за якое-хоч месца яе вярхніны, кірунак раўнадзейнае пройдзе цераз геомэтрычны цэнтр кулі. Значыць, геомэтрычны цэнтр кулі ёсьць асяродкам цяжару яе.

Такой самай мэтодай знойдзем асяродак цяжару і для цела на рыс. 78. Павесіўшы цела за пункт В, мы знайшлі прадоўжаньне кірунку шнурка і адзначылі яго стрэлкай R. Затым павесім цела за пункт А і правядзём ізноў лінію AS, як прадоўжаньне шнурка. Гэтыя дзьве лініі перасякуцца ў пункце S. За які-б іншы пункт мы ні вешалі гэтае цела, мы заўсёды знайшлі-бы кірунак раўнадзейнае, які праходзіць цераз пункт S і завецца асяродкам цяжару.



Рыс. 78.

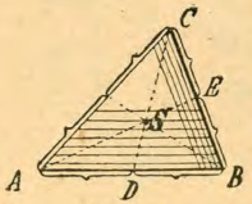
Істнаваньне асяродка цяжару выплывае з разважаньня аб складаньні раўналежных сілаў § 55, скуль выводзім, што асяродкам цяжару есьць асяродак тых раўналежных сілаў, за якія мы прымаем сілы гравітацыі, дзеючыя на паасобныя пункты цела.

Значыць, калі паставім цела так, каб рух яго асяродка цяжару ў стоцьным кірунку ўніз быў немагчымы, то цела ня будзе падаць. Можам, прыкладам, падперці цела ў гэтым пункце. Запраўды мы падапром цела не ў адным пункце, бо гэта фізычна немагчыма, а на большай або меншай яго вярхніне.

59. Палажэньне асяродка цяжару ў паасобных прыпадках. Мы будзем разглядаць целы толькі аднародныя. Целы, якія маюць сымэтрычную форму адносна да якога-небудзь пункту, які завецца пунктам сымэтрыі, маюць асяродак цяжару ў гэтым пункце. Прыкл., куля мае асяродак ў геомэтрычным центры, персьцень, обад кола—так сама ў цэнтры. Асяродак цяжару, як і асяродак сілаў, можа і не ляжаць у целе, што спраўдзім, прыкл., адпаведна падвешаваючы персьцень.

У целах, якія маюць лініі (восі) сымэтрыі або роўнядзі сымэтрыі, асяродак цяжару ляжыць на гэтай восі або роўнядзі. Калі цела мае больш як адну вось або роўнядзь сымэтрыі, то асяродак цяжару ляжыць на перасеку восяў або роўнядзяў сымэтрыі.

Прыкл., цыліндр мае асяродак сымэтрыі на перасеку восі цыліндра (= вось сымэтрыі) з роўнядзяй сымэтрыі, якая праходзіць стацьцёва да восі на палове вышыні цыліндра, г. зн., асяродак цяжару цыліндра ляжыць пасярэдзіне восі цыліндра. Стацьмасьцень (прастакутны паралелепіпед) мае асяродак цяжару ў месцы перасеку яго трох роўнядзяў сымэтрыі, праведзеных праз сярэдзіны яго рубоў (кантаў). Просты дручок, маючы ўсюды той самы разрэз, будзе мець асяродак цяжару на роўнядзі, якая дзеліць папалове яго даўжыню і стацьцёва да гэтае даўжыні. Пліта, маючая форму круга, будзе мець асяродак цяжару ў сярэдзіне сваёй таўшчыні на лініі сваёй геомэтрычнай восі.



Рыс. 79.

У трыкутніку знойдзем асяродак цяжару вось як. Падзелім яго (рыс 79) на трапэцыі лініямі, раўналежнымі да аднаго боку. Асяродкі цяжару гэтых трапэцыяў будуць ляжаць на лініях, злучаючых сярэдзіны раўналежных бакоў; значыць, лінія DC, злучаючая сярэдзіну боку з процілежным вяршком, будзе тая, на якой ляжыць асяродак цяжару. Гэтак-жа дастанем і для другога боку, што на лініі AE будзе так сама ляжаць гэты асяродак. Значыць, ён будзе ляжаць у пункце S перасеку гэтых лініяў. Злучым цяпер D і E лініяй (не паказанай на рысунку); тады дастанем трыкутнікі ACS і DES. У іх лінія DE раўналежна да AC, бо адсякае пропорцыянальныя часткі ад бакоў кута CBA; значыць, кут CAS роўны куту DES і кут ACS роўны куту SDE. Такім парадкам, гэтыя трыкутнікі падобны. А згэтуль вынікае, што іх бакі паміж сабой пропорцыянальны:

$$AS : SE = AC : DE = 1 : {}^1/_2 = 2 : 1.$$

$$\text{або } (AS + SE) : SE = 3 : 1.$$

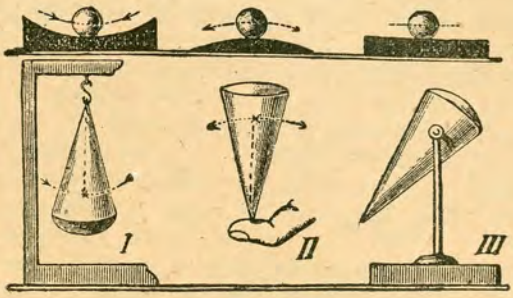
Згэтуль дастаём, што асяродак цяжару трыкутніка ляжыць на адрэзку лініі, злучаючае вяршок кута з сярэдзінай процілежнага боку, у адлежнасьці ад боку роўнай аднэй траціне гэтага адрэзка.

Асяродак цяжару ў пірамідзе ці ў конусе ляжыць на адрэзку простае лініі, злучаючае сяродак цяжару асновы з вяршком, у адлежнасьці аднае чверці гэтага адрэзку ад падставы.

60. Раўнавага падпертых целаў, знаходзячыхся пад дзейнасьцю толькі сілы цяжару. У § 57 устаноўлена, што, каб цела ня рухалася пад дзейнасьцю толькі сілы цяжару, патрэбна і хватае, каб стоцьная лінія, пераходзячая цераз асяродак цяжару, праходзіла так сама цераз пункт падперця, або, кажучы агульней, праходзіла ўнутры контура падперця.

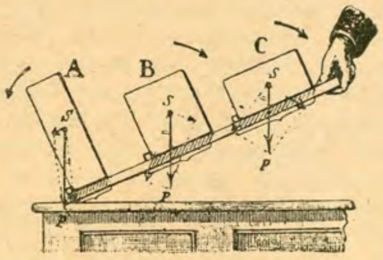
Рысункі 80, 81 і 82 даюць паняцьце аб розных варунках раўнавагі целаў. Разрозьніваем тры роды раўнавагі: 1) стойкая, 2) нястойкая і 3) нязьменная (індыфэрэнтная). Калі цела, якое знаходзіцца ў раўнавазе, будзе выведзена з свайго палажэньня і, пакінутае дзейнасьці аднае толькі сілы цяжару, ізноў вернецца ў пачатнае палажэньне, то раўнавага стойкая. Калі ж яно ня толькі не вяртаецца ў старое палажэньне, але імкнецца заняць саўсім новае, дык

раўнавага будзе нястойкая. Калі-ж ўрэшце цела астаецца ў раўнавазе пры кожнай зьмене палажэньня, то раўнавага будзе нязьменная (індыфэрэнтная).



Рыс. 80.

Конус або куля (фігура I, рыс. 80), выведзеныя з палажэньня, ў якім яны знаходзяцца на рысунку, вяртаюцца да яго —раўнавага стойкая. Конус або куля (фігура II, рыс. 80), выведзеныя з свайго палажэньня, падаюць далей — раўнавага нястойкая. Урэшце, конус або куля (фігура III, рыс. 80), выведзеныя з свайго палажэньня ў іншае, астаюцца ў апошнім—раўнавага нязьменная (індыфэрэнтная).



Рыс. 81.

Нятрудна заўважыць, якія варункі патрэбны для тае ці іншае раўнавагі. Калі асяродак цяжару пры вывядзеньні з займанага палажэньня раўнавагі падымаецца адносна да зямлі, інакш кажучы: калі палажэньне асяродка цяжару найніжэйшае, то раўнавага будзе стойкая. Калі асяродак цяжару пры зьмене палажэньня цела паніжаецца, г. зн., калі палажэньне асяродка найвышэйшае, то раўнавага нястойкая. Калі пры зьмене палажэньня цела асяродак цяжару не зьмяняе сваёй адлежнасьці ад зямлі, г. зн., калі ён астаецца на тэй самай горызонтнай лініі, то раўнавага будзе нязьменная (індыфэрэнтная). Значыць, коратка, асяродак цяжару імкнецца заняць найніжэйшае месца адносна да зямлі.

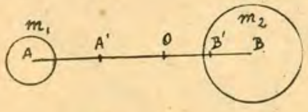
Рыс. 82.

На рыс. 81 і 82 знайдзіце розныя роды раўнавагі.

61. Асяродак масы. Возьмем два матэрыяльныя пункты з роўнымі масамі у нейкай адлежнасьці адзін ад аднаго. Пункт, які знаходзіцца ў сярэдзіне гэтае адлежнасьці, называецца асяродкам гэтых масаў.

Аднародную кулю можам разглядаць, як зложаную з безканечнае лічбы гэтакіх матэрыяльных пунктаў з дужа малымі масамі. Для кожнага такога пункту можам знайсьці іншы пункт, сымэтрычны адносна да цэнтру кулі, і гэтыя два матэрыяльныя пункты будуць мець свой асяродак масы ў цэнтры кулі. Такім парадкам цэнтр кулі будзе адначасна і асяродкам яе масы.

Асяродак масы аднародных целаў, якія маюць вось сымэтрыі, або роўнядзь сымэтрыі, ляжыць на гэтай восі, або роўнядзі. Коратка кажучы, той самы пункт, які мы пазналі вышэй пад назовам асяродка цяжару (§ 57), ёсьць і асяродкам масы. Да ўвядзеньня гэтага новага паняцьця нас прымушаюць дужа важныя прычыны, бо паняцьце асяродка масы шмат шырэй, чым асяродка цяжару.



Рыс. 83.

Разгледзім уласьцівасьці гэтага пункту. Возьмем дзьве аднародныя кулі рознае масы m_1 і m_2 (рыс. 83). Асяродак іх цяжару будзе ў пункце O, адлежнасьць якога ад цэнтраў куляў будзе адваротна пропорцыянальная да масаў. Там-жа будзе ляжаць і асяродак іх масаў. Значыць:

$$AO : OB = m_2 : m_1 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1).$$

Разгледзім цяпер, што станецца з асяродкам масаў, калі на масы дзеюць толькі ўнутраныя сілы гэтае сыстэмы, прыкл., узаемнае прыцяганьне куляў, а няма ніякіх вонкавых сілаў. Пад дзейнасьцю гэтых унутраных сілаў, з якіх адна f_1 дзеець на першую кулю, а другая, роўная першай па велічыні, f_2 дзеець на другую кулю,—кулі будуць зьбліжацца. Знойдзем велічыню дарогі, якую кожная куля пройдзе пры зьбліжаньні за вельмі малую хвіліну часу τ. Абазначым прысьпех куляў w_1 і w_2; тады:

$$f_1 = m_1 w_1 \quad \text{і} \quad f_2 = m_2 w_2.$$

Дзеля таго, што $f_1 = f_2$, пішам: $m_1 w_1 = m_2 w_2$

$$\text{скуль } w_1 : w_2 = m_2 : m_1 \; . \; . \quad . \; . \; . \; . \; . \; (2).$$

Дарогі, якія пройдуць абедзьве кулі за час τ, будуць:

$$AA^1 = \frac{w_1 \tau^2}{2} \quad \text{і} \quad BB^1 = \frac{w_2 \tau^2}{2}$$

Возьмем іх адносіны і прымем пад увагу (2):

$$AA^1 : BB^1 = \frac{w_1 \tau^2}{2} : \frac{w_2 \tau^2}{2} = w_1 : w_2 = m_2 : m_1 \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

Тагды (1) і (3) даюць:

$$\frac{AO}{OB} = \frac{AA^1}{BB^1} = \frac{AO - AA^1}{OB - BB^1} = \frac{A^1O}{OB^1} = \frac{m_2}{m_1} \quad . \; . \; . \; . \; (4).$$

Гэта значыць, што пасьля таго, як абедзьве кулі пад дзейнасьцю ўнутраных сілаў зышлі з сваіх палажэньняў, асяродак іх масы

астаецца ў тым самым пункце, у якім быў раней. Час τ мы выбралі па сваёй волі; значыць, падчас далейшага зьбліжаньня куляў асяродак іх масаў будзе захоўваць сваё палажэньне.

Дапусьцім цяпер, што кулі саўсім ня дзеюць адна на адну, а толькі знаходзяцца пад дзейнасьцю звонку, прыкл. пад дзейнасьцю сілы цяжару, і свабодна падаюць з аднолькавае вышыні. Ясна, што ў гэтым прыпадку асяродак масы будзе падаць такім рухам, якім падаюць кулі, бо адлежнасьць паміж цэнтрамі куляў не зьмяняецца. Разгледзім, што было-б, калі-б у часе паданьня кулі гэтыя былі пад дзейнасьцю ўнутраных сілаў, прыкл. узаемнага прыцяганьня. Ясна, што, падаючы, кулі прыцягаліся бы, як і вышэй, але палажэньне асяродка масаў O аставалася бы тым самым, г. зн. ён заўсёды дзяліў бы адлежнасьць паміж цэнтрамі куляў у адвортных адносінах да масаў. Значыць, пункт гэты рухаўся бы так сама па стоцьнай лініі, як і раней, калі ўнутраных сілаў мы не дапускалі.

Гэтак, характэрнай уласьцівасьцю асяродка масы ёсьць тое, што ўнутраныя сілы, дзеючы ў сыстэме, ня маюць ніякага ўплыву на рух асяродка гэтае сыстэмы. Калі асяродак масы знаходзіцца ў супакоі, ён і астанецца ў супакоі, якія бы ўнутраныя сілы ня дзеялі (прыклад першы); калі пункт рухаецца нейкім рухам, дык руху гэтага ніякія ўнутраныя сілы не зьмяняюць (прыклад другі).

Прыклады. a) Масы гарматы і набою да хвіліны стрэлу маюць нейкі супольны асяродак масаў. Пры стрэле вылятае з гарматы частка масы гэтае сыстэмы, што вызвала-б перасоў асяродка масы ў кірунку руху кулі. І вось гармата дастае такі рух, каб асяродак масы ўсей сыстэмы астаўся на сваім месцы. b) Чалавек, сідзючы на гойдаўцы бяз руху, раптам нахіляецца ўперад. У тую самую хвіліну гойдаўка адхіляецца ўзад. c) Тое самае робяць ногі ў чалавека, які, стоячы спакойна на каньках, раптам нахіліцца ўперад. Тут мы лёгка зразумеем, якую важную ролю ў хадзьбе іграе церце, і што было-б, калі-б ногі нашы бяз церця пасоўваліся па зямлі.

Выабразім сабе павешаную высока на шнуры гранату. Яе асяродак масы знаходзіцца ў супакоі. У нейкую хвіліну граната разрываецца, кавалкі разлятаюцца ў-ва ўсе бакі, але, пакуль яшчэ маюць свабоду рухаў (пакуль, прыкл., ані водзін не даткнуўся зямлі), яны рухаюцца так, што ў кожнай хвіліне асяродак іх масы астаецца ў тым самым месцы, як і перад разрывам.— Калі граната ляціць, асяродак яе масы апісуе нейкую балістычную крывую. У нейкім месцы дарогі граната разрываецца, часткі яе лятуць у розныя бакі, і (пакуль ніводная не дакранулася да зямлі) асяродак масы гранаты апісуе тую самую крывую, акую апісваў-бы, калі-б граната не разарвалася.

Куды-б мы ў думках ні перанесьлі цела, яно заўсёды мае масу, а таму можам казаць і аб асяродку яго масы. Гэтага мы ня можам казаць аб асяродку цяжару. Калі-б мы выабразілі сабе, што існуе толькі адно цела ў сусьвеце, мы не маглі-б гаварыць аб яго асяродку цяжару, бо не істнавала бы сіла цяжару. Паняцьце-ж асяродка масы і для гэтага цела захоўвуе сваё значэньне. Вось, вышэй мы і казалі, што паняцьце асяродка масы абшырней за паняцьце асяродка цяжару.

З вышэйсказанага выводзім, што зьмены руху асяродка масы нейкага цела, ці сыстэмы целаў, могуць мець месца толькі пад уплывам вонкавых сілаў. Часта разгляданьне дзейнасьці такіх сілаў можам сабе упрасьціць, прымаючы, што маса цела сконцэнтравана ў гэтым асяродку масы; пункт гэты прадстаўляе як-бы ўсё цела. Так мы рабілі, разглядаючы паданьне целаў, калі прымалі дзейнасьць аднае сілы (раўнадзейнае) на асяродак масы цела, які ў гэтым прыпадку мы называлі асяродкам цяжару.

Задачы.

16. Маса 85 gr. рухаецца з сталым прысьпехам 18 cm/sec^2. Якая сіла дзее на гэтую масу?

17. Які цяжар мае цела, маса якога 428 gr, калі яно знаходзіцца ў Вільні, гдзе $g = 981,44$ cm/sec^2?

18. Маса 400 gr рухаецца пад дзейнасьцю сілы = 2 мэгадынам. Які прысьпех мае цела?

19. На цела, якое рухаецца з раўнамернай скорасьцю 20 cm/sec, пачынае дзеяць сіла $= 4 \times 10^6$ дын у кірунку процілежным да яго руху. Цераз 5 сэкунд цела затрымалася. Якая маса гэтага цела?

20. Цела масай 120 gr. ляжыць на горызонтнай роўнядзі. На яго дзеець горызонтная сіла = цяжару 2,5 kg ($g = 981$ cm/sec^2), Які будзе прысьпех цела, калі ніякіх церцяў ня прымаць пад увагу?

21. На цела пачынаюць дзеяць дзьве сілы: адна ў усходнім кірунку 60 дын, другая ў заходнім 40 дын. Маса цела 80 gr. У якім мамэнце пасьля пачатку руху цела будзе мець скорасьць 20 cm/sec? Які будзе кірунак скорасьці?

22. На цела масай 5 kg, якое знаходзілася ў супакоі, дзееь у працягу 3 мінут сіла цяжару 0,5 kg ($g = 981$ cm/sec^2) Якую скорасьць будзе мець цела пасьля гэтых 3 мінут?

23. Пад дзейнасьцю сілы, роўнай цяжару 1 kg. (пры $g = 981$ cm/sec^2), цела, якое знаходзілася ў супакоі, прабягае дарогу 10 m. за час = 10 sec. Якая маса цела?

24. Цела 100 gr кінута ў стоцьным кірунку ўверх на экватары ($g = 978$ cm/sec^2) з такой сілай, што яно паднялося на 30 m. Якая вышыня лёту цела была-б у тых самых абставінах, калі-б гэты дасьлед меў месца на полюсе ($g = 983$ cm/sec^2). Праціўленьне паветра ня прымаецца пад увагу.

25. Ладунак 20 kg падымаюць уверх з скорасьцю 1 m/sec ($g = 981$ cm/sec^2). З якой сілай цісьне ладунак на падставу?

26. Якую сілу, раўналежную да пахілае роўнядзі, трэба ўжыць, каб утрымаць цела, масай 20 kg, на гэтай роўнядзі пры нахіле роўнядзі да горызонту $= 30^0$? ($g = 981$ cm/sec^2, і церця ня прымаем пад увагу).

27. Да аднароднае простакутнае бляшкі падвешаны ў 4 кутах аднолькавыя гіркі. Гдзе будзе асяродак цяжару сыстэмы?

28. На аднародным дручку, даўжынёй 1 m, насаджаны 5 куляў, цэнтры якіх знаходзяцца ў адлежнасьці 25 cm адзін ад аднаго. Масы куляў па чарзе роўны 20, 30, 40, 50 і 60 gr. Дручок мае масу 100 gr. Гдзе будзе асяродак масаў?

29. У папярэдняй задачы знайсьці, якая сіла патрэбна, каб зраўнаважыць усю сыстэму ($g = 981$ cm/sec^2).

30. Якая павінна быць дацэнтравая сіла, каб цела масай 50 gr. апісвала раўнамерным кружным рухам кола дыамэтрам 20 cm. за 2 сэкунды?

АДДЗЕЛ III. РАБОТА і ЭНЭРГІЯ.

62. Работа. У штодзенным ужытку работай завём нейкую дзейнасьць, скіраваную да нейкае карыснае мэты. Чалавек робіць работу, жывёла робіць работу, машына робіць работу. Для навукі гэтага яшчэ мала. Трэба даць больш точнае азначэньне работы. З спасьцярогаў на практыцы выводзім, што работа гэта ёсьць перамаганьне праціўленьня на нейкай дарозе. Калі падымаем цяжар, перамагаем сілу цяжару; перасоўваючы па падлозе стол, перамагаем сілу церця; каб кінуць камень, трэба перамагчы яго інэрцыю, і г. д. Перамаганьне таго ці іншага праціўленьня робіцца сілай; пры гэтым сіла заўсёды зьмяняе сваё месца (перасоўваецца). І вось, у мэханіцы кажуць, што сіла робіць работу, калі месца дзейнасьці сілы перасоўваецца ў кірунку гэтае дзейнасьці.

У жыцьці бываюць непаразуменьні, якіх у навуцы трэба пазбыцца. Стоячы з нейкім цяжарам, чалавек фізычна морыцца. Гэта, аднак, ня значыць, што ён працуе. Ён зрабіў за той час, што стаяў, як раз такую самую работу, як і той стол, на якім ляжыць цяжар: запраўды, ён не зрабіў ніякае работы. Ён „замарыўся“,—але гэта не рэзультат працы, а толькі напружаньня мускулаў.

Наадварот, заўсёды, калі месца дзейнасьці сілы перасоўваецца ў кірунку гэтае дзейнасьці, гэтая сіла робіць работу.

63. Мераньне работы. Адзінка работы. Чым вялікшае праціўленьне, якое перамагае сіла, і чым вялікшая дарога сілы, тым вялікшай будзе зробленая ею работа. Інакш кажучы, работа тым больш, чым вялікшая сіла робіць яе і чым вялікша тая дарога, на якой дзеяла сіла ў кірунку яе дзейнасьці. Значыць, работа пропорцыянальна да велічыні сілы і велічыні дарогі сілы. Абазначыўшы f—сілу і l—дарогу яе дзейнасьці, г. зн. што сіла f дзеець на цела на працягу дарогі l, дастанем, што работа u раўняецца:

$$u = kfl \ldots\ldots\ldots (1).$$

гдзе k—нейкі коэфіцыент пропорцыянальнасьці.

Умовімся за адзінку работы лічыць такую работу, якую робіць адзінка сілы на адзінцы дарогі. Тады раўнаваньне (1) можам напісаць гэтак:

$$1 = k.\ 1.\ 1.$$

Скуль дастаём, што пры такім выбары адзінкі працы $k = 1$, і раўнаваньне (1) прыме від:

$$u = fl \ldots\ldots\ldots (2).$$

Яно кажа, што работу мераем множывам сілы на дарогу яе месца дзейнасьці ў кірунку дзейнасьці.

За адзінку сілы мы ўжо прынялі дыну, за адзінку даўжыні—цэнтымэтр; за адзінку-ж работы прымем такую работу, якую робіць 1 дына на дарозе 1 cm. Гэтая адзінка завецца эргам. Таму

$$erg = dyne \times cm.$$

але $dyne = gr.\ cm/sec^2$; гэтак, разьмер эрга

$$[erg] = \left[\frac{gr.\ cm}{sec^2}\right] \times [cm] = \left[\frac{gr.\ cm^2}{sec^2}\right] = \left[\frac{M\ L^2}{T^2}\right] \ldots\ldots (3)$$

Мы ведаем, што дына ёсьць вельмі малая велічыня, дык і работа яе будзе таксама малая; вось, дзеля тэхнічнага ўжытку ўзята адзінка у 10-міліёнаў разоў вялікшая:

$$\text{джуль} = joule = 10^7\ erg \ldots\ldots (4).$$

У тэхніцы ўжываецца яшчэ адна, дужа пашыраная, адзінка работы; гэта—кілёграммэтр. Адзінка гэта прытарнавана да масы (да кілёграма), а не да сілы (дыны), а таму яна не зьяўляецца сталай для ўсіх месцаў зямлі. Запраўды, іншая велічыня работы будзе, калі будзем падымаць 1 kg на 1 metr на экватары, а іншая на полюсах. Аднак, дзеля таго, што няточнасьць, якая вынікае пры ўжываньні гэтае адзінкі, ня значная (для тэхнічных мэтаў), а гэтая адзінка на практыцы дужа выгодная, то kgm ужываецца вельмі шырока.

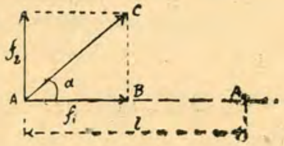
Перавядзем kgm на эргі або джулі. На 1 kg дзеець сіла цяжару 1000 g dyne. Дарога, на якой дзеець гэтая сіла, раўняецца 1 m=100 cm.

$$1\ kgm = 1000\ g\ dyne \times 100\ cm = 10^5\ g\ dyne\ cm = 10^5\ g\ erg.$$

Калі прымем, што гравітацыйны прысьпех $g = 981\ cm/sec^2$, дык:

$$1\ kgm = 98.100.000\ erg = 9{,}81\ joule.$$

Бачым, што джуль раўняецца блізка 0,1 kgm, г. зн. джуль ёсьць работа падняцьця 1 kg на 10 cm вышыні, або 100 gr. на 1 m. вышыні.



Рыс. 84.

Калі кірунак сілы f творыць нейкі кут α з кірункам дарогі месца яе дзейнасьці (рыс. 84), то мы раскладаем сілу f на два кірункі: раўналежны да дарогі цела f_1 і стацьцявы да гэтае самае дарогі f_2. Відавочна, што толькі сіла, раўналежная да дарогі цела f_1, вызывае рух цела, а, значыць, і робіць работу, а сіла f_2 ня мае ўплыву ані на рух, ані на работу.

Работа, выпаўненая сілай f, будзе тады:

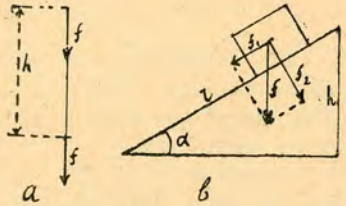
$$u = f_1 l = fl \times \frac{AB}{AC} = fl\ \cos\alpha,$$

$$\text{бо } f_1 = f\ \frac{AB}{AC}, \text{ або } f_1 = f\ \cos\alpha.$$

Калі кірунак сілы зыходзіцца з кірункам руху пункту, то $AB = AC$ і адносіны $AB : AC = 1$; тады $u = fl$. Калі кірунак сілы стацьцявы да кірунку руху пункту, то $AB = O$; тады работа $u = O$. Калі кут α будзе нейкім гострым кутом, меншым за 90^0, то $AB < AC$; тады дроб $AB : AC$ будзе правільны, і тым меншую работу робіць сіла.

З гэтага выглядае, быццам мы можам, ня ўжываючы сілы, перасоўваць цела так, каб не процідзеяць сіле прыцяганьня зямлі, г. зн. у горызонтным кірунку. Але тут зьяўляецца сіла церця. Калі б-жа мы маглі яе саўсім пазбыцца, то запраўды даволі было-б найменшае сілы, каб найцяжэйшыя целы пачалі рухацца і рухаліся бы без далейшае вонкавае работы.

64. Работа сілы цяжару і работа процi яе. Дапусьцім, што мы падымаем вельмі павольным рухам цела ў стоцьным кірунку. Няхай сіла цяжару=f, а вышыня падыманьня=h (фіг. а, рыс. 85). Ня прымаючы пад увагу велічыні сілы, якая йдзе на тое, каб целу даць хоць зусім малую скорасьць, мы скажам, што ўся сіла f ідзе на работу, г. зн. выпаўненая работа будзе fh.



Рыс. 85

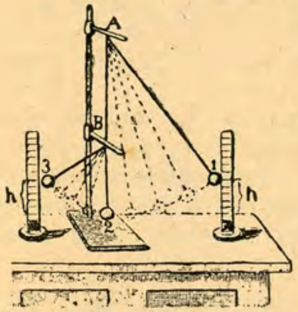
Калі цела падае, пункт прылажэньня сілы цяжару (раўнадзейная цяжару ўсіх частак цела, г. зн. асяродак цяжару ўсяе сыстэмы) паніжаецца. Затым, калі h—вышыня, на якую цела ўпала, а f—сіла цяжару, то работа будзе ізноў fh. У гэтым прыпадку работу выпаўняе сіла цяжару, і рэзультатам яе зьяўляецца прырост скорасьці падаючага цела. Калі гэтую работу абазначым, як дадатную, знакам $+$, то работу падыманьня трэба абазначыць знакам —, як адʼёмную работу сілы цяжару.

Дапусьцім, што цела можа рухацца па пахілай роўнядзі бяз церця. Кут нахіленьня роўнядзі да горызонту $= \alpha$ (фіг. b, рыс. 85). Тагды цела пройдзе дарогу l пад дзейнасьцю сілы $f_1 = f \sin\alpha = f\frac{h}{l}$, значыць, работа будзе:

$$u = f_1 l = fl \sin\alpha = fl\frac{h}{l} = fh.$$

Толькі што мы даведаліся, што гэтую самую работу зробіць сіла f_1, калі цела будзе свабодна падаць ці падымацца на працягу дарогі h. Значыць, як бы цела ні падала, па якой бы дарозе яно ні апускалася, ці падымалася, заўсёды, калі вышыня будзе h, а сіла цяжару f, работа будзе $= fh$, г. зн. тая самая.

Мы ўжо ведаем, што скорасьць цела, падаючага з нейкае вышыні, залежыць толькі ад гэтае вышыні, а не ад дарогі, якую цела праходзіць ($v = \sqrt{2gh}$); гэта і знаходзіцца ў поўным зьвязку з работай, выпаўненай сілай, аб чым будзе далей.



Рыс. 86.

Значыць, велічыня работы, якую робіць сіла, калі цела падае, або тае, якую трэба прылажыць да цела, каб яго падняць, залежыць толькі ад вышыні руху цела, а не ад дарогі, па якой рухаецца цела. Ведама, тут мы ізноў ня прымаем пад увагу сілы церця.

Дасьлед Галілея (рыс. 86) пацьвярджае гэта. Кулька матача, адхіленага на вышыню h, падымецца ў другі бок матаньня на тую самую вышыню, ня гледзячы на тое, што нітка загалёвана. Значыць, форма і даўжыня дарогі ня ўплываюць на велічыню работы кулькі.

65. Энэргія. Каб целу, якое знаходзіцца ў супакоі, даць нейкую скорасьць, трэба зрабіць работу. Газы, вытвараныя з пораху, даюць скорасьць кулі ў стрэльбе, значыць, выпаўняюць работу. Гэтую работу зьмяшчае ў сабе куля, пакуль не аддасьць яе праціўленьням, якія спатыкае на сваёй дарозе. Але вось яна спатыкае дошку і прабівае яе. Яна, значыць, зрабіла нейкую работу, бо перамагла праціўленьне дошкі, і пры гэтым скорасьць яе паменшала. Запас работы ў кулі паменшаў. Калі-б куля не прабіла дошкі, а асталася ў ёй, то запас работы быў бы саўсім выкарыстаны, бо скорасьць кулі была-б тая самая, як і перад стрэлам.

Падняўшы цела на нейкую вышыню, мы зрабілі работу, і гэтая работа як-бы змагазынавана ў целе. Запраўды, калі-б яно падала на

тую самую вышыню, то яно-б вярнула ўсю гэтую работу, даючы целу адпаведную скорасьць. Падаючы цела ўдарае іншае, ломіць яго, гне, вызывае гук, а гэта ўсё праявы зробленае работы.

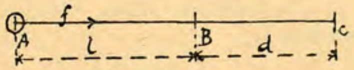
Накручаная пружына мае ў сабе запас работы, якая выяўляецца ў руху стрэлак гадзіньніка.

Гэты запас работы прынята ў навуцы называць энэргіяй. Гэтак, замест казаць: „у рухаючымся целе ёсьць запас работы“ — кажуць карацей: „рухаючаеся цела мае энэргію“.

Энэргія, або запас работы, як кожны запас, можа зьмяншацца, павялічвацца і быць роўнай нулю.

Паняцьце энэргіі адно з найважнейшых у фізыцы, таму будзем да яго часта вяртацца і яго паглыбляць.

66. Мераньне энэргіі. Энэргія кінэтычная і потэнцыяльная. Энэргію мы азначылі, як запас работы; значыць, і мерыць яе будзем работай і яе адзінкамі.



Рыс. 87.

Возьмем у пункце А масу m, на якую дзеець сіла f на дарозе l (рыс. 87). Работа сілы будзе тады:

$$u = fl \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, (1).$$

З другога боку, сілу f мы можам выразіць множывам масы на прысьпех w, які дастае цела:

$$f = mw.$$

Дарога цела l (гл. § 38 раўн. 3), калі пачатная скорасьць $v_0 = 0$ і пачатак руху знаходзіцца ў А, г. зн. $l_0 = 0$, будзе:

$$l = \frac{wt^2}{2}$$

Падстаўляючы гэтыя вялічыні заместа f і l у раўнаваньне (1), дастанем:

$$u = fl = mw\frac{wt^2}{2} = \frac{m}{2}w^2t^2.$$

Алеж мы ведаем, што пры аднолькава прысьпешным руху, які будзе разгляданы намі рух, $wt = v - v_0$, гдзе $v_0 = 0$, а таму $wt = v$. Значыць:

$$u = fl = \frac{mv^2}{2} \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, (2)$$

Гэтак, работа, якую трэба зрабіць, каб целу, маса якога m, даць скорасьць v, раўняецца палове множыва масы на квадрат скорасьці. Гэтую работу магазынуе ў сабе рухаючаеся цела; гэта ёсьць энэргія руху, і яе называюць кінэтычнай энэргіяй. Будзем яе абазначаць літарай К.

Разьмер яе будзе той самы, што і работы.

Прыклад. Маса ў 3 kg. ў нейкай хвіліне мае скорасьць 4 m/sec. Якая будзе кінэтычная энэргія масы?

$$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{3000\,\text{gr.}\,(400\ \text{cm/sec})^2}{2} = \frac{3000\,.\,160000}{2}\,.\,\frac{\text{gr. cm}^2}{\text{sec}^2} =$$

$$= 24\,.\,10^7\ \text{erg} = 24\ \text{joule}.$$

Няхай маса m (рыс. 87) рухаецца далей за пункт B і праходзіць дарогу d аж да пункту C. Тады яна дастане нейкую новую скорасьць V, і для ўсяе, змагазынаванае ў гэтым пункце дарогі, работы, г. зн. для кінэтычнай энэргіі цела ў пункце C, дастанем:

$$K_C = f\,(l + d) = \frac{mV^2}{2}\,.\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ (3)$$

Адняўшы тую кінэтычную энэргію, якую маса m мела ў пункце B:

$$K_C - K_B = f\,(l + d) - fl = fd = \frac{mV^2}{2} - \frac{mv^2}{2}\ .\ .\ .\ (4),$$

дастанем, што работа, зробленая сілай f на дарозе d, мераецца прыростам кінэтычнае энэргіі масы на гэтай самай дарозе. Агулам кажучы, калі кінэтычная энэргія цела дастае прырост, то гэты прырост і дае велічыню работы, коштам якое павялічылась энэргія.

Дапусьцім цяпер, што падымаем масу m па вышыню h у месцы зямлі, гдзе прысьпех гравітацыі = g. Зробленая работа будзе:

$$u = fl.\ \text{Але}\ f = mg,\ \text{а}\ l = h;$$

значыць:

$$u = fl = mgh.$$

Гэтую масу, як ужо ня раз мы адзначалі, трэба падымаць так паволі, каб не даваць ей скорасьці, бо інакш мы бы далі ей кінэтычную энэргію.

Такім парадкам, у масу m, якая знаходзіцца ў супакоі, мы замагазынавалі энэргію mgh, якая кожную хвіліну можа зьмяніцца ў кінэтычную, калі маса пачне падаць. Значыць, мы пазнаём новы від энэргіі; называюць яе потэнцыяльнай, і мы будзем яе абазначаць P.

$$P = mgh\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ (5).$$

Накручаная пружына гадзіньніка мае ў сабе потэнцыяльную энэргію, якая паволі зьмяняецца ў кінэтычную.

Прыклад. Маса 5 kg знаходзіцца на вышыні 2 m над зямлёй у месцы, гдзе g = 981 cm/sec². У кілёграммэтрах яе велічыню дастаём проста:

$$P = 5\ \text{kg}\,.\,2\ \text{m} = 10\ \text{kgm}.$$

У навучных-жа адзінках работы, эргах, яна выразіцца вось як:

$$P = 5.10^3\,\text{gr.}\ 981\,\frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}\,.\,2.10^2\,\text{cm} = 10^6.\ 981\,\frac{\text{gr. cm}^2}{\text{sec}^2} = 981\,.\,10^6\ \text{erg} =$$

$$= 98{,}1.\ \text{joule}.$$

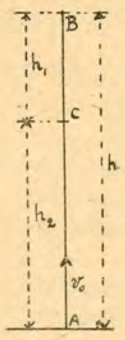
Калі кажам а падыманьні цела, то мы можам вышыню гэтага падыманьня лічыць ад розных пунктаў, прыкл. ад падлогі, стала, роўня мора, зямлі і г. д. Дапусьцім, што мы падымаем цела ад зямлі. Усёжтакі нельга сказаць, што потэнцыяльная энэргія масы на роўні зямлі раўнялася O, бо цела можа ўпасьці, прыкл., у студню, у глыб мора і г. д. Значыць, падымаючы цела над нейкім роўнем, мы павялічваем яго потэнцыяльную энэргію адносна да тае энэргіі, якую яно мела раней, на велічыню работы, выпаўненай пры падыманьні. Надалей будзем так і разумець, што мы можам памерыць толькі прырост потэнцыяльнае энэргіі, бо абсолютнае яе велічыні мы ня ведаем.

Увага аб раўнавазе. У § 60 выясьнена, што, залежна ад палажэньня асяродка цяжару, істнуюць 3 роды раўнавагі: 1) стойкая, калі асяродак цяжару займае найніжэйшае палажэньне, г. зн. калі потэнцыяльная энэргія цела найменшая; 2) нястойкая, калі асяр. цяж. знаходзіцца найвышэй, г. зн. калі потэнцыяльная энэргія найбольшая, і 3) нязьменная, калі асяр. цяж. не зьмяняе свайго палажэньня, г. зн. калі і потэнцыяльная энэргія не зьмяняецца. І вось выводзім, што целы і сыстэмы іх маюць нахіл да магчымага паменшаньня велічыні потэнцыяльнае энэргіі, якая ў іх змагазынавана.

67. Зьмены энэргіі пры стоцьным кіданьні цела. Паняцьце аб захаваньні энэргіі. Кіньма цела масай m стацьма ўверх з скорасьцю v_0 (рыс. 88). Зьмены потэнцыяльнае энэргіі будзем лічыць адносна да роўня месца, з якога распачаўся рух, г. зн. $P_A = O$. У хвіліне кіданьня, калі маса m мае скорасьць v_0, кінэтычная энэргія будзе:

$$K_A = \frac{mv_0^2}{2}\quad \text{і}\quad P_A = O\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ (1)$$

Мы ведаем, што цела падымецца да вышыні $h = \frac{v_0^2}{2g}$; тады ў пункце B скорасьць яго будзе = O, і кінэтычная энэргія так сама будзе = O, а потэнцыяльная будзе mgh, г. зн.:



Рыс. 88.

$$K_B = O;\quad P_B = mgh = mg\,.\,\frac{v_0^2}{2g} = \frac{mv_0^2}{2}\ .\ .\ .\ .\ .\ (2).$$

Дастаём вельмі цікавы рэзультат: уся кінэтычная энэргія цела ў пункце A зьмянілася ў потэнцыяльную ў пункце B, і наадварот. Тут мае месца зьмена аднае формы энэргіі ў другую.

З пункту B цела пачынае падаць і ў нейкай хвіліне пераходзіць праз пункт C, які знаходзіцца ў адлежнасьні h_1 ад B і h_2 ад A. Скорасьць цела ў гэтым пункце пры паданьні цела будзе $\sqrt{2gh_1}$, значыць:

$$K_C = \frac{m(\sqrt{2gh_1})^2}{2} = mgh_1 \dots\dots (3).$$

Потэнцыяльная энэргія масы m на вышыні h_2 будзе:

$$P_C = mgh_2 \dots\dots\dots\dots (4).$$

Сума $K_C + P_C = mgh_1 + mgh_2 = mg\,(h_1 + h_2) = mgh =$

$$= \frac{mv_0^2}{2} \dots\dots\dots\dots (5).$$

Тое самае дастаём, што і для пунктаў A і E.

$$K_A + P_A = K_B + P_B = K_C + P_C = mgh = \frac{mv_0^2}{2}$$

Сума кінэтычнае і потэнцыяльнае энэргіі для кожнага пункту дарогі ёсьць велічыня сталая, роўная тэй рабоце, якую далі масе пры кіданьні. Кінэтычная энэргія меншае, пераходзячы ў потэнцыяльную, пакуль уся K не ператворыцца ў P. Наадварот, пачынаючы падаць у пункце B, цела ператварае сваю потэнцыяльную энэргію ў кінэтычную. Ясна, што пры гэтым мы ня прымалі пад увагу церця паветра.

Зьвернем тут увагу вось на што. Мы маем сыстэму двух целаў: зямлі і таго прадмета, які перад кіданьнем займаў адносна да зямлі нейкае палажэньне. Гэтая сыстэма, згодна з § 66, мела нейкую потэнцыяльную энэргію, якую мы ўмоўна прымаем роўнай O. Затым мы ўлажылі ў гэтую сыстэму нейкую работу, роўную $\frac{mv^2}{2}$. І вось, падчас, калі кінутае цела ляціць уверх і падае ўніз, г. зн. падчас, калі кінэтычная і потэнцыяльная энэргія зьмяняюць свае вялічыні, агульная сума энэргіі сыстэмы не зьмяняецца: яна ані павялічваецца, ані зьмяншаецца. Тут мы сустракаемся з прыкладам гэтак званага закона захаваньня энэргіі, аб чым будзем гаварыць далей.

Заўважым, што кінэтычная энэргія падаючага цела пры яго падзеньні не прападзе, як бы магло здавацца, а зробіць нейкую работу, аб чым будзе ніжэй.

68. Perpetuum mobile. Закон захаваньня энэргіі. Машыны. Спраўнасьць. Чалавек стаўся запраўдным чалавекам тады, калі пачаў карыстацца рознымі прыладамі, каб памагчы сабе ў працы. Прылады ў пачатку былі простыя, пасьля рабіліся ўсё больш зложанымі, і сягоньня чалавецтва мае ў сваіх руках вельмі скомбінаваныя машыны. Незалежна ад вялікшае ці меншае зложанасьці машын, усе яны служаць, агулам кажучы, для выпаўняньня нейкае работы і вымагаюць нейкае вонкавае сілы, каб споўніць яе; іх прыводзіць у рух рука чалавека, або сіла жывёлы, або вада, ці вецер, або дзейнасьць апалу, ці электрычнае энэргіі. Агулам, патрэбен нейкі мотор, бо машына робіць работу толькі коштам якой небудзь вонкавай сілы.

І вось здаўна ўжо рупіла чалавека думка стварыць такую машыну, якая, раз пушчаная ў рух, ня толькі ня спынялася бы сама, але і выпаўняла-бы яшчэ нейкую карысную работу. Над стварэньнем такой машыны працавалі сотні людзёў, і гэтая прылада, ведама, нястворная, дастала назоў „perpetuum mobile“ („заўсёды рухомая“). Разьвіцьцё навукі паказала, што істнаваньне такой машыны немагчыма, бо яна тварыла-бы работу з нічога, што пярэчыць закону захаваньня энэргіі. Дзеля гэтага прыпадку закон гэны можа быць сформуляваны вось як: работа ня можа паўстаць з нічога, і яна ня можа загінуць.

Значыць, машыны не ствараюць работы, яны служаць толькі для пераносу работы з аднаго месца ў другое, ці яе аблягчаюць. Работу робіць заўсёды той ці іншы мотор, аб чым будзе гутарка ніжэй. Цяпер толькі заўважым, што нам важна ня толькі споўніць тую ці іншую работу, але і споўніць яе за той ці іншы час. А, значыць, нам важна ведаць, якую работу спаўняе, ці можа споўніць мотор за адзінку часу. І вось дастаём новую велічыню: адносіны работы да часу. Гэтую велічыню называюць спраўнасьцю.

Прыклад. Работа 800 эргаў споўнена ў працягу 4 сэкунд. Спраўнасьць будзе:

$$\frac{800 \text{ erg}}{4 \text{ sec}} = 200 \frac{\text{erg}}{\text{sec}} = 200 \frac{\text{gr.cm}^2}{\text{sec}^3} \dots\dots\dots (1)$$

Гэта вельмі малая адзінка. Таму ў тэхніцы ўжываюцца: ўат (watt) або кілёўат (KW)

$$\text{watt} = \frac{\text{joule}}{\text{sec}} = 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{sec}} = 10^7 \frac{\text{gr.cm}^2}{\text{sec}^3} ; \text{KW} = 1000 \text{ watt} \ .\ . (2)$$

або адзінка, якая завецца паравым канём (HP) і раўняецца

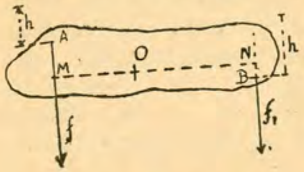
$$\text{HP} = 75 \frac{\text{kgm}}{\text{sec}} = \text{блізка } 736 \text{ watt} \ .\ .\ .\ . (3).$$

Прыклад. Помпа падае за гадзіну 500.000 літраў вады на вышыню 20 мэтраў. Работа помпы будзе $500.000 \times 20 \text{ kgm} = 10^7 \text{kgm}$. Спраўнасьць яе будзе:

$$\frac{10^7 \text{ kgm}}{60.60 \text{ sec}} = 2778 \frac{\text{kgm}}{\text{sec}} = \frac{2778}{75} \text{ HP} = \text{блізка } 37 \text{ HP}.$$

69. Простыя машыны: вагар, пахілая роўнядзь. Разглядаючы найбольш зложаныя мэханізмы, бачым, што яны складаюцца з больш простых, лічба якіх невялікая, і якія так і называюцца простымі машынамі. Усе яны зводзяцца да дзьвюх: **вагара** і **пахілае роўнядзі**.

Вагаром называем нягнуткае цела, якое можа мець рух навокала нейкае нярухомае восі; на яго могуць дзеяць вонкавыя сілы. Вагар найчасьцей мае форму дручка. Няхай (рыс. 89) цела AB будзе вагаром, і яго **вось** O праходзіць цераз яго асяродак цяжару. На вагар у пунктах A і B дзеюць раўналежныя сілы f і f_1. Цераз пункт O правядзём стацьцявую лінію да сілаў. Адлежнасьці сілаў ад пункта O, значыць: MO і NO, называюцца **плячыма** сілаў.



Рыс. 89.

Гэтыя сілы f і f_1 можам скласьці, і тады раўнадзейная іх пройдзе цераз асяродак сілаў. Вось, калі на лініі раўнадзейнае сілы будзе ляжаць вось вагара, то вагар будзе ў раўнавазе. Запраўды, калі

$$f : f_1 = ON : OM = l_1 : l \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

то раўнадзейная сіл f і f_1 праходзіць цераз пункт O, і ясна, што ўся сыстэма будзе ў раўнавазе.

Значыць, **зраўнаважаныя на вагары сілы адваротна пропорцыянальны да сваіх плячоў.**

Перапішам (1) вось як:

$$fl = f_1 l_1 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

г. зн. дзеля раўнавагі вагара трэба, каб множывы сілы на плячо для абедзьвюх сілаў былі роўныя між сабой. Множыва сілы на плячо ёсьць велічыня часта ўжываная ў фізыцы і завецца **момэнтам сілы** адносна да дадзенае восі. Значыць, **для раўнавагі вагара патрэбна роўнасьць момэнтаў абедзьвюх дзеючых на вагар сілаў адносна да нярухомае восі вагара.**

Пабачым, што зробіцца, калі адна з сілаў, прыкл. f, павялічыцца на нейкую вельмі малую велічыню, якую назавем Δf (Δ — прырост, чытай „дэльта“). Відавочна, што тады левая частка раўнаваньня (2) павялічыцца, і раўнадзейная ўжо ня будзе перахадзіць цераз вось O, а на лева ад яе; значыць, увесь вагар пахіліцца ў бок гэтага прыросту. З усяго гэтага мы бачым, што, калі выбраць адпаведныя плечы для вагара, дык мы можам вельмі малой сілай перамагчы вялікую сілу. Яшчэ Архімэд сказаў: „Дайце мне пункт апоры, і я перавярну зямлю!“, маючы як раз на ўвазе прыладу вагар.

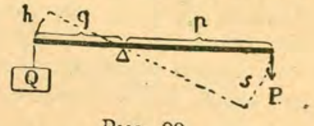
Вернемся яшчэ да рысунку 89. Калі мы падымем сілу f на вышыню h без падмогі вагара, то ўжытая на гэта работа будзе fh. Калі-ж зробім ужытак з вагара і будзем падымаць меншай сілай, то работа, ўжытая на гэта, будзе $f_1 h_1$. Але $h_1 : h = l_1 : l$.

Дзеля гэтага:

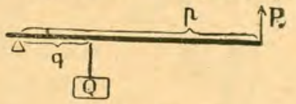
$$f : f_1 = l_1 : l = h_1 : h, \text{ скуль } fh = f_1 h_1 \; . \; . \; . \; . \; . \; (3).$$

Значыць, работа на перамогу і падняцьце сілы f будзе тая самая, але мы яе зробім меншай сілай. Трэба толькі заўважыць, што гэтая меншая сіла павінна прайсьці вялікшую дарогу, бо $h_1 > h$. Значыць: **што мы выігрываем на сіле, тое трацім на дарозе.**

Вельмі часта ў жыцьці даводзіцца карыстацца гэтай прыладай, хоць бы трацячы на дарозе. **Прыклад**: 100 kg.—цяжар, якога не падняць рукамі. Возьмем вагар, падвесім яго да столі так, каб плечы адносіліся між сабой, як 1 : 4; да карацейшага пляча прымацуем наш цяжар, а да другога пляча прыложым сілу нашых мускулаў (25 kg). Вось і маем раўнавагу! Каб падняць цяжар, павялічым трошкі сілу мускулаў (вышэй за 25 kg), і цяжар у 100 kg пойдзе ўверх.



Рыс. 90.

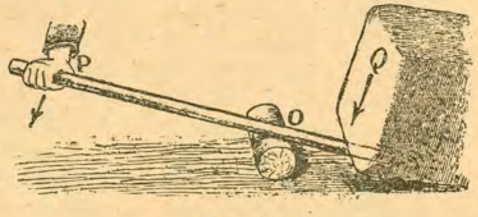


Рыс. 91.

Трэба памятаць, што на практыцы мы павінны перамагаць яшчэ няўхільныя церці, чаго ў нашых разважаньнях мы ня прыймалі пад увагу.

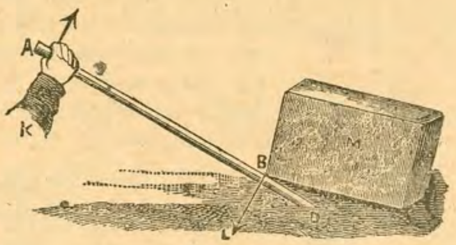
Рыс. 90 прадстаўляе вагар, вось якога знаходзіцца паміж пунктамі прыложэньня сілаў. Яна завецца **двубокім вагаром**.

Рыс. 91 прадстаўляе вагар, вось якога ляжыць вонках адлежнасьці паміж сілаў і завецца **аднабокім вагаром**.



Рыс. 92.

Рыс. 92 і 93 паказваюць найзвычайнейшыя способы ўжываньня вагара двубокага і аднабокага.



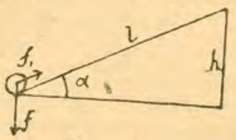
Рыс. 93.

Пяройдзем цяпер да **пахілае роўнядзі** (рыс. 94).

Мы ведаем, што работа падняцьця цела, цяжар якога f, на вышыню h раўняецца fh, незалежна ад таго, па якой дарозе гэта будзе ісьці. Дапусьцім, што, цягнучы цела ўверх вельмі паволі, каб ня вытварыць у ім кінэтычнае энэргіі, мы ўжылі сілу f_1 на дарозе l; значыць, работа $= f_1 l$. Тады, згодна з сказаным,

$$fh = f_1 l \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (4)$$

$$\text{або } f_1 = f\frac{h}{l} = f \sin\alpha \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (5)$$

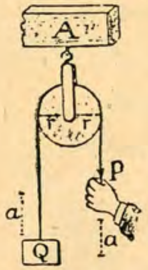


Рыс. 94.

Для перамогі сілы f мы ўжылі меншую сілу f_1; інакш кажучы, роўнядзь пазваляе на эканомію сілы. На рабоце ніякага зыску няма, бо ёсьць пропорцыянальная страта на дарозе.

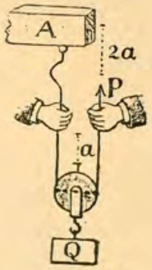
Калі заўважым, што і тут выступае няўхільнае церце, то запраўды работа, выпаўненая роўнядзяй, будзе больш за тую, якая патрэбна для свабоднага падняцьця цела. Але дужа часта бывае так, што варта страціць у рабоце, каб толькі выпаўніць тое, што іначай асталося бы ня зробленым.

70. **Простыя машыны: блёк, поліспаст (многаблёк), калаўрот, вінт, клін.** На рыс. 95 маем нярухомы блёк. У нярухомай абойме на восі ўмацаваны кружок, які мае на абадзе равок. У гэтым раўку ляжыць вяроўка; да аднаго яе канца падвешаны цяжар Q, а да другога прыложана сіла P. Гэта ёсьць тойжа вагар: плячыма яго будуць радыусы блёку r і r. Яны роўны між сабой, затым і вагар завецца раўнаплечным. Ясна, што раўнавага будзе тады, калі P = Q. Невялічкі прырост сілы P дае магчымасьць падымаць цяжар уверх. Хоць тэорэтычна гэты прырост і дужа малы, але ня трэба забывацца, што ў мэханізьме ёсьць церце, значыць прырост гэты павінен быць такое велічыні, каб перамагчы і церце. Калі пачнем падымаць Q, то пункт прылажэньня сілы P апусьціцца; ясна, што, наскольki Q падымаецца (a), на гэтулькі P апусьціцца (a). Значыць, у гэтай прыладзе мы ня выгрываем ані на сіле, ані на дарозе. Яна толькі зьмяняе кірунак дзейнасьці сілы, і гэта часта бывае выгодна выкарыстаць: прыкладам, муляр, заместа падымацца самому з цэгламі на будоўлю, падымае цэглы на блёку.



Рыс. 95.

На рыс. 96 маем такі самы блёк, але рухомы. Цяжар, або тая сіла, якую трэба перамагчы, падвешаны да абоймы блёку, а вяроўка адным канцом замацавана ў нярухомым пункце, прыкл., у столі. Да другога канца прыложана сіла P. Пункт апоры будзе на нярухомай частцы вяроўкі; значыць, плечы будуць: для Q—r, а для P—2r. Гэтак:



Рыс. 96.

$$P : Q = r : 2r = 1 : 2,\ \text{скуль}\ P = {}^1/_2\, Q.$$

Для раўнавагі трэба, каб сіла раўнялася палове цяжару. Калі дамо сіле P нейкі прырост, то цяжар пачне падымацца. Калі цяжар падымем на вышыню a, то сіла пройдзе дарогу 2a.

Значыць, на сіле мы выгрываем, але трацім на дарозе.

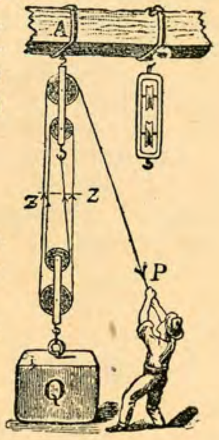
На рыс. 97 маем мэханізм, у якім злучаны рухомыя і нярухомыя блёкі. Ён завецца поліспаст або мнагаблёк. Цяжар вісіць на 4 вяроўках, значыць, напружаньне кожнае з іх будзе ${}^1/_4Q$, а затым і сіла P, раўнаважачая Q, будзе $= {}^1/_4Q$. Калі-б былі 3 рухомыя блёкі, то $P = {}^1/_6Q$ і г. д. Павялічыўшы трохі P, можам

падняць Q. Ясна, што калі канец вяроўкі пройдзе дарогу l, то рухомыя блёкі, а значыць і цяжар, падымуцца на ${}^1/_4 l$.

Трэба заўважыць, што ў гэтых прыладах церце ёсьць велічыня значная, і вышэй паданыя аблічэньні пазваляюць толькі прыблізна азначыць велічыню патрэбнае сілы.

Рыс. 98 дае паняцьце аб калаўроце. Цяжар Q вісіць на вяроўцы, якая накручваецца на вал радыуса r. Сіла P дзеець на кола вялікшага за вал радыусу R. Значыць:

$$Qr = PR,\ \text{або}\ P : Q = r : R\ \text{і}\ P = Q\,\frac{r}{R}$$



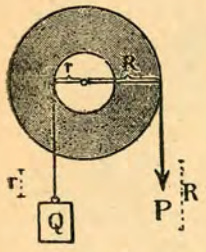
Рыс. 97.

Для зраўнаважаньня цяжару трэба ўзяць сілу ў гэтулькі разоў меншую за цяжар, у сколькі разоў радыус валу менш за радыус кола.

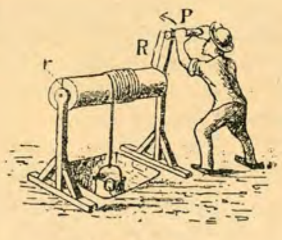
Рыс. 99 прадстаўляе вельмі ўжываны ў вёсках калаўрот для студні.

Пяройдзем да машын, пабудаваных на аснове пахілае роўнядзі.

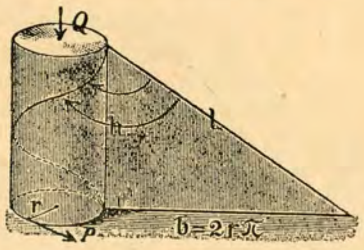
Калі наўём пахілую роўнядзь на цыліндр (рыс. 100), дык катэт l дасьць на цыліндры вінтавую лінію, або сьпіраль. Калі па гэтай лініі зробім адпаведную нарэзку на цыліндры (рыс. 101-a) і даробім яшчэ гайку (рыс. 101—2), дык дастанем прыладу, якая завецца вінтом. Рыс. 102 паказвае, што вінт мае галоўку, або ручку, дзеля таго, каб яго круціць. Вінт пазваляе шмат паменшыць сілу (рыс. 103 — вінтавы прэс).



Рыс. 98.

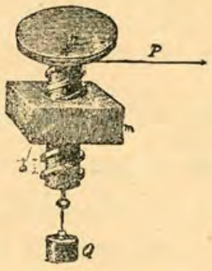


Рыс. 99.

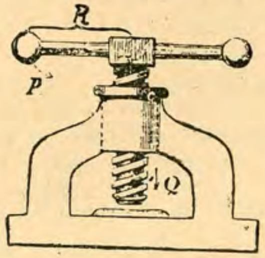


Рыс. 100.

Рыс 101.



Рыс. 102.



Рыс. 103.

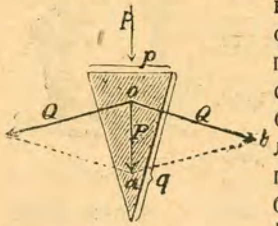
Калі будзем кружыць галоўку вінта ў кірунку P (рыс. 102), дык прыложаная сіла f пройдзе $2\pi R$, гдзе R — радыус галоўкі. За гэты самы час цяжар Q падымецца ўверх на адзін скок вінта (г. зн. адлежнасьць паміж дзьвюма аднолькавымі вінтавымі лініямі на цылiндры $= h$). Значыць, работа сілы f будзе $2\pi Rf$; работа цяжару Q будзе Qh. Гэтыя работы роўныя між сабой:

$$2\pi Rf = Qh;\ \text{згэтуль: } f = Q\,\frac{h}{2\pi R}$$

Звычайна велічыня h вельмі малая, раўнуючы да $2\pi R$; затым f ёсьць толькі маленкая частка сілы Q.

З рыс. 100, ясна, што, чым кут паміж l і горызонтнай лініяй меншы, а, значыць, чым меншы скок вінта, тым вялікшую робім на сіле эканомію.

Другі важны ўжытак пахілае роўнядзі—гэта прылада, якая завецца клінам (рыс. 104). Найбольш знанай яго формай зьяўляецца нож. Гэта—дзьве злучаныя пахілыя роўнядзі. Сіла P раскладаецца на дзьве стацьцявыя да роўнядзей. Ясна, што чым меншы будзе кут α пры гострым рубе кліна, тым вялікшы ціск будзе рабіць тая самая сіла P на пахілыя роўнядзі, але за тое тым павальней будзе клін разсоўваць часьці дзялёнага цела. I тут, значыць, што здабываецца на сіле, тое траціцца на дарозе.



Рыс. 104

71. Ужытак вагара. Вагі. Найважнейшым ужыткам вагара ёсьць прылада, якая ўжываецца для важаньня: вагі. Рыс. 105 дае паняцьце аб вагах аналітычных, якія ўжываюцца пры фізычных і хімічных дасьледах. Асноўнай часткай вагоў ёсьць насіла (рыс. 106). Яно апіраецца рубам прызмы O на цьвёрдую падставу (звычайна з агату). Гэта і будзе восяй вагоў. На дзьвюх іншых прызмах M і N вешаюць шалькі. Насіла робіцца сымэтрычнае адносна да роўнядзі, якая праходзіць цераз вось O ў стацьцявым кірунку да самога насіла. Каб насіла было ў стойкай раўнавазе, трэба, каб асяродак цяжару яго разам з шалькамі быў трохі ніжэй за вось O. Калі вагі не наладаваны, насіла павінна захоўваць горызонтны кірунак, што паказуе стрэлка q (рыс. 105), якая злучана з насілам і пры нахіленьні насіла ходзіць па шкале S. Гастрыі O, M і N (рыс. 106) павінны ляжаць на аднэй простай лініі, і адлежнасьці OM і ON (плечы) павінны быць роўнымі.

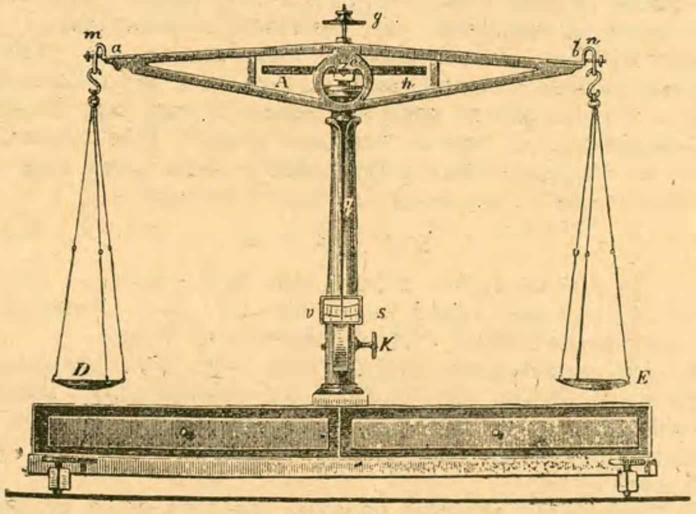
На адну шальку мы кладзём цела, масай M, якое важым; на другую—гіркі масай m. Калі раўнавага ўстаноўлена, а пры гэтым плечы роўныя, дык і сілы таксама будуць роўныя:

$$f_1 = f_2;\ \text{але } f_1 = Mg \text{ і } f_2 = mg;$$

$$\text{значыць: } Mg = mg, \text{ або } M = m \,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\ (1)$$

(g—гэта гравітацыйны прысьпех).

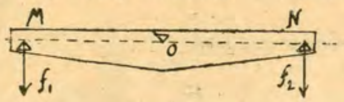
Вагі даюць нам магчымасьць даведацца масу цела. Лёгка бачым, што вагі не даюць ніякага паняцьця а цяжары цела, бо гравітацыйны прысьпех, які множнікам уваходзіць у велічыню цяжару, як раз скарочваецца ў раўнаваньні (1). I запраўды, каліб мы перанесьлі вагі разам з важаным целам і раўнаважнымі яму гіркамі на шальках у нейкае другое месца зямлі, гдзе g будзе ўжо другое, дык раўнавага нашых вагоў усё роўна не нарушылася бы. Такім парадкам, мы не маглі-б дазнацца, ці цяжар нашае масы астаўся той самы, ці не. Значыць: двуплечныя вагі служаць для азначаньня толькі масаў.



Рыс. 105.

Каб вагі былі точнымі, г. зн. каб запраўды маса гірак раўнялася масе важанага цела, трэба:

1) каб плечы насіла OM і ON былі точна роўнымі. Можна ў гэтым пераканацца, палажыўшы цела раз на адну шальку і зважыўшы яго, а пасьля на другую шальку. Калі маса гірак у абодвух прыпадках будзе тая самая, то гэта знак, што плечы роўныя паміж сабой. Аднак, гэта бывае рэдка; затым пры точным важаньні і ўжываецца мэтода падвойнага важаньня, як вышэй апісана. Няхай плечы насіла будуць l_1 і l_2, масы гірак m_1 і m_2, шуканая маса цела x. Тады.



Рыс. 106.

$$xgl_1 = m_2gl_2 \text{ і } xgl_2 = m_1gl_1$$

Скуль, скараціўшы на g і перамножыўшы роўнасьці між сабой, дастаём:

$$x^2l_1l_2 = m_2l_2m_1l_1,\ \text{або } x^2 = m_2m_1 \text{ і } x = \sqrt{m_2m_1}$$

Калі розьніца ў масах гірак m_1 і m_2 невялікая, то можам заместа сярэдняе геомэтрычнае ўзяць сярэднюю арытмэтычную, г. зн. $\frac{m_1+m_2}{2}$. Трэба заўважыць, што аб раўнавазе мы судзім не з таго, што стрэлка стаіць на тэй самай рысцы, на якой стаяла, калі ня было ладунку, але з таго, што яна роўна ў абодва бокі матаецца каля гэтае рыскі.

2) Вагі павінны быць **чуткімі**. Пад чуткасьцю вагоў мы разумеем велічыню адхіленьня насіла пад уплывам дадаткавае гіркі, палажанае на аднэй з шалек. Звычайна чуткасьць вагоў вызначаецца лічбай рысак шкалі S на 1 mg. На гэткі цяжар пры важаньні ў крамах саўсім нё ўважаюць. Як паказвае разважаньне, якога тут ня прыводзім, і як пацьвярджаюць дасьледы, а) вагі тым больш чуткія, чым даўжэй і лягчэй насіла, дзеля чаго насілу даецца форма рашоткі, і яно пры малой масе ня гнецца; б) вагі тым больш чуткія, чым бліжэй да восі O ляжыць асяродак цяжару ўсяе сыстэмы. Дзеля гэтага на вагох ёсьць гайка g (рыс. 105), якая можа быць паднята або зьніжана, чым і рэгулюецца асяродак цяжару.

ЗАДАЧЫ.

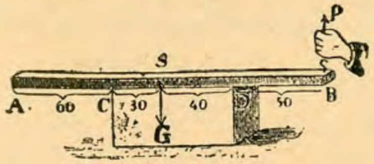
31. На перамаганьне церця пры перасоўваньні прадмета па горызонтнай роўнядзі трэба ўжыць сілу 240 дын. Знайсьці работу, ўжытую на перасоўваньне гэтага прадмета на 2 m?

32. На перамаганьне церця пры руху воза па горызонтнай роўнадзі трэба ўжыць сілу, роўную 0,1 цяжару воза. Якая работа будзе зроблена, калі воз праехаў 2 km, яго маса раўняецца 1 тонне, і $g = 981$ cm/sec²? Якая спраўнасьць, калі воз быў у дарозе 0,75 гадзіны?

33. Якая будзе велічыня работы, патрэбнае на падняцьце павольным рухам масы ў 8 kg на 5,5 m, калі $g = 981$ cm/sec²?

34. На якую вышыню трэба падняць 15 kg, каб пры гэтым выпаўненая работа раўнялася рабоце, патрэбнай на падняцьце 45 kg на вышыню 7 m. у тым самым месцы зямлі і такім самым павольным руху?

35. Дручок (рыс. 107) AB ляжыць на падставе. Даўжыня яго 180 cm, маса 8 kg. Якую сілу трэба ўжыць, каб павярнуць дручок навакола пункту C?



Рыс. 107.

36. Аднародны дручок даўжынёй 12 m. і масай 250 kg. павольным рухам паварачваем уверх так, каб ён заняў стоцьны кірунак, але каб ніжні канец дручка астаўся на месцы. Якая будзе выпаўнена работа, калі $g = 981$ cm/sec²?

37. Вось X-аў прымаем за вось дарогі, я вось Y-аў за вось сілы. Чым выразіцца на рысунку работа, калі сіла будзе сталая, і чым, калі зьменная?

38. Мотор дае рух помпе, якая падае ў мінуту 800 літраў вады на 7 m. вышыні. На перамаганьне ўсіх праціўленьняў ідзе 30% гэтае ўжытковае работы. Якую спраўнасьць мае мотор у HP?

39. Колькі работы трэба на тое, каб маса 5 kg дастала скорасьць 20 cm/sec?

40. Цела масай 2 kg, кінутае ўверх, у нейкай хвіліне знаходзіцца на вышыні 15 m і мае скорасьць 20 m/sec. Якая яго потэнцыяльная і кінетычная энэргія ў гэтай хвіліне, калі $g = 981$ cm/sec²?

41. Маса 50 gr рухаецца з прысьпехам 100 cm/sec². Якую работу рабіць сіла, калі маса праходзіць дарогу 30 cm?

42. Куля масай 3 kg. рухаецца з скорасьцю 10 m/sec, ударае ў земляны вал і ўваходзіць у яго на 2 m глыбока. Якая сярэдняя велічыня сілы, што затрымала кулю?

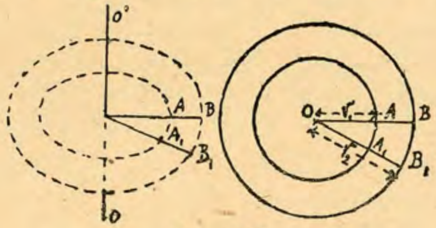
43. Куля масай 8 gr ляціць з скорасьцю 200 m/sec і, прабіўшы дошку, мае скорасьць 50 m/sec. Якая работа пайшла на прабіцьцё дошкі?

44. Ці ў руху матача ёсьць замена энэргіі і калі?

45. Колькі блёкаў рухомых і нярухомых будзе на мнагаблёку, калі сіла раўняецца $^1/_{10}$, $^1/_{12}$ цяжару? Церця пад увагу не бяром.

АДДЗЕЛ IV. КРУЖНЫ РУХ.

72. Кружны рух. Кутняя скорасьць. Калі цела кружыцца навакола восі, дык усе яго пункты прабягаюць дарогі па колам, якіх радыусы раўняюцца адлежнасьцям паасобных пунктаў цела ад восі. На рыс. 108 a і b паказаны на роўнядзі дарог (b) і ў пэрспэктыве (a) дарогі пунктаў A і B, якія знаходзяцца ў адлежнасьці ад восі $r = OA$ і $r_1 = OB$. Мы бачым, што BB′ больш за AA′, хоць яны абедзьве адпавядаюць пavароту цела на той самы кут α. Гэты кут α будзем называць **кутняй дарогай** цела, якое кружыцца, а дарогі AA′ і BB′— лінейнымі дарогамі.



a Рыс. 108. b

Ведаючы кутнюю дарогу цела і адлежнасьць пункту ад восі, можам знайсьці яго лінейную дарогу. Куты будзем мерыць ня ў градусах, а адносінамі дугі да радыуса. Значыць, адзінкай кута будзе такі кут, якога дуга раўняецца радыусу. Гэтая адзінка завецца **радыанам**. Кружная лінейная дарога цела, ведама, выражаецца ў адзінках даўжыні (прыкл. cm.), радыус кола так сама ў адзінках даўжыні (прыкл. cm.); значыць, разьмер радыана будзе:

$$[\text{радыан}] = \left[\frac{\text{дарога}}{\text{радыус}}\right] = \left[\frac{\text{cm}}{\text{cm}}\right] = [1],$$

гэта значыць, што *радыан ёсьць адзінка бязыме́нная.* Лінейную велічыню дарогі пункту дастаём, як множыва кутняе дарогі на радыус кола, па якім пункт рухаецца:

$$AA' = r_1\alpha; \quad BB' = r_2\alpha.$$

Прыкл: $\alpha = 0{,}75$; $r_1 = 10$ cm; $r_2 = 22$ cm; тады:

$$l_1 = AA' = 10 \,.\, 0{,}75 \text{ cm} = 7{,}5 \text{ cm}.$$

$$l_2 = BB' = 22 \,.\, 0{,}75 \text{ cm} = 16{,}5 \text{ cm}.$$

Кружным рухам можа цела кружыцца так, што кутняя дарога астаецца пропорцыянальнай да часу; гэта значыць што за час у 2, 3 і г. д. разоў вялікшы будзе пройдзена дарога ў 2, 3 і г. д. разоў вялікшая. Але можа быць і гэтак, што яна не пропорцыянальна. *Калі кутняя дарога цела пропорцыянальна да часу, дык кружны рух цела называем раўнамерным.* У гэтым прыпадку кутняя скорасьць цела будзе сталай = constans (гл. простылінейны раўнамерны рух). Гэтая кутняя скорасьць мераецца адносінамі кутняе дарогі да часу. Абазначыўшы кутнюю скорасьць літэрай і, можам напісаць:

$$i = \frac{\alpha}{t} \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

г. зн. цела за час t павярнулася на кут α раўнамерным кружным рухам з скорасьцю і.

За адзінку гэтае скорасьці прымаюць адзінку кутняе дарогі ў адзінку часу, г. зн. 1 радыан у 1 сэкунду. Разьмер яе будзе:

$$[i] = \left[\frac{1 \text{ радыан}}{1 \text{ sec}}\right] = \left|\frac{1}{T}\right| \ldots\ldots\ldots (2).$$

Іншы раз даюць кутнюю скорасьць у лічбе абаротаў у адзінку часу. Няхай цела за 1 sec. робіць n абаротаў. Кутняя дарога за адзін абарот будзе 2π, а за n абаротаў будзе $2\pi n$; значыць:

$$i = \frac{2\pi n}{1 \text{ sec}} = 2\pi n \frac{1}{\text{sec.}}$$

Прыкл., цела робіць 10 абаротаў у сэкунду; тады:

$$i = 2\pi \,.\, 10 \frac{1}{\text{sec}} = 2 \,.\, 3{,}14 \,.\, 10 \frac{1}{\text{sec}} = 62{,}8 \frac{1}{\text{sec.}}$$

Ведаючы кутнюю скорасьць, можна лёгка аблічыць лічбу абаротаў цела.

Зямля робіць адзін абарот (2π радыанаў) за адну пару = = 24 . 60 . 60 сэкунд. Кутняя скорасьць яе будзе:

$$i = \frac{2\pi}{24 \,.\, 60 \,.\, 60} \,.\, \frac{1}{\text{sec}} = \text{каля } 0{,}000073 \frac{1}{\text{sec}}$$

або славамі: „семдзесят тры міліённых радыана ў сэкунду“.

Лёгка аблічыць лінейную скорасьць кожнага пункту цела ў кружным руху. Дугу AA′ пункт A праходзіць у t сэкунд; значыць:

$$v_A = \frac{AA'}{t}. \quad \text{Алеж } AA' = \alpha r_1;$$

$$\text{значыць:} \quad v_A = \frac{\alpha}{t} r_1 = i r_1 \ldots\ldots\ldots (3)$$

Інакш кажучы: *лінейная скорасьць пункту цела ў кружным раўнамерным руху дастанецца, як множыва кутняе скорасьці на адлежнасьць пункту ад восі кружэньня.*

Аблічым лінейную скорасьць кружнага руху зямлі ў Вільні. Географічная шырыня Вільні $\varphi = 54^0 41'$; значыць, r для Вільні будзе $= R \cos\varphi$ (гдзе R радыус зямлі = 6367 km), або:

$$r = 6367 \,.\, 10^5 \,.\, 0{,}57793 \text{ cm} = \text{каля } 3680 \,.\, 10^5 \text{ cm}.$$

і значыца:

$$v = ir = 0{,}000073 \frac{1}{\text{sec}} \,.\; 3680 \,.\, 10^5 \text{ cm} = 26864 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} = \text{каля } 269 \frac{\text{m}}{\text{sec.}}$$

73. Кружны нераўнамерны рух. Кутні прысьпех. Калі кутняя дарога не пропорцыянальна да часу, дык кружны рух нераўнамерны. Тады дзеля практычных мэтаў ужываецца *сярэдняя кутняя скорасьць* (гл. § 31). *Запраўдную кутнюю скорасьць* зьменнага кружнага руху мы можам азначыць таксама, як запраўдную лінейную скорасьць просталінейнага руху (гл. § 31). Бяром нейкі зусім кароткі працяг часу, у якім знаходзіцца дадзеная хвіліна, і знаходзім для яго сярэднюю кутнюю скорасьць. Пры зьмяншаньні гэтага часу даставаная сярэдняя скорасьць будзе ўсё менш розьніцца ад шуканае запраўднае. Рубеж, да якога імкнецца гэтая сярэдняя скорасьць пры зьмяншаньні часу, і будзе шуканай запраўднай скорасьцю ў гэтай хвіліне.

Калі кутняя скорасьць павялічваецца з часам, то рух будзе *прысьпешны*; калі памяншаецца, дык рух будзе *вальнеючы*.

Калі зьмены кутняе скорасьці пропорцыянальны да часу, дык кружны рух называецца аднолькава зьменным: або аднолькава прысьпешным, або аднолькава вальнеючым. Калі такой пропорцыянальнасьці няма, дык рух завецца *неаднолькава зьменным*. Як і пры пастунным руху, мы можам і тут, пры кружным руху, ўвясьці паняцьце *прысьпеху*, які будзем называць *кутнім*, каб адрозьніваць ад ведамага нам ужо *лінейнага* прысьпеху (§ 33 і 34).

Калі кутняя скорасьць у нейкай хвіліне была i_0, а за t адзінак часу яна зьмянілася ў i, то прырост скорасьці быў $i - i_0$. Калі рух аднолькава зьменны, то гэты прырост пропорцыянальны да часу. І вось, *адносіны прыросту скорасьці да часу ёсьць мера кут-*

няга прысьпеху аднолькава зьменнага кружнага руху. Гэты прысьпех абазначым літарай j:

$$j = \frac{i - i_0}{t} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

Прыкл.:

$$i_0 = 5 \frac{1}{\text{sec}}; \quad i = 8 \frac{1}{\text{sec}}; \quad t = 6 \text{ sec}.$$

$$j = \left(8 \frac{1}{\text{sec}} - 5 \frac{1}{\text{sec}}\right) : 6 \text{ sec} = 0{,}5 \frac{1}{\text{sec}^2}$$

Значыць, кутні прысьпех мае разьмер $\frac{1}{\text{sec}^2}$, або $\left[\frac{1}{T^2}\right]$.

Ясна, што пры неаднолькава зьменным руху прысьпех ня ёсьць велічыня сталая, а зьменная.

Знойдзем, як выражаецца лінейны прысьпех w дадзенага пункту, калі ведамы кутні прысьпех j. Пачатная лінейная скорасьць $v_0 = i_0 r$; цераз t часу яна будзе $v = ir$; значыць, лінейны прысьпех w будзе:

$$w = \frac{v - v_0}{t} = \frac{ir - i_0 r}{t} = \frac{i - i_0}{t} \, r = jr \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

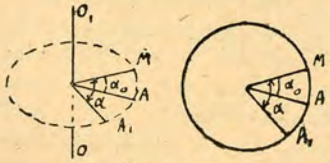
г. зн.: лінейны прысьпех кружнага аднолькава зьменнага руху выражаецца множывам кутняга прысьпеху на радыус дадзенага пункту. І вось:

$l = ar$ лінейная дарога пункту = кутняй дарозе кружнага руху × на радыус пункту.

$v = ir$ лінейная скорасьць пункту = кутняй скорасьці кружнага руху × на радыус пункту.

$w = jr$ лінейны прысьпех = кутняму прысьпеху кружнага руху × на радыус пункту.

74. Раўнаваньні кружнага руху. Як мы ўжо бачылі, дзеля пазнаньня кружнага руху ўжываюцца тыя самыя мэтоды, якія былі ўжыты для паступнага руху, толькі з невялікімі зьменамі ў тым, што лінейная дарога, лінейная скорасьць, лінейны прысьпех замяняюцца кутняй дарогай, кутняй скорасьцю, кутнім прысьпехам. Прымаючы гэта пад увагу, лёгка напісаць раўнаваньні кружнага руху. Для гэтага выбіраем на кружачымся целе (рыс. 109) такую роўнядзь, каб яна праходзіла цераз вось O′O і цераз пункт A, які ёсьць пунктам пачатку руху. Другая роўнядзь OO′M ёсьць сталая роўнядзь, ад якой мы будзем лічыць усякі рух. Няхай пры пачатку руху гэтыя роўнядзі твораць паміж сабой кут α_0, які прадстаўляе пачатную кутнюю адлежнасьць кружачагася пункту ад сталае роўнядзі OO′M. Цераз t адзінак часу кут паміж гэтай роўнядзяй і роўнядзяй рухаючагася пункту O′OA₁ будзе α. Калі рух ёсьць раўнамерны, то



Рыс. 109.

$$i = \frac{\alpha - \alpha_0}{t}, \text{ скуль } \alpha = \alpha_0 + it \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1).$$

Гэта раўнаваньне зусім адпавядае раўнаваньню раўнамернага руху $l = l_0 + vt$, толькі з тымі зьменамі, аб якіх мы казалі вышэй.

Можам гэтак лёгка напісаць раўнаваньні для кружнага аднолькава зьменнага руху, біручы раўнаваньні паступнага аднолькава зьменнага руху : $v = v_0 + wt$ і $l = l_0 + v_0 t + \frac{wt^2}{2}$ і замяняючы ў іх v на i, l на α і w на j; тады дастанем для кутняй скорасьці аднолькава зьменнага руху:

$$i = i_0 + jt \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

і для кутняе дарогі аднолькава зьменнага руху:

$$\alpha = \alpha_0 + i_0 t + \frac{jt^2}{2} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

Тут мы дасталі тое самае, што і ў паступным руху: раўнаваньне дарогі руху першае ступені ёсьць раўнаваньне раўнамернага руху, раўнаваньне 2-гое ступені—раўнаваньне аднолькава зьменнага руху, а кожнае раўнаваньне ступені вялікшай, як 2-я, ёсьць раўнаваньне руху неаднолькава зьменнага.

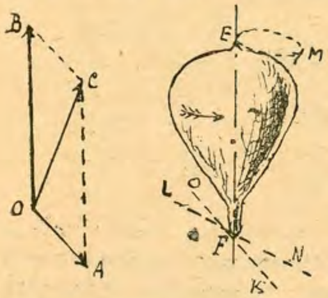
75. Кутняя скорасьць, як вэктар. Лінейная скорасьць можа быць прадстаўлена вэктарам, што дае магчымасьць рабіць з скорасьцю матэматычныя дзеяньня.

Дужа важна былоб, каліб і кутнюю скорасьць можна было прадставіць вэктарам. Яна мае велічыню, якую можна выразіць адрэзкам простае лініі. Усё пытаньне толькі ў тым, які даваць кірунак гэтаму адрэзку? Гдзе тут паняцьце кірунку? Для кружнага руху такой характэрнай лініяй зьяўляецца вось кружэньня. Запраўды, у целе можам правесьці многа ліній, але толькі адна лінія будзе восяй дадзенага кружнага руху. Кружны рух навакол гэтае восі можа адбывацца ў два бакі. І вось, прымаючы ўсё гэта пад увагу, умовімся прадстаўляць скорасьць кружнага руху адрэзкам простае лініі, скіраванае па восі кружэньня так, каб, гледзячы на рух у кірунку вэктара, мы бачылі кружэньне па стрэлцы гадзіньніка (рыс. 110).

Рыс. 110.

76. **Прэцэсыйны рух**. Прадстаўленьне скарасьцей кружнага руху вэктарамі вельмі карысна, калі комбінуюцца некалькі кружных рухаў. Геомэтрычнае складаньне вэктароў дае адразу раўнадзейны кружны рух. Як прыклад, разгледзім рух прэцэсыйны.

Дзіцячая цацка, ваўчок, пушчаная ў кружны рух, захоўвае палажэньне сваёй восі. Пры гэтым руху ён як-быццам працівіцца сіле прыцяганьня зямлі. Аднак, у меру таго, як яго кутняя скарасьць памяншаецца, верхні канец яго восі пачынае, адхіліўшыся ад свайго пачатнага кірунку, кружыцца паволі, апісваючы ўсё вялікшае кола, і ў канцы ваўчок падае. Гэтае зьявішча кружнага руху восі і завецца прэцэсыйным рухам. Ен аб‘ясьняецца вось як. На цела ў руху, дзее сіла зямнога прыцяганьня, якая імкнецца паваліць ваўчок на бок, г. зн. надае яму ў дадзеным хвіліне новы кружны рух навакола восі OK. (рыс. 111). Ваўчок, значыцца, будзе мець 2 кружныя рухі: навакола восі EF, які прадставім вэктарам BO, і навокала восі OK, які прадставім вэктарам OA. Складаючы гэтыя 2 вэктары (геомэтрычна), дастаём „момэнтальную“ новую вось кружэньня OC. „Момэнтальную“ кажам, бо ў чародны момэнт гэтая вось яшчэ зьменіцца ад даданьня новага кружнага руху ў кірунку LN. Такім чынам, пункт E будзе апісваць кола EM, а сама вось ваўчка EF апіша конус.

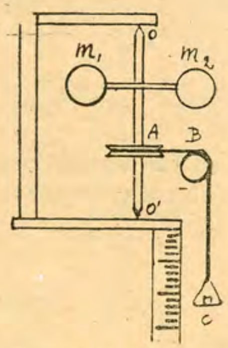


Рыс. 111.

Рух, падобны да апісанага, мае зямля. Яе кружны рух навакола восі складаецца з рухам, выкліканым дзейнасьцю сонца (прыцяганьне) на зямлю. Форма зямлі, якая ня ёсьць правільная куля, робіць тое, што прыцяганьне сонца імкнецца пакіраваць зямную вось так, каб яна стала стацьцёва да экліптыкі. Вось, гэтыя два рухі і складаюцца так, што вось зямлі не астаецца раўналежнай сама да сябе, а апісуе конус, якога вяршок знаходзіцца ў цэнтры зямлі. Прадаўжэньне восі апісуе паміж зоркамі кола ў працягу 26.000 гадоў. Гэты рух восі зямлі робіць тое, што вясеньняе зраўнаваньне дня з ночаю што год прыходзіцца раней на 3″,5 па гадзіньніку; з гэтае прычыны і дадзена гэтаму зьявішчу назоў прэцэсыя, што ў лацінскай мове абазначае „апярэджаньне“, — а самы рух названы прэцэсыйным рухам.

77. **Момэнт інэрцыі.** У паступным прасталінейным руху мы разглядаем масы, як вялічыні, ад якіх безпасярэдна залежаць лічбова вялічыні інэрцыі; яны зьяўляюцца якбы мераю інэрцыі. Кінэтычная энэргія, якая патрэбна дзеля вывядзеньня масы з стану супакою, або агулам дзеля перамогі інэрцыі, выражаецца паловай множыва масы на квадрат скарасьці. Калі два целы дастаюць аднолькавыя скарасьці, то кінэтычная энэргія іх (г. зн. патрачаная работа) пропорцыянальна да іх масаў.

Інакш справа стаіць, калі будзем разглядаць кружны рух. На восі OO′ (рыс. 112) кружыцца дручок, па якім можна перасоўваць дзьве масы $m_1=m_2$. Вось прыводзім у кружны рух шалькай S з гіркамі. Лінейка з рыскамі пазваляе дагледзіць, сколькі адзінак дарогі прайшла шалька S за час, які паказвае сэкундамер або мэтроном. Паставіўшы масы блізка да восі, даём шальцы падаць. Яна прыводзіць масы ў нейкі кружны рух. Заўважым, па шальцы S, якая была скарасьць руху. Цяпер ставім масы на ўдвая вялікшай адлежнасьці ад восі, чым раней. Пускаючы ізноў мэханізм у рух, спраўдзім, што скарасьць паданьня шалькі будзе ў чатыры разы меншая. Каб яна сталася тэй-самай, трэба, каб на шальку было паложана ў 4 разы больш гірак, чымся раней. Мы і дастаём, што пры кружным руху тая-ж самая маса можа вымагаць іншага накладу работы ў залежнасьці ад яе палажэньня адносна да восі кружэньня. У разгледжаным дасьледзе інэрцыя сыстэмы ў другім прыпадку была вялікшая. І вось, мы ўвядзём тэрмін момэнт інэрцыі для лічбавага аблічэньня інэрцыі пры кружным руху — таксама, як мы ўвялі паняцьце масы для лічбавага аблічэньня інэрцыі пры паступным руху.



Рыс. 112.

Разгледзім вось якое разважаньне.

Кожнае цела можам у думцы пабіць на асобныя часткі і глядзець на цела, як на суму гэтых частак. Няхай узятае намі цела рухаецца паступным рухам. Усе яго часткі маюць той самы рух, а, значыць, і тую самую, адну для ўсіх скарасць. Няхай масы паасобных частак будуць m_1, m_2, m_3 . . . а скарасьць, супольная для ўсіх, v. Тады кінэтычная энэргія кожнае масы будзе:

$$\frac{m_1v^2}{2},\ \frac{m_2v^2}{2},\ \frac{m_3v^2}{2}\ \text{і г. д.}\ .\ .\ .\ .\ .$$

а поўная энэргія сыстэмы будзе:

$$K_p = \frac{m_1v^2}{2} + \frac{m_2v^2}{2} + \frac{m_3v^2}{2} + \ldots\ldots = \frac{(m_1+m_2+m_3+\ldots)v^2}{2} = \frac{Mv^2}{2} \ldots\ldots (1)$$

гдзе $M = m_1 + m_2 + m_3 + \ldots\ldots = \Sigma m$ (грэцкая літэра Σ ужываецца для азначэньня сумы цэлага раду складаных), а M ёсьць маса цела.

Калі гэтае самае цела пусьцім у кружны рух, то кожная з частак масы будзе мець сваю асобную лінейную скарасьць, якую аблічым па формуле: $v = ri$, гдзе r — адлежнасьць гэтае часткі ад восі кружэньня. Лінейныя скорасьці будуць: $v_1 = r_1 i$; $v_2 = r_2 i$; $v_3 = r_3 i$ і г. д., і іх кінэтычная энэргія будзе:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 r_1^2 i^2}{2};\quad \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_2 r_2^2 i^2}{2};\quad \frac{m_3 v_3^2}{2} = \frac{m_3 r_3^2 i^2}{2} \text{ і г. д.}$$

а кінэтычная энэргія ўсяго цела будзе:

$$K_k = \frac{m_1 r_1^2 i^2}{2} + \frac{m_2 r_2^2 i^2}{2} + \frac{m_3 r_3^2 i^2}{2} + \ldots = $$

$$= \frac{(m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots) i^2}{2} \ldots\ldots (2)$$

Абазначым суму множываў кожнае масы на квадрат адлежнасьці ад восі цераз I, г. зн.:

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots = \Sigma mr^2 \ldots (3)$$

$$\text{тады: } K_k = \frac{Ii^2}{2} \ldots\ldots (4).$$

Прыглядаючыся да раўнаваньняў (1) і (4)

$$K_p = \frac{Mv^2}{2} \quad \text{і} \quad K_k = \frac{Ii^2}{2}$$

бачым, што кінэтычная энэргія мае падобныя формулы для абодвух родаў руху. Розьніца толькі ў тым, што v — лінейная скорасьць заменена цераз i — кутнюю скорасьць, і ў зьвязку з гэтым заместа масы ўведзена новая велічыня I, якую мы і назвалі момэнтам інэрцыі. Велічыня гэтая для кружнага руху ёсьць як-бы мераю інэрцыі сыстэмы.

Значыць, момэнт інэрцыі цела адносна да дадзенай восі кружнага руху ёсьць сума множываў масаў пасобных частак цела на квадраты адлежнасьцяў гэтых частак ад восі кружэньня.

Калі, не зьмяняючы велічыні масаў, з якіх складаецца дадзенае цела, зьменім толькі адлежнасьці іх ад восі кружэньня, дык зьменім і момэнт інэрцыі,—пры чым вялікшым адлежнасьцям адпавядае і вялікшы момэнт.

Момэнт інэрцыі можа быць знойдзены або аблічэньнем, або дасьледам. Аднак, аб гэтым ня будзем тут гаварыць.

78. Момэнт сілы. У § 69 мы ўжо пазналі значэньне тэрміну момэнт сілы. Гэта ёсьць множыва сілы на плячо яе, г. зн. на адлежнасьць яе ад нейкага пункту. Пры кружным руху за такі пункт мы бяром вось кружэньня.

Цяпер трэба нам даведацца, чаму раўняецца велічыня момэнта сілы, выражаная ў адзінках кружнага руху. Возьмем нейкае цела ў

стане супакою (рыс. 113), якое можа круціцца навакола восі O, што пераходзе цераз асяродак цяжару цела. Да гэтага цела ў пункце A прыложым сілу f; плячо яе будзе r. Ад дзейнасьці сілы f цела дастала аднолькава прысьпешны рух і пройдзе за час t кутнюю дарогу α. Работа сілы за гэты час будзе

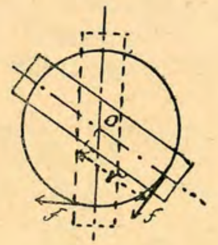
$$f.\, r.\, \alpha \ldots\ldots\ldots (1).$$

Уся гэтая работа зьменіцца ў кінэтычную энэргію цела. Назавём скорасьць цела ў канцы t адзінкі часу цераз i, а ў хвіліне $t_0 = 0$ яна была $i_0 = 0$. Значыць, кінэтычная энэргія будзе:

$$\frac{Ii^2}{2} \ldots\ldots\ldots (2)$$

Вялічыні (1) і (2) будуць роўны між сабой (ведама, для упрашчэньня адкідаем церце); значыць

$$f.\, r.\, \alpha = I\frac{i^2}{2} \ldots\ldots\ldots (3)$$



Рыс. 113.

Алеж мы ведаем, што $i = jt$, гдзе j—кутні прысьпех, і α—кутняя дарога аднолькава прысьпешнага руху, роўная $j\frac{t^2}{2}$; значыць, падстаўляючы іх у (3), дастанем:

$$frj\,\frac{t^2}{2} = \frac{Ij^2 t^2}{2}, \text{ або } fr = Ij \ldots\ldots (4)$$

Множыва fr ёсьць момэнт сілы адносна да дадзенае восі; калі абазначым яго цераз $F = fr$, то

$$F = Ij \ldots\ldots\ldots (5)$$

Гэтае раўнаваньне вельмі важнае, бо яно паказвае, якая патрэбна дзейнасьць, каб надаць целу нейкі азначаны кутні прысьпех пры дадзеным яго момэнце інэрцыі. Прыраўнуем гэтую формулу да асноўнага раўнаваньня сілы:

$$f = mw \ldots\ldots\ldots (6)$$

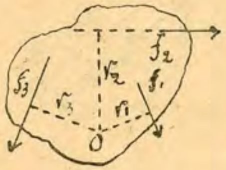
Гэтае раўнаваньне кажа: каб даць масе m лінейны прысьпех w, патрэбна сіла f, роўная множыву mw. Раўнаваньне (5) кажа, што, каб целу, якое мае момэнт інэрцыі I, даць кутні прысьпех j, патрэбен момэнт сілы F, роўны множыву Ij. Формулы (5) і (6) падобны: w і j— лінейны і кутні прысьпехі, m і I—маса і момэнт інэрцыі, ды абодва выражаюць лічбова інэртнасьць целаў. Урэшце, f і F—сіла пры паступным і момэнт сілы пры кружным руху. Раўнуючы гэтыя вялічыні паміж сабой, можам сказаць:

у руху наступным:		*у руху кружным:*
w—лінейны прысьпех	адпавядае:	j—кутні прысьпех
m—маса	„	I—момэнт інэрцыі
f—сіла	„	F—момэнт сілы

Момэнт сілы ёсьць множыва двух множнікаў; значыць, тую самую велічыню момэнта дастанем пры розных сілах, абы толькі былі ўзяты адпаведныя плечы. Значыць, у кружным руху дастаецца той самы рэзультат, абы толькі момэнты сіл былі аднолькавыя.

З таго, што было сказана ў § 75 аб кутняй скорасьці, выводзім, што і момэнт сіл можам выразіць вэктарам, прымаючы яго кірунак па восі кружэньня і такі кірунак, каб, углядаючыся ў гэтым кірунку, мы бачылі, што сіла будзе круціць цела згодна з стрэлкамі гадзіньніка.

Паступаючы, як з вэктарамі, мы можам момэнты сіл складаць альгэбрычна. Прыкл. (рыс. 114), маем тры сілы: f_1, f_2, f_3, якія імкнуцца павярнуць цела навакола восі O, стацьцявое да рысунку. На гэтай восі адкладаем у абабраным маштабе вэктары, пропорцыянальныя да множываў $F_1 = f_1 r_1$; $F_2 = f_2 r_2$ і $F_3 = f_3 r_3$. Два з іх будуць мець кірунак ад нашага вока, калі будзем глядзець на рысунак, а F_3 будзе мець кірунак да нашага вока. Першыя два складаюцца арытмэтычна, а трэці адымаецца; гэтак маем: $F_1 + F_2 - F_3$.



Рыс. 114.

Калі гэтыя момэнты выразім цераз момэнт інэрцыі I і прысьпех, то $F_1 = Ij_1$; $F_2 = Ij_2$; $F_3 = Ij_3$, і тады:

$$F_1 + F_2 - F_3 = Ij_1 + Ij_2 - Ij_3 = I\,(j_1 + j_2 - j_3) \;.\;.\;.\; (1).$$

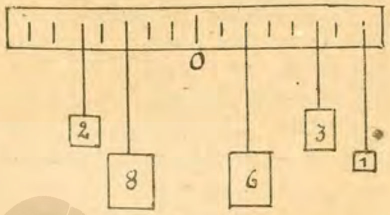
што мы маглі бы напісаць проста, бо і кутні прысьпех можам выразіць вэктарам, калі кутнюю скорасьць выражаем вэктарам; гэтак, можам усе кутнія прысьпехі складаць альгэбрычна.

Ясна, што правіла складаньня момэнтаў сіл абыймае якую-хоч лічбу момэнтаў. У адзінокім прыпадку сума гэтая можа быць роўна нулю:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \;.\;.\;.\;.\;.\; F_4 = O \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; (2).$$

і тады, значыць, цела ня мае кружнага руху, а сілы раўнаважацца.

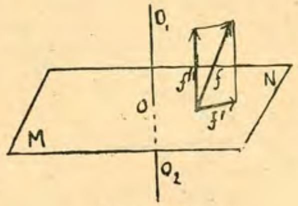
Прыкл., на вагар, вось якога знаходзіцца ў O, дзеюць сілы, вялічыні якіх адпаведна абазначаны лічбамі (рыс. 115). Плечы іх таксама відаць на рысунку. Сума іх момэнтаў адносна да восі O будзе: $1 \times 7 + 3 \times 5 + 6 \times 2 - 8 \times 3 - 2 \times 5 = 0$. Вагар у раўнавазе.



Рыс. 115.

Увага. Выводзячы раўнаваньне $F = Ij$, мы прынялі, што сіла ляжыць на роўнядзі, стацьцявой да восі. Каліб у тым ці іншым прыпадку было інакш, то сілу f (рыс. 116) раскладаем на дзьве сілы: f′ на роўнядзі, стацьцявой да восі, і f″—у кірунку восі. Ясна, што f″ ня будзе мець ніякага ўплыву на кружны рух цела.

79. Пара сілаў. Дзейнасьць сілы на цьвёрдае цела, якое можа кружыцца навакола нейкае восі, залежыць ад адлежнасьці гэтае сілы ад восі. Калі маем некалькі восяў, навакола якіх пачародна будзем круціць цела, то момэнты сілы будуць пры тэй самай сіле тым вялікшыя, чым далей ад кірунку сілы ляжыць кожная вось. Каліб вось ляжала на лініі кірунку сілы, то момэнт яе будзе 0.



Рыс. 116.

У § 53 мы сустрэліся з прыпадкам дзейнасьці на цьвёрдае цела дзьвюх раўналежных сілаў, роўных паміж сабой, але скіраваных у процілежныя бакі; гэта так званая пара сілаў. Гэтых сілаў нельга замяніць аднэй раўнадзейнай сілай, і яны вызываюць не паступны, а кружны рух цела.

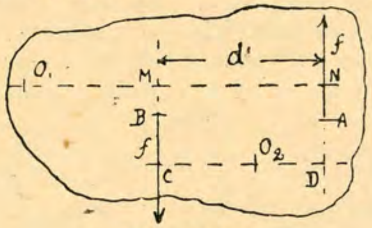
Карыстаючыся паняцьцем момэнту сілаў, можам выкрыць цікавыя асаблівасьці пары сілаў. Возьмем пару сілаў f у адлежнасьці d адна ад аднэй. Момэнты сілаў адносна да восі O_1 (рыс. 117) будуць:

$$F = f \times O_1N - f \times O_1M = f\,(O_1N - O_1M) = fd \;.\;.\;.\;.\;.\; (1).$$

Адносна да восі O_2 момэнты сілаў будуць:

$$F = f \times O_2C + fO_2D = f\,(O_2C + O_2D) = fd \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; (2).$$

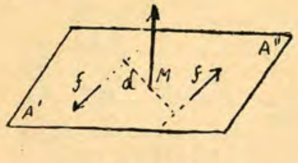
Якую бы вось мы ні ўзялі, для кожнай дастанем тую самую велічыню момэнту пары сілаў: $F = fd$, і момэнт пары сілаў раўняецца множыву велічыні аднае сілы на плячо пары сілаў. Плячом пары сілаў называецца адлежнасьць паміж кірункамі гэтых сілаў. З гэтага вынікае, што можам пераносіць сілы, якія складаюць пару сілаў, з тым толькі засьцеражэньнем, што роўнядзь, у якой дзеюць сілы, астаецца раўналежнай да пачатнае роўнядзі дзейнасьці пары сілаў.



Рыс. 117.

Другая асаблівасьць пары сілаў выражаецца ў тым, што, раз момэнт пары складаецца з двух множнікаў: сілы і пляча, дык мы можам бяз зьмены дзейнасьці пары сілаў зьмяняць вялічыні гэтых множнікаў, але толькі так, каб множыва асталася тое-ж самае. Прыкл., можам сілу павялічыць удвая, паменшыўшы адначасна таксама ўдвая плячо. Ведама, гэтая новая пара сілаў павінна дзеяць у роўнядзі, раўналежнай да роўнядзі першае пары.

Калі маем некалькі пар сілаў, якія дзеюць у аднэй роўнядзі, дык раўнадзейную ім пару знаходзім, складаючы альгэбрычна іх момэнты. У адзіночным прыпадку можам дастаць раўнадзейны момэнт = 0; тады пары раўнаважацца. Значыць, зраўнаважыць пару сілаў можа толькі іншая пара, момэнт якое па велічыні роўны момэнту дадзенае пары, але мае знак —; гэта значыць. што сілы новае пары скіраваны ў процілежны бок і вызываюць кружэньне ў процілежным кірунку.

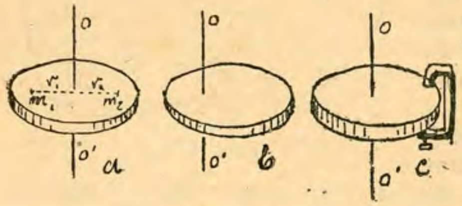


Рыс. 118.

Момэнт пары, як і момэнт усякае іншае сілы можам прадставіць вэктарам, кірунак якога будзе стацьцявы да роўнядзі дзейнасьці пары, а даўжыня пропорцыянальная да велічыні пары. Ясна, што стрэлка на вэктары павінна быць пастаўлена так, каб таму, хто глядзіць на пару сілаў, яны здаваліся скіраванымі па руху стрэлак гадзіньніка (рыс. 118). Вэктары пары сілаў можам складаць: альгэбрычна і геомэтрычна.

80. Свабодныя і несвабодныя восі кружэньня. Сталыя і зьменныя восі. У § 50 мы даведаліся, што кружны рух можа адбывацца толькі пад дзейнасьцю дацэнтравае сілы. Гэтая сіла дзеець на рухаючаеся цела, як ціск вяроўкі на камень, або як сіла сусьветнага прыцяганьня, калі справа йдзе аб рухах плянэтаў і г. д. Згодна з III законам Ньютона, гэтая сіла вызывае процідзейную сілу, адцэнтравую, якая імкнецца скрануць з месца той пункт (ці цела), навакола якога кружыцца першае цела. Камень цягне руку праз тую самую вяроўку, на якой ён кружыцца; плянэты імкнуцца зьмяніць і зьмяняюць рух сонца, месяц зьмяняе рух зямлі і г. д.

Калі цяпер возьмем нейкае кружачаеся цела, то на кожную яго часьціну будзе дзеяць дацэнтравая сіла, і гэтая часьціна будзе кружыцца; але з свайго боку яна з роўнай сілай будзе дзеяць на вось кружэньня. Значыць, на вось кружэньня будуць дзёяць адцэнтравыя сілы ўсіх часьцін цела. Калі гэтыя сілы будуць раўнаважыцца, г. зн. на вось ня будзе дзеяць ніякая адцэнтравая сіла, то такую вось мы назавем свабоднай. Адцэнтравыя сілы будуць раўнаважыцца, калі для кожнае часьціны цела, якая вызывае адцэнтравую сілу, будзе ў целе другая, якую мы назвалі сымэтрычнай і якая дасьць адцэнтравую сілу, што зраўнаважыць першую. Гэта будзе ў тым прыпадку, калі вось кружэньня будзе перахадзіць цераз вось сымэтрыі цела. Прыкладам (рыс. 119) круг (a) кружыцца на свабоднай восі, бо для кожнае часьціны m_1 аднароднага круга ёсьць сымэтрычная часьціна m_2.

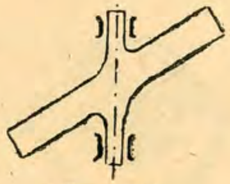


Рыс. 119

Калі-б мы той самы круг пачалі круціць навакол восі, якая не пераходзіць цераз цэнтр круга (b), то вось будзе атрымліваць ціск у той бок, гдзе больш масы сконцэнтравана, і ясна, што гэты

ціск будзе перадавацца ўтулкам, у якіх умацаваны канцы восі. Такая вось завецца несвабоднай, бо, калі-б ня ўтулкі, вось не асталася-бы ў сваім палажэньні. Калі да круга (на рыс. 119 a) прыдамо нейкую масу, то цэнтрыфуга і ўвесь стол пачне дрыжаць. Каб ухіліць гэтае зьявішча, даволі прыдаць такую самую масу ў сымэтрычным месцы на крузе, з процілежнага боку. Дзеля гэтае прычыны ўва ўсіх прыладах і машынах стараюцца зрабіць так, каб масы кружыліся на свабодных восях.

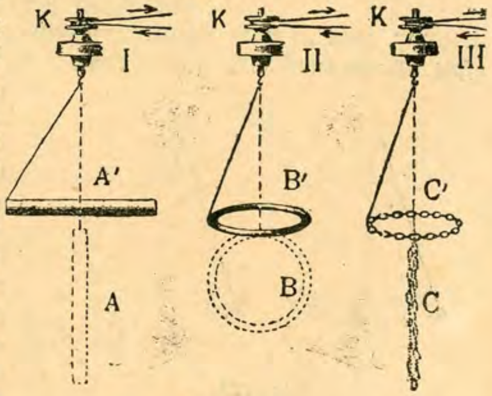
Для сымэтрычных аднародных целаў свабоднай восяй будзе толькі такая, якая пераходзіць цераз асяродак масы. Але не заўсёды вось гэтая будзе свабоднай. Для гэтага трэба, каб усе дзеючыя на яе сілы раўнаважыліся. Ці вось на рыс. 120 будзе свабодная?



Рыс. 120.

Пусьцім у кружны рух пры падмозе цэнтрыфугі цыліндр, павешаны на шнурку (рыс. 121). Спачатку цыліндр будзе кружыцца навакола сваёй восі, але, калі скорасьць будзе павялічвацца, дык цыліндр шпарка падымецца і займе горызонтнае палажэньне, шнурок жа будзе апісваць конус. Калі заместа цыліндра павесім персьцень, то ён пры кружным руху займе такое палажэньне, што вось кружэньня будзе пераходзіць цераз цэнтр кола. Калі павесім ланцужок, то ён перш расьцягнецца ў персьцень, а затым падымецца і будзе кружыцца, як персьцень.

Гэтае зьявішча будзе для нас зразумелым, калі прыпомнім, што на кожную часьціну цела дзее сіла інэрцыі, якая імкнецца аддаліць яе ад восі кружэньня. З гэтага вынікае, што, як пацьвярджаюць і дасьледы, пры кружным руху цела імкнецца заняць такое палажэньне, каб яго момэнт інэрцыі быў пры гэтым найвялікшы. Восі: цыліндра ў палажэньні A, персьценя ў палажэньні B, ланцужка ў палажэньні C—назавем нясталымі, а восі гэтых цел у палажэньнях A′, B′ і C′—сталымі, бо адносна да іх кружны рух найменш паддаецца зьменам ад вонкавых уплываў, і інэрцыя цела, якое знаходзіцца ў руху, выяўляецца найвыразьней.



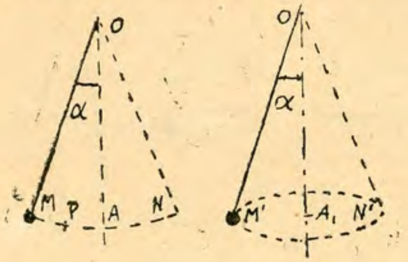
Рыс. 121.

Ваўчок, дзіцячая цацка, аснованы на сталасьці кружнага руху навакола свабоднае і сталае восі. Больш точную, але ў прынцыпе тую самую прыладу прадстаўляе гіростат (рыс. 122). На восі, якая ўмацавана ў такой абойме, каб магла свабодна зьмяняць сваё палажэньне, насаджаны ваўчок з вялікім момэнтам інэрцыі. У якім бы палажэньні вось ні была пастаўлена, яна захоўвае сваё палажэньне З гэтае ўласьцівасьці скарыстаўся Фуко (Foucault), каб даць яшчэ адзін довад кружнага руху зямлі. Гіростат захоўвае сваё палажэньне ў прасторы, а ўсе прадметы рухаюцца разам з зямлёй, дык цераз нейкі час руху гіростата палажэньне яго восі адносна да іншых прадметаў у пакоі зьменіцца.

Рыс. 122.

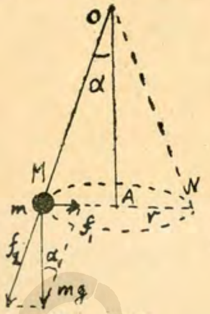
81. Просты матач. Мы ўжо чулі аб аднэй уласьцівасьці матача: гэта *ізохронізм*. Пастараемся яе паглыбіць і выясьніць.

Возьмем кульку, павешаную на тонкай нітцы (рыс. 123). Гэта і будзе ў найпрасьцейшай форме матач. Адхілім яго на невялікі кут ад стоцьнага палажэньня і пусьцім свабодна: ён будзе рабіць матаньні, маючыя аднолькавы *час матаньня*. Калі гэтай кульцы пры яе найвялікшым адхіленьні ад пункту раўнавагі дамо ўдар у стацьцявым да роўнядзі матаньня кірунку, дык кулька пачне апісваць эліпсы навакола лініі раўнавагі. Пры адпаведнай сіле ўдару замест эліпсу кулька будзе апісваць кола.



Рыс. 123.

Пэрыодам матаньня называецца час, які праходзіць паміж двума чароднымі аднолькавымі палажэньнямі матача (у тым самым пункце яго матаньня). Для эліптычнага матаньня гэта будзе час, за які матач пройдзе адзін раз усю сваю дарогу, для плоскага матаньня— час, за які матач пройдзе дарогу PAN, далей **N**APM і урэшце MP. Дасьледы паказалі, што *пэрыод матаньня* для дадзенага матача ў дадзеным месцы на зямлі будзе заўсёды той самы, незалежна ад таго, ці будзе ён матацца ў стоцьнай роўнядзі, ці па эліпсе, ці па коле, абы толькі кут адхіленьня α быў невялікі. *Часам матаньня* завецца палова пэрыоду матаньня, г. зн. час, за які матач з палажэньня M прыдзе ў N. *Амплітудай матаньня* завецца кут паміж найвялікшымі адхіленьнямі матача $= 2\alpha$.



Рыс. 124.

Знойдзем цяпер велічыню пэрыода матаньня T для прыпадку, калі матаньне адбываецца па коле (рыс. 124).

На кульку M масай m дзее сіла прыцяганьня зямлі mg. Разложым яе на дзьве сілы: f і f_2. З іх f_2, дзее ў кірунку ніткі; значыць, яна толькі расьцягавае

нітку. Дапусьцім, што нітка не паддаецца расьцягаваньню, дык і гэтая сіла ня ўплывае на рух кулькі. Другая сіла, f_1, ляжыць у роўнядзі матаньня і прадстаўляе тую дацэнтравую сілу, якая вызывае кружны рух матача. Яе мы можам абазначыць цераз mg:

$$f_1 = f_n = mg \cdot \frac{AM}{AO} = mg \operatorname{tang}\alpha \ldots\ldots (1).$$

З другога боку, кулька M мае аднолькавую скорасьць за час свайго матаньня; абазначым яе цераз v. З гэтай скорасьцю кулька робіць за час T кола радыуса r, значыць:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Прысьпех гэтага кружнага руху, w_n, згодна з § 46, будзе:

$$w_n = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \ldots\ldots\ldots (3)$$

і дацэнтравая сіла, якая яго вызывае, будзе:

$$f_n = mw_n = \frac{m4\pi^2 r}{T^2} \ldots\ldots\ldots (4).$$

Выразім r цераз l з трыкутніка OAM:

$$r = l\frac{MA}{OM} = l \sin\alpha, \ldots\ldots\ldots (5)$$

тады:

$$f_n = \frac{m4\pi^2 l}{T^2} \cdot \frac{AM}{MO} = \frac{m4\pi^2 l}{T^2} \cdot \sin\alpha \ldots\ldots\ldots (6)$$

Раўнаваньні (1) і (6) даюць велічыню тэй самай сілы; значыць, можам напісаць:

$$mg \cdot \frac{AM}{AO} = \frac{m4\pi^2 l}{T^2} \cdot \frac{AM}{MO} \ldots\ldots\ldots (7)$$

або

$$mg \operatorname{tang}\alpha = \frac{m4\pi^2 l}{T^2} \sin\alpha \ldots\ldots\ldots (8).$$

Калі кут α малы, не вялікшы за 3^0, то можам прыняць, што AO = MO, або што $\operatorname{tang}\alpha = \sin\alpha$. Скарочваючы роўныя множнікі ў раўнаваньнях (7) і (8), дастанем:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \ldots\ldots\ldots\ldots (9).$$

Скуль:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 l}{g}, \text{ або } T = \sqrt{\frac{4\pi^2 l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \; . \; . \; . \; . \; (10).$$

Раўнаваньне (10) паказвае, што пэрыод мятаньня залежыць толькі ад даўжыні матача і ад прысьпеху сілы цяжару. Для часу матаньня дасталі:

$$t = \frac{T}{2} = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (11).$$

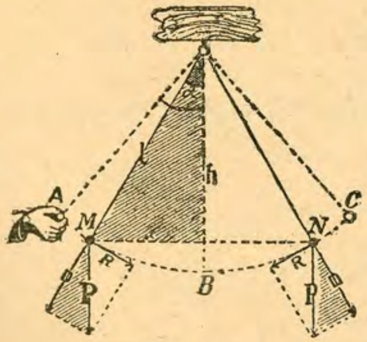
Гэтыя формулы (10) і (11) выведзены для матаньня па коле; але вышэй мы сказалі, што пры малых кутах α пэрыод матаньня будзе аднолькавы для таго самага матача незалежна ад дарогі, па якой адбываецца матаньне.

З гэтых раўнаваньняў робім вось якія вывады:

а) У дадзеным месцы на зямлі, гдзе g ёсьць велічыня сталая, пэрыод матаньня пропорцыянальны да квадратнага караня даўжыні матача, г. зн.: матач, у 4, 9... разоў даўжэйшы, будзе мець пэрыод матаньняў у 2, 3... разы вялікшы.

b) Да раўнаваньняў не ўваходзіць велічыня m, бо пэрыод матаньня не залежыць ад масы матача.

c) Калі памераем даўжыню матача l і знойдзем для яго пэрыод матаньня T, дык, карыстаючыся раўнаваньнем (9), можам аблічыць прысьпех зямнога прыцяганьня для дадзенага месца, g. Дзеля таго матач прадстаўляе асноўную прыладу для мераньня g.



Рыс. 125.

Разгледзім яшчэ, які рух мае матач, што матаецца ў аднэй роўнядзі (рыс. 125). Ясна, што гэта рух не раўнамерны, але ці ён аднолькава зьменны, ці не? Калі-б маса, якую мы вешаем на нітцы, падала свабодна, то яна рухалася бы з прысьпехам g. Нітка-ж не дае ей упасьці і прымае на сябе частку гэнае сілы. Разложым прысьпех g на два кірункі: уздоўж ніткі і стацьцёва да кірунку ніткі (г. зн. сутычна да дарогі матача). Мы бачым, што $R = w_1$ зьмяншаецца пропорцыянальна (пры малым куце α) да гэтага кута, г. зн.

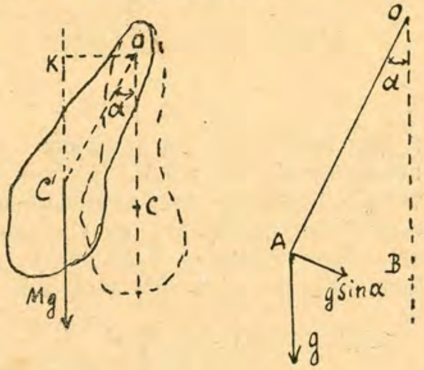
$$w_1 = g\alpha \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (12).$$

Значыць, рух матача не аднолькава зьменны; прысьпех жа пропорцыянальны да адхіленьня ад пункту раўнавагі і скіраваны заўсёды да гэтага пункту.

Мы зрабілі некаторыя агранічэньні, калі выводзілі гэтыя раўнаваньні. Мы прынялі, што пры малых кутах α даўжыня матача OM і лінія OA, якая прадстаўляе адлежнасць восі матаньня ад роўнядзі матаньня, так мала розьняцца паміж сабой, што іх можна лічыць роўнымі. Трыгонометрычна гэта самае мы выразілі так, што $\mathrm{tang}\,\alpha = \sin\alpha$. Пры гэтых умовах мы дасталі, што кут α ня ўходзіць у раўнаваньне для пэрыоду матаньня, г. зн., што пэрыод матаньня не залежыць ад велічыні кута α, і гэтая ўласьцівасьць матача завецца ізохронізмам.

Далей, мы прынялі, што нітка не расьцягаваецца. Ведама, такой ніткі мы ня можам мець. Мы ня прынялі таго, што куля мае нейкія разьмеры, а таму кожны пункт гэтага цела мае іншы прысьпех, і ўрэшце мы ня прымалі пад увагу масы ніткі. Значыць, выведзеныя формулы адпавядаюць ідэальнаму матачу, (ён завецца таксама простым або матэматычным), які складаецца з матэрыяльнага пункту, павешанага на нерасьцяжнай нітцы, з масай роўнай нулю.

82. Зложаны матач. У жыцьці мы заусёды спатыкаем матач зложаны, або фізычны (рыс. 126). Гэта ёсьць цьвёрдае цела, павешанае на горызонтнай восі O, навакола якое яно можа матацца. Цэнтр цяжару матача ляжыць ніжэй за вось матаньня. Гэты матач мы можам сабе прадставіць, як зложаны з нязьлічонае лічбы простых матачоў, і затым ён завецца зложаным.



Рыс. 126.

Дабяром такі просты матач, які бы меў той самы пэрыод матаньняў, як і дадзены зложаны. Даўжыню гэтага простага матача называем зрэдукаванай даўжынёй дадзенага матача. Дык можам і для фізычнага матача ўжыць формулу

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

але пад l трэба разумець зрэдукаваную яго даўжыню.

Адхілім дадзеныя просты і зложаны матачы (рыс. 126) на аднолькавыя невялікія куты α і пусьцім іх матацца. Просты матач мае зрэдукаваную даўжыню зложанага. Яны будуць матацца згодна, г. зн. у кожную хвіліну кутні прысьпех у аднаго матача будзе аднолькавы з гэткім-жа прысьпехам другога матача. Лінейны прысьпех па сутычнай, які мае маса m простага матача, адхіленая на кут α, раўняецца $g \sin\alpha$, а кутні прысьпех яго будзе ў гэтай хвіліне:

$$j = \frac{g \sin\alpha}{l} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1).$$

З другога боку, сіла, якая дзее на зложаны матач, ёсьць сіла цяжару масы яго M, г. зн. Mg. Момэнт яе адносна да восі O будзе:

$$Mg \times OK = Mg \times OC \times \sin\alpha = Mga \sin\alpha \ . \ . \ . \ (2)$$

гдзе a = адлежнасьць асяродка цяжару матача C ад восі матаньня O.

Згодна з § 78, маем:

$$F = Ij,$$

куды і падставім знойдзеныя вялічыні з раўнаваньняў (1) і (2):

$$Mga \sin\alpha = I\frac{g \sin\alpha}{l} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (3).$$

Пасьля скарочаньня, дастанем:

$$Ma = \frac{I}{l} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (4).$$

Скуль

$$l = \frac{I}{Ma} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (5)$$

г. зн.: зрэдукаваную даўжыню зложанага матача можам знайсьці аблічэньнем, як дзель, дастаную ад дзяленьня момэнту інэрцыі матача адносна да восі матаньня на множыва масы матача і адлежнасьці асяродка цяжару ад восі матаньня.

Падстаўляючы ў формулу для пэрыоду матаньня простага матача велічыню l з (5), дастанем:

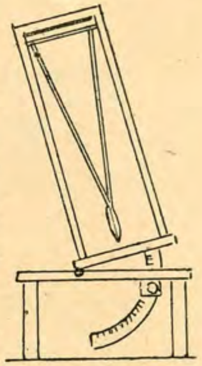
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{Mga}} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (6).$$

З гэтага раўнаваньня мы бачым, што пэрыод матаньня фізычнага матача (— запраўды, кожны матач ёсьць зложаны матач) залежыць ад масы M, якая ўваходзіць, так сказаць, яўна ў назоўнік, а ўкрыта ў I ў лічніку. Скараціць дроб пад каранём на яе велічыню нельга, бо сувязь паміж I і M вельмі скомплікавана, і таму T залежыць ад масы M.

Каб дастаць больш агульную формулу, абазначым Mga літарай D і назавём гэтую велічыню *кіруючым момэнтам матача*. Тады:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{D}} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (7).$$

Гэтае апошняе раўнаваньне ёсьць агульнае раўнаваньне матача, незалежна ад таго, якая сіла выклікае матаньне. Калі прымацуем на дроце стрэлку, а дрот замацуем у верхнім канцы, каб ня круціўся, і адхілім стрэлку, то яна, пад уплывам упругасьці дроту, будзе матацца навакола восі дроту. Калі магнэтную іглу адхілім ад яе палажэньня раўнавагі, яна будзе матацца пад дзейнасьцю сілы магнэтнага напружаньня поля. Для ўсіх гэтых і падобных прыпадкаў матаньня можа быць ужыта формула (7).



Рыс. 127.

Рыс. 127 прадстаўляе фізычны матач, які мае абойму, што можа адхіляцца ад стоці ў роўнядзі, стяцьцявой да роўнядзі матаньня. Калі, пусьціўшы матача у рух, мы пачнем нахіляць абойму, то пабачым, што час матаньняў усё павялічваецца. І запраўды, у раўнаваньне для пэрыоду матаньняў уваходзіць у лічніку g — прысьпех, які вызывае матаньне. Пры адхіленьні абоймы на матач будзе дзеяць толькі частка g, якая будзе тым менш, чым больш будзе адхіленьне кірунку матаньня ад стоці.

83. Ужытак матача. Матач служыць для мераньня гравітацыйнага прысьпеху g. Карыстаючыся формулай:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{Mag}},$$

з дасьледаў знаходзім велічыню T, мераем, або аблічаем вялічыні I, M і a і тады аблічаем g. Гэта *безадносны спосаб*. Тое самае можам дастаць, карыстаючыся формулай:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Тут трэба з дасьледаў знайсьці T і памерыць зрэдукаваную велічыню l. Гэты апошні памер робіцца пры падмозе *абарачальнага матача*. Вышэйшая мэханіка вучыць, што ў кожным матачу існуе такі пункт, што, калі ў ім павесім матач, дык той будзе матацца гэтак сама, як матаўся на сваёй першай восі. Гэты пункт знаходзіцца на такой адлежнасьці ад восі матаньня, як зрэдукаваны матач. Значыць, каб знайсьці зрэдукаваную даўжыню фізычнага матача, трэба збудаваць абарачальны матач (рыс. 128). Бяром дручок, на ім на заданай адлежнасьці адну ад аднае стаўляем прызмы, якія будуць служыць восямі матаньня. На дручку могуць перастаўляцца ад рукі або вінтом два дыскі. Перастаўляючы адзін і другі дыск, шукаем для іх такіх пунктаў на дручку, каб матач, павешаны і проста, і адваротна, даваў аднолькавыя матаньні. Даўжыня l — ведамая адлежнасьць паміж рубамі прызмаў на матачы, T можам дастаць з дасьледаў; значыць, знаходзім і g для дадзенага месца зямлі.

Рыс. 128.

Калі для нейкага аднаго месца g ўжо ведама, дык можам знайсьці адносным спосабам g_1 для ўсякага іншага. Мы маем:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{і} \quad T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_1}}$$

Возьмем адносіны:

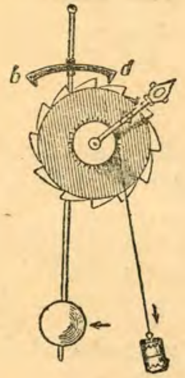
$$T : T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} : 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_1}} = \sqrt{\frac{g_1}{g}}$$

Скуль:

$$\frac{g_1}{g} = \frac{T^2}{T_1^2} \text{ і } g_1 = g\frac{T^2}{T_1^2}$$

Для гэтых дасьледаў трэба, значыцца, узяць толькі той самы матач (каб l скарацілася), але даўжыня l пры аблічэньнях нас зусім ня цікавіць. Ведама, і іншыя варункі дасьледаў павінны быць усе аднолькавыя.

Другі дужа важны ўжытак з матача—гэта ў гадзіньніках (рыс. 129). Аснова гэтага вось якая: свабодна падаючая гіра паварачавае вось. Рух восі зьдзержываецца матачом. Сам матач дастае ад зубатага кола ўдары, якія выклікаюць яго матаньне. Тое самае і ў кішанёвых гадзіньніках, гдзе заместа сілы падаючае гіркі дае энэргію пружына, якую трэба ад часу да часу накручаваць. Матач зроблены ў форме зраўнаважанага кола, да якога адным канцом прымацавана маленькая пружынка, другі канец якое замацаваны да сталага пункту. Пры матаньні кола пружынка раскручаваецца і закручаваецца ды гэтым вызывае матаньне.



Рыс. 129.

Матач ужываецца ў прыладзе, якая дае яшчэ адзін довад кружнага руху зямлі навакола сваёй восі (рыс. 130). Матач павешаны на рамцы, якую можам круціць на цэнтрыфузе. Калі матач пусьцім матацца і пачнем круціць рамку, дык роўнядзь матаньня матача астанецца бяз ніякае зьмены. Гэта і зразумела, бо вось матаньня ёсьць тая вось, адносна да якое момэнт інэрцыі матача будзе найвялікшым, а таму матач і захоўвае яе кірунак.— Калі на полюсе павесім матач, то пункт, у якім ён павешаны, будзе за пару рабіць поўны круг, але пры гэтым роўнядзь матаньня матача ня зьменіцца. Гледзячы на гэта, будзе здавацца, што як раз матач зьмяняе кірунак сваіх матаньняў. Цераз 24 гадзіны матач „прыйдзе“ ў тое самае месца матаньняў. Для іншых географічных шырыняў адхіл роўнядзі матаньняў будзе, ведама, іншы, залежна ад шырыні. Для экватора адхіленьне гэтае раўняецца 0.

Рыс. 130.

Гэтую асаблівасьць матача Фуко (Foucault) выкарыстаў у 1851 годзе, каб даць яшчэ адзін довад кружнага руху зямлі навакола сваёй восі. Ён павесіў у Пантэоне, ў Парыжы, матач 60 m даўжыні і на ім паказаў, што матач за 1 гадзіну адхіліўся на 12^0, што можа быць вытлумачана толькі кружным рухам зямлі.

ЗАДАЧЫ.

46. Кола дыамэтрам 2 m, насаджанае на вось, кружыцца раўнамерным рухам, робячы 100 абаротаў за мінуту. Знайсьці кутнюю скорасьць гэтага руху і лінейную скорасьць пунктаў кола, якія ляжаць на абадзе.

47. Кола кружыцца раўнамерным рухам з кутняй скорасьцю $10\frac{1}{sec}$. Знайсьці лічбу абаротаў кола ў мінуту.

48. Кутні прысьпех кола раўняецца $0{,}4\frac{1}{sec^2}$. Сколькі абаротаў дабаўляецца за адну сэкунду да скорасьці ў канцы папярэдняе сэкунды?

49. Напісаць раўнаваньні руху і нарысаваць іх дыаграмы для задач 46, 47 і 48.

50. Цела прымацавана да абаду, які кружыцца раўнамерным рухам навакола ґорызонтнае восі. Кола мае радыус 1 m. Кола робіць 4 абароты за сэкунду. У хвіліне, калі скорасьць цела скіравана ў точна стоцьным кірунку ўверх, цела адрываецца ад кола. На якую вышыню падымецца цела, калі ў дадзеным месцы $g = 980{,}5 \ cm/sec^2$?

51. Безканечны пояс ахапляе два колы, якія кружацца. Адно мае радыус удвая меншы за другое. Як адносяцца кутнія скорасьці колаў і лінейныя скорасьці пунктаў, што ляжаць на абадох?

52. Знайсьці разьмер момэнту інэрцыі.

53. Знайсьці момэнт інэрцыі тонкага персьценя з радыусам r і масай m адносна да восі, пераходзячай цераз цэнтр персьценя стацьцёва да яго роўнядзі.

54. Кола кружыцца на горызонтнай восі і ў нейкай хвіліне мае кутнюю скорасьць, якая адпавядае 30 абаротам за мінуту. Момэнт інэрцыі кола разам з восяю раўняецца $5.10^7 \ gr. cm^2$. У гэтай хвіліне пачынае накручвацца на вось тонкі шнур, які падымае цела масай 10 Kg. На якую вышыню падымецца яно, калі $g = 980 \ cm/sec^2$?

55. Які разьмер момэнту інэрцыі?

56. Кожная з сілаў пары сілаў раўняецца 180 дын, а плячо 30 cm. Якое плячо павінна быць у раўнаважачае пары, калі кожная сіла гэтае пары раўняецца 45 дынам?

57. На тонкай нітцы павешана невялікая кулька, асяродак цяжару якое ляжыць у адлежнасьці 39,5 cm ад восі матаньня. Які ў яе пэрыод матаньня, калі $g = 982{,}5 \ cm/sec^2$?

58. Якая будзе зрэдукаваная даўжыня сэкунднага матача ў месцы, гдзе $g = 981{,}44 \ cm/sec^2$?

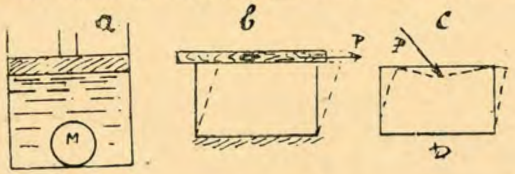
59. Той самы матач мае ў двух розных мясцох на зямлі пры іншых аднолькавых абставінах пэрыоды матаньняў: $T_1=0,885$ sec і $T_2=0,8845$ sec. У першым $g_1 = 980$ cm/sec². Які гравітацыйны прысьпех у другім месцы?

ЧАСЬЦЬ III.

Дынамічныя уласьцівасьці целаў.

АДДЗЕЛ I. ДЭФАРМАЦЫІ. УПРУГАСЬЦЬ.

84. Дэфармацыя і напружаньне. Да гэтага часу мы разглядалі ідэальна цьвёрдае цела, г. зн. такое цела, якое не зьмяняе ані формы, ані абыйма пад дзейнасьцю сілы. У прыродзе такіх целаў няма. Усякая, хоць бы найменшая, сіла вызывае ў целе тыя ці іншыя зьмены. Зьмены гэтыя завуцца дэфармацыямі. Бываюць дефармацыі абыйма і формы. Прыкл., на жыжку ў цыліндры цісьне таўкач (рыс. 131-а). Жыжка, як ведама з элемэнтарнай фізыкі, цісьне з тэй самай сілай на кулю М, якая, значыць, зьмяншаецца ў сваім абыйме, не зьмяняючы сваёй формы — кулі. Гэта і ёсьць дэфармацыя абыйма. Возьмем кавалак каўчуку ў форме стацьмасьценя (простакутняга паралелепіпеда). Прыклеім яго да дошкі, а зьверху да яго прыклеім другую дошчачку (рыс. 131-b). Да гэтае другое дошчачкі прыложым сілу P, сутычную да сьценкі стацьмасьценя. Стацьмасьцень зьменіцца ў раўналежнасьцен (паралелепіпед), не зьмяняючы свайго абыйма. Тут мае месца дэфармацыя формы. Найчасьцей у жыцьці спатыкаюцца абедзьве дэфармацыі адначасна (рыс. 131-с).



Рыс. 131.

У дадзеных прыкладах мы разглядалі сілы, якія напіралі на цела. Рэзультатам гэтага напору ёсьць ціск на цела. Ціскам будзем у фізыцы называць тую сілу, якая дзее на адзінку вярхніны цела; значыць, адзінка ціску (p) ёсьць дзель сілы на вярхніну (S), на якую дзее сіла.

$$P = f\ (\text{dyne}) : S\ (\text{cm}^2) = \frac{f}{S} \cdot \frac{\text{gr. cm}}{\text{sec}^2\text{cm}^2} = \frac{f}{S} \cdot \frac{\text{gr.}}{\text{cm sec}^2} \quad . \ . \ . \ (1)$$

Калі возьмем дручок, адзін канец яго замацуем нярухома, а да другога прыложым сілу, якая будзе яго расьцягаваць, дык будзем мець

у дручку расьцяг. Расьцяг, так сама, як і ціск, будзем аднасіць да адзінкі вярхніны, на якую дзее сіла. Калі сіла f, вярхніна S, то расьцяг P_1 будзе:

$$P_1 = \frac{f \text{ dyne}}{S \text{ cm}^2} = \frac{f}{S} \cdot \frac{\text{gr. cm}}{\text{sec}^2\text{cm}^2} = \frac{f}{S} \cdot \frac{\text{gr.}}{\text{cm sec}^2} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (2)$$

Значыць, ціск і расьцяг мераюцца іншымі адзінкамі, чым сіла. Ціск або расьцяг зьяўляюцца ў целах заўсёды пад дзейнасьцю сілы і завуцца агулам напружаньнем. Усякая дэфармацыя ідзе пабач з напружаньнем.

85. Упругасьць. Рубяжы упругасьці і вытрымаласьці. Целы, агулам, праціўяцца ўсякім дэформацыям, а пасьля таго, як спыніцца дзейнасьць дэформуючых сілаў, целы ў большай або меншай ступені трацяць тыя дэформацыі, якія былі зроблены. Гэтую ўласьцівасьць целаў называюць упругасьцю. У фізыцы будзем адрозьніваць упругасьць па абыйму і па форме. Калі расьцягнем каўчуковую трубку, дык, як расьцягіваючая сіла спыніць сваю дзейнасьць, трубка вернецца да свае пачатнае даўжыні. Пры гэтым можна заўважыць некаторае спазьненьне, бо выцягненае ці сьціснутае (здэформаванае) цела варочаецца да сваёй формы і абыйма ня зразу, але цераз нейкі час. Здараецца і так, што цела ніколі ўжо само ня вернецца да пачатнае формы і абыйма, а захоўвае трывала ўсю ці частку дэформацыі. Гэтую дэформацыю будзем называць астатачнай дэформацыяй. Прыкл.: выцягнуўшы залішне каўчуковую трубку, пабачым, што яна не варочаецца да свайго пачатнага стану. Тады кажам, што мы перайшлі рубеж упругасьці. Рубеж гэты ў розных целах бывае розны, ды навет у тых самых целах можа зьмяняць сваё месца. Прыкл., у мэталяў пасьля перакоўкі, пракаткі, закалкі павялічваецца рубеж упругасьці, г. зн. тое напружаньне (сіла на цэнтымэтр у квадраце), пры якім астатачная дэформацыя ўжо астанецца. Целы, якія маюць дужа малы рубеж упругасьці, прыкл. вашчына, гліна, завуцца плястычнымі.

Калі будзем абцягчаць далей цела за рубяжом упругасьці, дык дойдзем да такой сілы, што пры ёй цела разарвецца, лопне, ці зломіцца; вось тады і кажам, што мы перайшлі рубеж вытрымаласьці. У іншых целаў рубяжы упругасьці і вытрымаласьці ляжаць далёка адзін ад аднаго (каўчук, сталь); у другіх гэтыя рубяжы зыходзяцца саўсім блізка, і гэткія целы мы называем крохкімі (шкло).

Веданьне рубяжоў упругасьці і вытрымаласьці розных целаў мае вялізарнае значэньне для тэхнікі.

86. Закон Гука (Hooke). Дэформацыя, як фізычнае зьявішча, павінна быць зьмерана, і для гэтага мы павінны ўмовіцца аб тых мэтодах і адзінках, якімі будзем карыстацца пры мераньні. Няхай абыймо v дадзенага цела павялічылася (або зьменшылася) на Δv (чытай „дэльта“ = прырост). Абсолютная велічыня Δv нічога нам не дае; мы шукаем яе адносін да пачатнага абыйма v. Мы бяром тады, абазначыўшы дэформацыю цераз α,

$$\alpha = \frac{\Delta v}{v} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (1)$$

Велічыня α бязыменная лічба, бо і лічнік і назоўнік выражаны ў кубічных адзінках.

Рыс. 132.

Калі возьмем дэформацыю формы (рыс. 132), то там адна роўнядзь у целе перасоўваецца адносна да другое. І тут ізноў нас ня цікавіць абсолютная велічыня перасову AA′ або $A_1A'_1$, але адносіны гэтае велічыні да адлежнасьці ад пункту D, які ня зышоў з свайго месца. Інакш кажучы: мы шукаем такой велічыні, якая давала-бы нам паняцьце аб куце, на які адхілілася пры гэтай дэформацыі лінія AD. Гэты кут

$$\alpha = \frac{AA'}{AD}$$

Прыкл., калі AA′ = 3 mm, AD = 10 cm, то

$$\alpha = 0{,}3 \text{ cm} : 10 \text{ cm} = 0{,}03.$$

Агулам кажучы, велічыня дэформацыі ці то абыйма, ці формы, выражаецца бязыменнай лічбай.

Гук (Hooke) радам дасьледаў устанавіў, што пры дэформацыях, не пераходзячых рубяжа упругасьці, велічыня дэформацыі пропорцыянальна да напружаньня. Абазначаючы напружаньне p, дэформацыю α, маем:

$$p = k\alpha \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (2)$$

гдзе k зьяўляецца нейкім коэфіцыентам пропорцыянальнасьці, які завецца коэфіцыентам упругасьці. Дзеля таго, што p мае разьмер [dyne : cm²], а α бязыменная лічба, дык:

$$[k] = \left[\frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2}\right] = \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm sec}^2}\right]$$

Коэфіцыент упругасьці мае розныя назовы ў залежнасьці ад таго, якія дэформацыі імі мераюцца: коэфіцыент падоўжаньня, коэфіцыент сьціску, гнуцьця, кручэньня і г. д.

Асабліва важны ў тэхніцы коэфіцыент падоўжаньня, які завецца модулем Юнга (Jung). Дрот аднолькавага сячэньня (S), даўжынёй l, расьцягаваецца сілай f і дастае прырост даўжыні Δl. Адноснае падоўжаньне будзе $\Delta l : l$, дзеючы-ж расьцяг f : S; значыць:

$$p = \frac{f}{S} = \varepsilon \frac{\Delta l}{l} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (3)$$

гдзе ε ёсьць гэты модуль Юнга.

Вось некалькі лічбавых вялічынь гэтага модуля:

$$\text{сталь} — 2 \,.\, 10^{12} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2}; \ \text{срэбра} — 1{,}1 \,.\, 10^{12} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2};$$

$$\text{жоўтая медзь} — 0{,}7.10^{12} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2}.$$

Для вады знайшлі $\varepsilon = 2{,}03 \,.\, 10^{10}$ dyne/cm². Гэта значыць, што, каб паменшыць абыймо вады на 1 : 10000 частку пачатнага абыйма, трэба на яе зрабіць гэткі ціск (на кожны cm²):

$$p = \varepsilon \frac{\Delta l}{l} = 2{,}03 \,.\, 10^{10} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \times \frac{1}{10000} = 2{,}03 \,.\, 10^{6} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} =$$
$$= 2{,}03 \text{ megadyne/cm}^2,$$

значыць, на кожны cm² трэба ціснуць сілай трохі вялікшай за 2 kg.

87. Цьвёрдыя, плыўкія і газавыя целы. Усе без выключэньня целы маюць упругасьць абыйма, г. зн. для зьмены іх абыйма трэба ўжыць большы або меншы, азначаны для кожнага цела, ціск. Інакш стаіць справа з упругасьцю формы. Адны целы маюць саўсім азначаную форму і выяўляюць вялікае праціўленьне ўсякай зьмене яе. Гэтыя целы называюцца цьвёрдымі. Другія целы ня маюць ніякае сталае, характэрнае для іх, формы і прымаюць форму тае судзіны, у якой яны знаходзяцца. Паміж імі ёсьць такія, якія могуць выступаць у форме капель і маюць свабодны ровень, прыкл., вада, малако, сьпірт, алей маюць форму міскі, у якой наліты, а зьверху свабодны ровень. Гэтыя целы называем плыўкімі, або жыжкамі.

Ёсьць яшчэ целы, якія захоўваюць форму судзіны, у якой яны зьмяшчаюцца, але ані капель ня твораць, ані ня маюць свабоднага роўня. Гэта газы, або газавыя целы. Яны напаўняюць сабой увесь зьмест судзіны, у якой знаходзяцца. Нядаўныя памеры паказалі, што і плыўкія целы, як і цьвёрдыя, маюць нейкую упругасьць формы, але яна вельмі малая. Газы гэтае ўпругасьці саўсім не выяўляюць. Упругасьць абыйма ў плыўкіх целаў вельмі невялікая, яны мала паддаюцца ціску. Наадварот, газы паддаюцца ціску лёгка. Вада ў цыліндры пад таўкачом выяўляе агромнае праціўленьне перасову таўкача. Паветра пад тым самым таўкачом пазваляе лёгка ўвапхнуць таўкач далей.

Цьвёрдыя целы — гэта такія, якія маюць упругасьць абыйма і формы; плыўкія, — якія маюць толькі упругасьць абыйма (і то вельмі малую) і могуць мець свабодны ровень; газы маюць толькі упругасць абыйма, аднак сваʼбоднага роўня ня маюць.

Гэтая клясыфікацыя ня точная, бо граніцы паміж гэтымі целамі не нарысаваны выразна. Лёд залічаецца да цьвёрдых целаў, а ён цячэ ў гледчэрах. Праўда, скорасьць яго за год ня болей некалькіх дзясяткоў цэнтрымэтраў, пад той час, як вада ў рацэ мае, лічучы сярэдня, 50 km за дзень. Шавецкая смала пры нормальнай хатняй тэмпэратуры ($15^0 — 20^0$ C) саўсім цьвёрдае цела, крошыцца і г. д. Пакінутая-ж у лейцы, яна цераз год выцякае ў форме капель.

Агулам кажучы, трэба памятаць, што ўсялякія клясыфікацыі выдуманы людзьмі, а прырода іх ня ведае; дык і можам іх ужываць толькі для упрашчэньня нашае працы.

ЗАДАЧЫ.

60. Зялезны стацьмасьцень, маючы разьмеры 20 cm, 80 cm і 50 cm., стаўляюць рознымі сьценкамі на стол (гл. стр. 12). Які будзе кожын раз ціск на стол, калі $g = 981$ cm/sec²?

61. Сталёвы дрот даўжынёй 1 m і сячэньнем 1 mm² абцяжоны гірай так, што падоўжаньне яго роўна 1,5 mm. Які цяжар гіры?

62. Граніца вытрымаласьці для сталі даецца коэфіцыентам $2{,}3 \,.\, 10^{10}$ dyne/cm². Пры якім цяжары гіры абарвецца дрот з задачы 61?

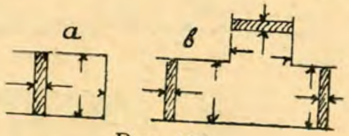
63. Што нам паказвае дадзеная ў зад. 62 граніца вытрымаласьці, калі яе прыраўнаваць да модуля Юнга для сталі?

АДДЗЕЛ II. ПЛЫЎКІЯ і ГАЗАВЫЯ ЦЕЛЫ.

88. Упругасьць газавых целаў. Плыўкое цела займае ў судзіне саўсім азначанае абыймо; плыўкое цела мае ў гэтай судзіне ровень, які яно захоўвае. Абыймо яго, у залежнасьці ад вонкавага ціску і тэмпэратуры, можа трохі зьмяняцца, аб чым будзе гутарка ніжэй. Саўсім іншае мы бачым у газавых целах. Дадзеная скольказьць газу можа запоўніць усякі зьмест. У жыцьці кажам, што „запах разышоўся на ўсёй хаце“; гэта і ёсьць газавае цела, якое распаўсюдзілася па ўсенькім зьмесьце хаты. Калі ў цыліндры з газам (пр. паветрам) падымем таўкач на нейкую велічыню, то газ напоўніць і тую часьць цыліндра, на якую павялічыўся зьмест цыліндра. Калі возьмем шчыльна завязаны пузыр, зьмяшчаючы трохі паветра, паложым яго пад клёш паветранае помпы і пачнем выпамповываць паветра, то пузыр пачне раздувацца, павялічвацца і можа навет лопнуць.

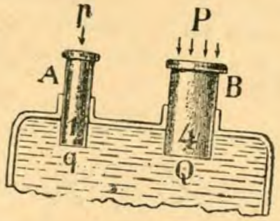
Відавочна, што пакуль пад клёшам было паветра, яно пёрла на вярхніну пузыра, і паміж напорам паветра ў пузыры і звонку была раўнавага. Калі паветра спад клёша выпампоўваецца, напор паветра ў пузыры не спатыкае ўжо ранейшае процідзейнасьці звонку, і пузыр пачынае расьцягівацца пад дзейнасьцю ўнутранага ціску газу. Гэтая ўласьцівасьць, характэрная для ўсіх газавых целаў, завецца упругасьцю і выяўляецца ў тым, што газы робяць ціск на сьценкі судзіны, у якой зьмяшчаюцца, і на ўсе целы, якія акружаюць. З гэтае ўласьцівасьці выцякае тое, што газавыя целы імкнуцца заняць як найвялікшае абыймо, г. зн. лёгка пашыраюцца, і ўласьцівасьць гэтая мае назоў пашыральнасьці.

89. Закон Паскаля. Пад шчыльна прыгнаным у цыліндр таўкачом (рыс. 133 a) знаходзіцца плыўкое цела (пр. вада). Калі мы пачнем упіхіваць таўкач глыбей у цыліндр, дык сустрэнем вялікую процідзейнасьць: дэформацыя абыйма, якая выклікаецца, вызывае упругую рэакцыю жыжкі, якая перадаецца на сьценкі судзіны і на таўкач. Каліб цыліндр быў адкрыты з другога канца, або меў нейкі адростат, і там быў бы ўстаўлены другі таўкач (рыс. 133 b), то гэты апошні быў бы перасунуты сілай упругае рэакцыі. Каб утрымаць на месцы таўкач B, трэба было-б прылажыць адпаведную сілу.



Рыс. 133.

Паскаль (Pascal, XVII век) францускі матэматык і фізык, адкрыў закон, па якому ціск на плыўкое цела, зроблены ў адным месцы, перадаецца цераз жыжку ў-ва ўсіх кірунках, захоўваючы сваю велічыню. Калі на таўкач A дзее сіла f, а таўкач цісьне на жыжку вярхнінай S, то ціск $f : S = p$ выяўляецца з нязьменнай велічынёй p у кожным пункце жыжкі і ў ва ўсіх кірунках. Закон Паскаля выражаецца так: **ціск у плыўкім целе разыходзіцца ў ва ўсіх кірунках аднолькава.**



Рыс. 134.

У судзіне, напоўненай жыжкай, маем 2 таўкачы: A і B (рыс. 134). На таўкач A дзее сіла p (прыкл. 1 kg); на таўкач B, які мае вялікшую вярхніну, чымся A, трэба, каб дзеяла сіла вялікшая, P, каб утрымаць раўнавагу. Як і дагней, мы ня прымаем пад увагу церця таўкачоў аб сьценкі і масы таўкачоў, якія маюць інэрцыю. Калі вярхніна таўкача A будзе S_1 (пр. 5 cm²), а вярхніна таўкача B будзе S_2 (пр. 20 cm²), то ціск пад абадвома таўкачамі, па закону Паскаля, павінен быць роўны:

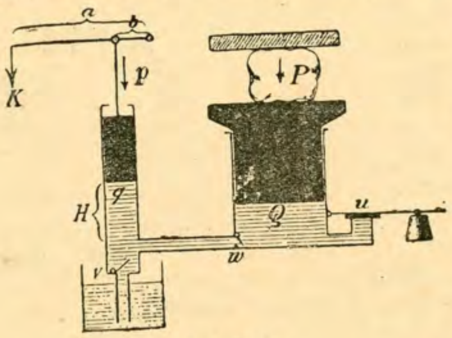
$$\frac{P}{S_1} = \frac{P}{S_2}; \frac{1000 \text{ gr}}{5 \text{ cm}^2} \times 981 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2} = \frac{P}{20 \text{ cm}^2} \times 981 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$$

скуль $P = 4000$ gr $= 4$ kg.

Значыць, для раўнавагі сілаў, прыложаных да таўкачоў, трэба, каб яны адносіліся адна да аднае, як вярхніны таўкачоў, якімі перадаецца ціск на жыжку.

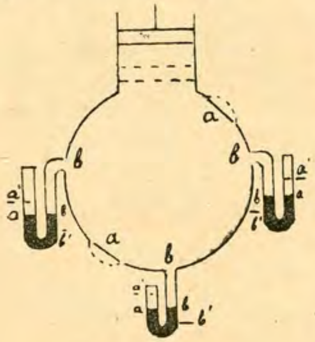
Калі сіла p дастане хоць бы найменшы прырост, то таўкач A пачне апускацца, а таўкач B падымацца. Ясна, што дарога, якую пройдзе таўкач B, будзе ў гэтулькі разоў меншая за дарогу, якую пройдзе таўкач A, у сколькі разоў вярхніна S_1 менш за S_2.

На гэтым аснована дзейнасьць гідраўлічнага (вадзянога) прэсу (рыс. 135). Два цыліндры розных дыамэтраў зьвязаны трубой. Меншы таўкач пампуе жыжку з рэзэрвуара ў вялікшы цыліндр. Таўкач вялікшага націскае на цела, паложанае паміж ім і нярухомай апорай. Калі таўкач Q мае сячэньне ў 100 разоў вялікшае, чым таўкач q, то сіла, якая цісьне на цела P, будзе ў 100 разоў вялікша за p. Гэта дае стакратны зыск у сіле, які яшчэ павялічваецца тым, што для пампаваньня жыжкі ўжыты вагар. Гідраўлічны прэс мае вялікае распаўсюджаньне ў тэхніцы: ім падымаюць найвялікшыя цяжары, ім робяць найвялікшы ціск, прыкл. сьціскаючы апілкі і абрэзкі зялеза для перарóбкі з іх найвышэйшых гатункаў зялеза ў спэцыяльных печах.



Рыс. 135.

90. Закон Паскаля для газаў. Возьмем кулю з цыліндрам (рыс. 136), у якой зроблена некалькі ваконцаў, якія шчыльна закрыты каўчуковымі абалонкамі (a). У цыліндры ходзіць таўкач. У кулі і цыліндры ёсьць паветра. Калі ўсунем таўкач у цыліндр, то ўсе абалонкі выпучацца і пры гэтым аднолькава. Калі-ж будзем выцягіваць таўкач з цыліндру, дык выпучэньне абалонак пачне зьмяншацца і згіне, а калі будзем далей выцягіваца таўкач, дык абалонкі стануць увагнутымі. Ясна, што гэтыя зьмены формы абалонак выклікаюцца зьменай ціску газу ў прыладзе: пры ўсоўваньні таўкача памяншаецца абыймо газу, але яго ціск павялічваецца; пры выцягіваньні абыймо павялічваецца, а ціск памяншаецца.

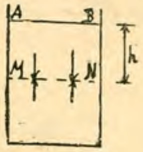


Рыс. 136.

Калі-б мы ўсю гэтую прыладу памясьцілі пад клёш паветранае помпы, абалонкі таксама зьмянялі бы сваю форму ў залежнасьці ад ціску паветра пад клёшам.

У гэтай самай прыладзе заместа абалонак паставім сагнутыя шкляныя трубкі (b) з ртуцьцю, або іншай жыжкай. Калі ўсунем таўкач у цыліндр, жыжка ў адкрытым калене падымецца адносна да роўня ў калене, якое злучана з куляй. Калі таўкач будзем выцягіваць, то жыжка ў адкрытым калене будзе апускацца і стане ніжэй роўня ў другім калене. Тут мы маем магчымасьць саўсім точна пераканацца, што ў аднэй і тэй-жа хвіліне, пры тых самых абставінах, ціск у кожнай трубцы будзе роўны ціску ў іншых трубках, а гэта значыць, што ціск разыходзіцца ў газе ў-ва ўсіх кірунках аднолькава (закон Паскаля).

91. Ціск у плыўкім целе пад дзейнасьцю яго цяжару. Разглядаючы, як разыходзіцца ціск у плыўкім целе, мы прымалі пад увагу толькі ціск, выкліканы дзейнасьцю вонкавых сілаў. Аднак, плыўкое цела, як усякае цела на зямлі, знаходзіцца пад дзейнасьцю сілы цяжару, г. зн. на кожную частку жыжкі дзее прыцяганьне зямлі, а таму яна цісьне на ляжачыя пад ёй такія-ж часткі жыжкі. Разгледзім (рыс. 137) вельмі тонкі пласток жыжкі MN. На яго зьверху дзее сіла цяжару стаўба жыжкі ABMN. Каб гэты пласток быў у раўнавазе, трэба, каб і зысподу на яго дзеяла роўная сіла; значыцца, такая самая сіла цісьне на MN зысподу. З прычыны ціску верхніх пластоў на ніжэй паложаныя гушчыня жыжкі не аднолькава на ўсякіх глыбінях. Аднак, дзеля малое сьціскальнасьці жыжак, гушчыня іх мала зьмяняецца ад глыбіні.



Рыс. 137.

Калі абазначым цераз s плошчу MN, цераз h—вышыню роўня жыжкі над пластком MN, цераз d—гушчыню жыжкі, дык сіла цяжару стоўбіка ABMN будзе:

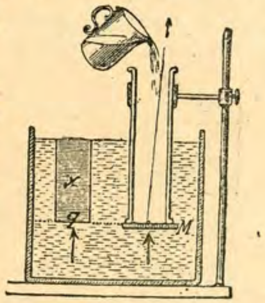
$$P = ps = shdg, \text{ або: } p = hdg \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

гдзе g—гравітацыйны прысьпех, а p—ціск на жыжку на роўні MN.

З раўнаваньня (1) бачым, што ціск пропорцыянальны да глыбіні пункту пад роўнем жыжкі і да гушчыні жыжкі.

Поўны ціск у жыжцы дастанем, дадаўшы да ціску ад уласнага цяжару яшчэ і ціск ад вонкавых сілаў, якія дзеюць на жыжку.

Можам зрабіць вось якія дасьледы (рыс. 138). Возьмем цыліндр або трубку, да якое шчыльна дапасуем плітку M, пакуль што прытрымліваючы яе за нітку. Калі апусьцім у жыжку цыліндр, плітка не адпадае, пакуль не нальлём у цыліндр гэтульві жыжкі, каб ровень у цыліндры быў аднолькавы з роўнем у судзіне.

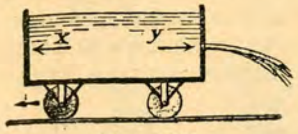


Рыс. 138.

Выабразім сабе пункт у жыжцы. На гэты пункт, як ужо ведаем, дзее ціск з усіх бакоў. Калі-б гэты ціск быў хаця-бы з аднаго боку меншы, чым з іншых, дык пункт пачаў бы рухацца. Аб гэтым якраз гаворыць нам закон Паскаля, што ціск у жыжцы ў-ва ўсіх кірунках аднолькавы, а велічыня яго залежыць ад глыбіні.

З сказанага выцякае, што жыжка робіць ціск на сьценкі судзіны, у якую яна наліта, і што гэты ціск тым вялікшы, чым глыбей ляжыць пад роўнем жыжкі тое месца, якое разглядаем. Возьмем цыліндр з дзіркамі на рознай вышыні, нальлём вады і пабачым, што струя вады з ніжэйшых дзірак „б‘ець“ далей, чым з вышэйшых. Прычына—тое, што вялікшая сіла ціску дае вялікшую скорасьць струі вады.

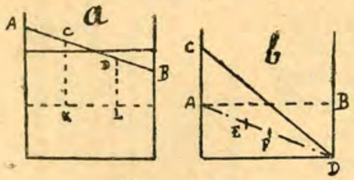
Цікавы дасьлед з вагончыкам (рыс. 139) паказвае, што вагончык, напоўнены жыжкай, якая будзе выцякаць з дзіркі ў аднэй сьценцы, пачне сам сабой рухацца ў кірунку процілежным да кірунку струі жыжкі. Жыжка, выцякаючы пад дзейнасьцю напору зьмесьціва вагончыку, па III-му закону Ньютона вызывае ў астаючайся жыжцы роўны і процілежны ціск, які перадаецца ўсяму вагончыку. На гэтым асованы гэтак званы млінок Сэгнэра (рыс. 140). Судзіна, ўмацаваная на восі, мае некалькі трубак, выгнутых у адным кірунку. Жыжка, выліваючыся цераз гэтыя трубкі, дае кружны рух судзіне.



Рыс. 139.

Рыс. 140.

92. Раўнавага плыўкога цела ў злучаных судзінах. Якая вярхніна можа быць у жыжцы? Калі выабразім сабе, што вярхніной жыжкі будзе роўнядзь AB (рыс. 141 a), то ў пунктах K і L на нейкім роўні MN будуць розныя ціскі, і таму пункт K будзе мацней цісьнуць у бок L, чым L у бок K. Дзеля гэтага пункт жыжкі K пачне рухацца ў бок пункту L. Гэты рух будзе адбывацца датуль, пакуль у пункце L не ўстановіцца той самы ціск, як і ў пункце K. А гэта будзе тады, калі на абодва пункты будуць цісьнуць роўныя стоўбікі жыжкі, што над імі, г. зн. пакуль глыбіня KC ня будзе роўна LD.



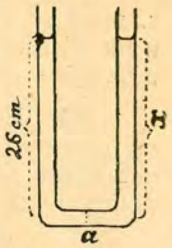
Рыс. 141.

Значыць, раўнавага ў жыжцы установіцца толькі тады, калі ровень свабоднае вярхніны жыжкі будзе горызонты, г. зн. стацьцявы да стоці.

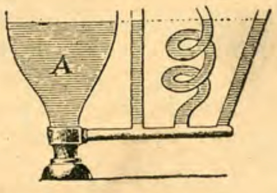
Можам разглядаць гэтае зьявішча яшчэ і з боку палажэньня асяродка масы жыжкі. Калі дапусьцім, што ровень жыжак (рыс. 141 b) займае палажэньне па лініі CD, то асяродак масы яе будзе ляжаць на лініі, злучаючай сярэдзіну боку трыкутніка з вяршком (на лініі AD ў пункце E). Калі жыжка займець палажэньне горызонтнае AB, то асяродак цяжару будзе ў пункце F на тэй самай лініі AD (чаму?) Відавочна, што пункт E ляжыць вышэй за пункт F. А мы ўжо ведаем, што ўсякае цела імкнецца да такога палажэньня, пры якім потэнцыяльная яго энэргія будзе мінімум.

У вялікіх вадзяных абшарах, морах, акеанах, ровень вады ёсьць вярхніна кулі, бо ў кожным яе месцы ровень будзе стацьцявым да стоці ў гэтым месцы, г. зн. да радыуса зямлі. Толькі дзеля таго, што звычайна мы разглядаем невялікія вярхніны жыжкі, мы маем права прыймаць ровень жыжкі за плоскую вярхніну, г. зн. за роўнядзь.

Возьмем дзьве судзіны, злучаныя так, каб жыжка магла свабодна перацякаць з аднае ў адну (рыс. 142). У калене, што злучае судзіны, выабразім сабе нейкае сячэньне (a), на якое цісьне стоўбік жыжкі з левае судзіны. Для захаваньня раўнавагі трэба, каб і стоўбік жыжкі правае судзіны рабіў той самы ціск, а з гэтага выцякае, што вышыня роўня жыжкі ў абедзьвюх судзінах павінна быць аднолькавая. Рыс. 143 паказуе фізычную прыладу, якая ілюструе гэтую ўласьцівасьць злучаных судзін. Мы бачым, што ровень не залежыць ад формы судзіны. На гэтай уласьцівасьці аснована многа практычных прыладаў. Рыс. 144 паказвае прынцып фонтану. Вада б'ець уверх, але не даходзіць да роўня ў рэзэрвуары з прычыны церця ў трубах і праціўленьня паветра. Рыс. 145 выясьняе працу артэзіянскіх студняў. Вада з гор цячэ па глiністым пластам (a), якія не прапускаюць яе ў глыб, і ў месцы (b) свабодна выцякае або навет б'ець уверх.



Рыс. 142.

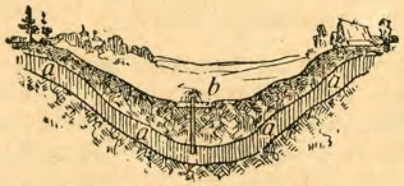


Рыс. 143.

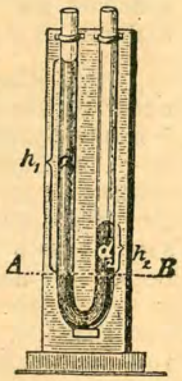
Рыс. 144.

Вада з ракі цераз пясок прасачаваецца ў студню і займае той самы ровень, як і ў рацэ. Мястовыя вадаводы таксама ёсьць адна з формаў злучаных судзін.

Возьмем шкляную трубку (рыс. 14б) дыамэтрам у некалькі цэнтымэтраў, выгбаную ў форме U. Нальлём у яе ртуці да роўня, прыкл., AB. Ртуць станець роўна ў абодвух каленах. Цяпер нальлём вады ў абодва калена—так, каб ровень ртуці не зьмяніўся; тады відавочна вышыня стоўбікаў вады ў абодвух каленах была-б аднолькавая. Калі-ж замест вады ў адно калена нальлём якое іншае жыжкі, то заўважым, што пры захаваньні роўня ртуці (AB) вышыні жыжак h_1 і h_2 будуць розныя. Жыжка ў левым калене робіць ціск на ртуць, пропорцыянальны да вышыні h_1 і да гушчыні d_1; так сама ціск жыжкі ў правым калене пропорцыянальны да h_2 і d_2. Для раўнавагі трэба, каб:



Рыс 145.

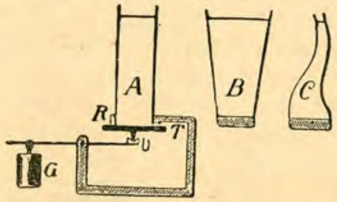


Рыс. 146.

$$h\ d_1 = h_2\ d_2,\ \text{або:}\ \frac{h_1}{h_2} = \frac{d_2}{d_1} \ldots\ldots\ldots (1)$$

г. зн. раўнавага двух плыўкіх целаў у злучаных судзінах будзе мець месца тады, калі іх вышыні адносяцца адваротна пропорцыянальна да гушчыні гэтых целаў.

93. Напор жыжкі на дно судзіны. Напор на дно судзіны мы дастаём, калі ведаем ціск жыжкі на дно p і плошчу дна s. Напор будзе тады ps. Гэты напор, значыць, не залежыць ад формы судзіны, ад яе абыйма, а выключна ад плошчы дна і ад ціску ў жыжцы. Праверыць гэта можам на прыладзе, паказанай на рысунку 147. У абойму R устаўляюць судзіны рознае формы і абыйма, але з тэй самай плошчай дна. Судзіны ня маюць свайго дна, а закрываюцца пліткай T, якую вагаром прыціскае да іх гірка G. Наліваем жыжку ў судзіну, пакуль напор яе на дно не пачне перамагаць цяжару G. Заўважым вышыню роўня. Уставіўшы судзіну іншае формы, пабачым, што і для яе ровень жыжкі, пры якім яна пачне прасачавацца каля дна, будзе знахадзіцца на тэй самай вышыні.

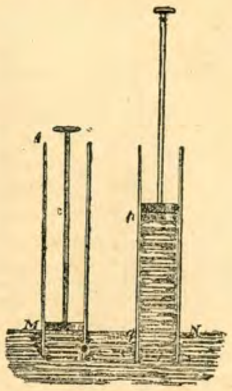


Рыс. 147.

Ціск у жыжцы залежыць ад глыбіні, і, калі мы ўжо пры саўсім маленькіх глыбінях нашых дасьледаў спасьцерагаем розьніцу ціску, дык пры глыбінях, якія спатыкаем у морах і акеанах (да 10 km), ціск гэты зьяўляецца ўжо вельмі значнай велічынёй. Гушчыня вады, якую мы ў нашых дасьледах прымалі за сталую велічыню, там павялічваецца значна. Рыбы і расьціны маюць там організм, датарнаваны да гэткага ціску. Ловячы рыбу з гэткае глыбіні, здаралася, што рыбы лопаліся, калі іх выцягівалі на паветра: іх унутраны ціск быў шмат вялікшы за наш атмосфэрны ціск.

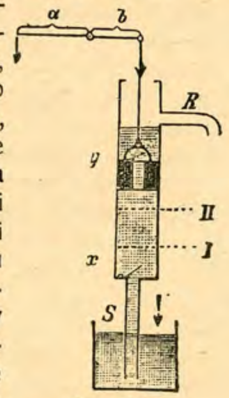
94. Ціск у газе ад уласнага цяжару, Атмосфэрны ціск. Баромэтр. Ведаем, што паветра акружае зямлю. Яно не зачынена ні ў якой абалонцы; дык чаму-ж яно, маючы вялікую пашыральнасьць, не разыйдзецца па ўсім прасторы? А вось, паветра, як і ўсе целы, прыцягіваецца зямлёй; яно знаходзіцца пад уплывам сілы гравітацыі. Цяжар яго ёсьць як раз тая сіла, што затрымлівае паветра пры зямлі. І вось у паветры дзеецца тое самое, што і ў плыўкіх целах. Вышэйшыя пласты паветра ціснуць на ніжэйшыя, і таму ціск, які істнуе ў паасобных пунктах гэтага газавага мора, не аднолькавы і тым вялікшы, чым тыя пункты бліжэй да зямлі. Гэта і пацьвярджаюць тыя памеры атмоэфэрнага ціску, якія робяцца пры падмозе прылады, званай баромэтрам. Разгледзім яго асновы.

Ужо ў старадаўных часох людзі карысталіся таўкачовымі помпамі. Калі апусьцім у жыжку канец трубкі з таўкачом так, каб таўкач датыкаўся да самае вярхніны жыжкі (рыс. 148), і пачнем выцягіваць таўкач уверх, то жыжка „пойдзець“ за ім. Яна таксама пачне падымацца. Як казалі ў старадаўныя часы: „прырода баіцца пустаты“, г. зн. яна імкнецца нечым напоўніць пусты прастор пад таўкачом. Але гэты „страх пустаты“ мае свой рубеж, бо вышэй за 10 m. вада ў трубе такім спосабам не падымаецца. Чаму-ж за гэтым рубяжом прырода не баіцца пустаты? І вось Торычэлі (Torricelli), слаўны вучань яшчэ слаўнейшага настаўніка Галілея, растлумачыў гэтае зьявішча так, як і мы цяпер яго разумеем. На жыжку цісьне паветра. Калі мы паставім таўкач у сутыку з жыжкай, то напор паветра на гэтую частку жыжкі прыме на сябе таўкач. Калі пачнем цяпер выцягіваць таўкач, то на ваду пад таўкачом паветра ня цісьне, а на вярхніну жыжкі, што акружае трубку, ціск паветра астаўся. Значыць, жыжка траціць раўнавагу і падымаецца за таўкачом, але толькі так высока, каб ціск паветра зраўнаважыў ціск стоўбіка паднятае жыжкі. Вышэй вада не падымецца.

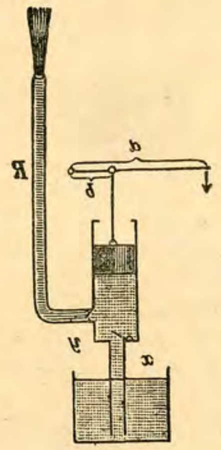


Рыс. 148

На гэтым аснована работа вадзяное помпы. Паднятая ў цыліндры вада затрымліваецца кляпай (x) (рыс. 149), якая зачыняецца сама, як толькі вада перастае падымацца. Калі таўкач пачынае апускацца, то адчыняецца кляпа (y), і вада пераходзіць у цыліндр паверх таўкача. Калі таўкач, дашоўшы да нізу, ізноў пачынае падымацца, то зачыняецца кляпа (y), а кляпа (x) адчыняецце, і вада ізноў падымаецца з студні S у цыліндр. Адначасна тая вада, што знаходзілася над таўкачом выліваецца цераз трубку R. Гэткая помпа завецца сасучай. Рыс. 150 прадстаўляе помпу ціскавую. Таўкач тут бяз кляпы; за тое ў трубе, якая адводзіць воду з-пад таўкача, пастаўлена кляпа (y), якая адчыняецца ў бок ад цыліндра. Калі таўкач ідзе ўверх, кляпа (x) адчынена, кляпа (y) закрыта, і вада напаўняе цыліндр. Калі таўкач ідзець уніз, кляпа (x) зачынена, кляпа (y) адкрыта, і вада гоніцца ў трубу. Гэткія дзьве злучаныя помпы складаюць пажарную помпу (рыс. 151). У гэтай прыладзе ёсьць яшчэ рэзэрвуар W, з якога йдзе пажарная

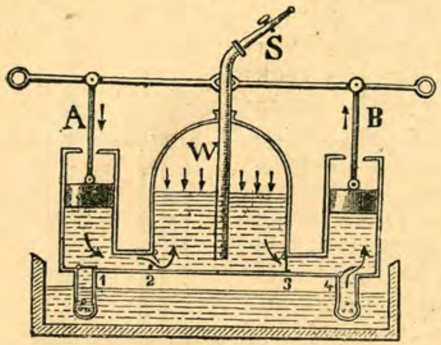


Рыс. 149.

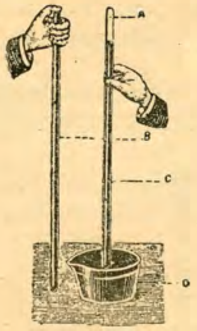


Рыс. 150.

труба S. Над роўнем вады, якая гоніцца ў рэзэрвуар, знаходзіцца паветра. Яно з прычыны сваёй пружкасьці цісьне безперарыўна на ваду, і струя вады з S б'ець роўна. Ціскавыя помпы адпаведных разьмераў ужываюцца для падыманьня вады на значныя вышыні, прыкл. у вадакачках па мястох і на чыгунках.



Рыс. 151.



Рыс. 152

Торычэльлі, ідучы ў сваіх развважаньнях далей, дайшоў да замены вады жыжкай, якая мае вялікшую гушчыню. Тады, як мы ведаем, стоўбік жыжкі, які падымецца ў цыліндры, будзе ў гэтулькі разоў ніжэй за стоўбік вады, у сколькі разоў гушчыня вады менш за гушчыню гэнае жыжкі. Возьмем шкляную трубку (рыс. 152) даўжынёй 1 m, дыамэтрам 1 cm, запаяную з аднаго канца. Напоўнім яе ртуцьцю так, каб у ртуці ня было саўсім бурбалек паветра. Закрыўшы яе з адкрытага канца пальцам, апусьцім гэтым самым канцом ў судзіну з ртуцьцю, і тады адымем палец. І вось ртуць ападзе і займець толькі каля 76 cm. вышыні ў трубцы. Нахіл трубкі або яе форма не зьмяняюць вышыні роўня ртуці, калі лічыць у стоцьным кірунку (рыс. 153). Запраўды, мы ведаем, што ціск, які робіць жыжка на нейкі пункт у жыжцы, раўняецца $p = hdg$, гдзе h — глыбіня пункту пад роўнем жыжкі ў стоцьным кірунку; вось, у нашым прыпадку гэта будзе розьніца роўняў жыжкі ў трубцы і ў судзіне = каля 760 mm, d — гушчыня жыжкі, g — гравітацыйны прысьпех у дадзеным месцы на зямлі. Значыць, такі самы ціск робіць на ровень жыжкі ў судзіне атмосфэра, і множыва hdg ёсьць як раз мерай атмосфэрнага ціску ў дадзеным месцы зямлі. Яно мераецца множывам: 1) вышыні стоўбіка ртуці, 2) гушчыні ртуці і 3) гравітацыйнага прысьпеху. Гушчыня ртуці, як гэта паказана на стр. 12, зьмяняецца ў залежнасьці ад тэмпэратуры; вось-жа прынята, што атмосфэрны ціск бярэцца пры 0^0C. Алеж тэмпэратура, у якой мераецца ціск атмосфэры, бывае розная; дзеля гэтага пры падмозе адпаведных формулаў аблічаем, якая была-б вышыня стоўбіка ртуці, калі-б тэмпэратура была 0^0C. Гэтае дзеяньне завецца *рэдукцыяй* да 0^0C. (Тэмпэратура ўплывае таксама на адлежнасьць рысак на шкале, і гэта прымаецца пад увагу ў сказаных формулах). Тое самое датычыць і велічыні g. У розных месцах зямлі гэта велічыня розная; дык умовіліся рабіць *рэдукцыю* да 45^0 географічнае шырыні. Гэтая папраўка шмат меншая за першую, і калі нас цікавяць толькі зьмены ціску ў дадзеным месцы, то папраўка ня мае ніякага значэньня, бо g тады астаецца нязьменным. Трэба яшчэ дадаць, што неабходны дзьве другія папраўкі: на воласнасьць (гл. ніжэй), ад якое ртуць стаіць у прыладзе трохі ніжэй, і на тое, што над ртуцьцю знаходзіцца пара ртуці, а не абсолютная пустата. Пара ртуці цісьне на стоўбік і паніжае яго вышыню.

Рыс. 153.

Такім способам безпасярэдняе мераньне і далейшыя аблічэньні даюць нам велічыню атмосфэрнага ціску. Вышыня гэтая наагул зьменная ня толькі ў залежнасьці ад месца на зямлі, асабліва на розных вышынях над роўнем мора (чаму?), але і ўсьцяж зьмяняецца ў адным і тым-жа месцы. Знайшоўшы, што на 45^0 географічнае шырыні на роўні мора пры 0^0C велічыня ціску атмосфэры хістаецца каля 760 mm. стоўбіка ртуці, мы прынімаем гэты ціск за *нормальны* і разам з тым за адзінку для памераў іншых ціскаў, называючы *ціскам аднае атмосфэры*.

Велічыню гэтага ціску лёгка аблічыць, калі прымем $g = 981\ \mathrm{cm/sec^2}$, а d (пры 0^0) $= 13{,}6$.

Тады:

$$hgd = 76\ \mathrm{cm}\ .\ 13{,}6\ \mathrm{gr/cm^3}\ .\ 981\ \mathrm{cm/sec^2} = 1013961{,}6\ \frac{\mathrm{gr.\,cm^2}}{\mathrm{sec^2\,cm^3}} =$$

$$= 1013961{,}6\ \mathrm{dyne/cm^2}\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ (1)$$

г. зн. трошкі больш за 1 megadyne/cm².

Рыс. 154.

Ціск гэта вялікі. Пад гэтым ціскам знаходзяцца ўсе целы на зямлі. Гэтаму ціску на чалавечае цела працівіцца ўнутраны ціск нашага організму. Пры зьмене вонкавага ціску раўнавага ў чалавечым целе нарушаецца, і тады часамі выяўляюцца навет небясьпечныя зьявішчы.

Калі абвяжам пузыром шкляную судзіну, датарнаваную да падстаўкі паветранае помпы (рыс. 154), і будзем адтуль выпампоўваць паветра, то пузыр увагнецца, а пасьля і лопне з вялікім гукам.

Калі гэтую самую судзіну закрыем рукой, то з рукі праз нейкі час брызьне кроў.

Закрыем судзіну драўляным коркам, у якім зробім чашку і нальлём туды ртуці. Пры выпампоўваньні паветра з-пад корка (рыс. 155) ртуць пачне капаць дажджом.

Рыс. 155

Возьмем цыліндр (рыс. 156), нальлём у яго поўна вады, прыкрыем шчыльна паперай і асьцярожна павернем паперай уніз, прытрымліваючы паперу рукой. Адымем руку, і папера, прыціснутая паветрам, ня дасьць вадзе выліваццa.

Рыс. 156.

Клёш паветранае помпы, калі выпампуем з яго паветра, так моцна дзержыцца на падставе, што яго нельга зьняць.

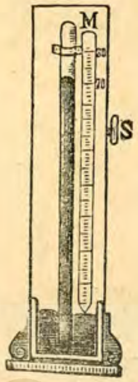
Бурмістр Магдэбурга, вядомы фізык Отто фон Геріке (Otto von Guericke) зрабіў складаную з дзьвюх паловак пустую кулю (рыс. 157). З гэтае кулі ён выпампаваў паветра. Тады запраглі да гэтае кулі 16 каней, якія не маглі разьняць гэтых паловак. Гэты дасьлед носіць назоў дасьледу з Магдэбурскімі паўкулямі.

Барометры асновaны на вышэй апісанай уласьцівасьці злучаных судзін. Рыс. 158 паказвае найпрасьцейшую конструкцыю барометра с чашкай. Ён мае тую хібу, што дошчачку з рыскамі трэба перасоўваць, бо ровень ртуці ў чашцы зьмяняецца; толькі перасунуўшы шкалю можна адчытываць вышыню барометрычнага стоўбіка. Каб дошчачкі ня рухаць, дно чашкі робяць рухомым так, што вінтом яго можна падымаць, або апускаць. Над роўнем ртуці ў чашцы пастаўлена гастрыё з сланавае косьці, якое павінна датыкацца да вярхніны ртуці ў чашцы, калі ровень ртуці даведзены да О дошчачкі з рыскамі. Барометрычную вышыню пасьля такое ўстаноўкі проста чытаюць на дошчачцы. Вельмі важным варункам правільных паказаньняў барометра зьяўляецца яго стоцьнае палажэньне; дзеля гэтага для точных памераў барометр падвешаваюць на трыножніку.

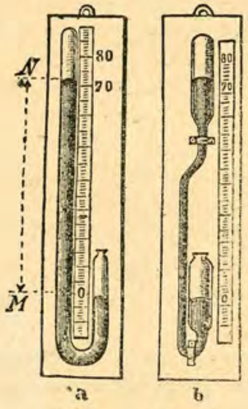
Рыс. 157.

Заместа трубкі, ўстаўленае ў чашку, ужываюць адну сагнутую трубку (рыс. 159 a). Гэта будзе сыфонны барометр. Ён вымагае мераньня двух роўняў: ніжэйшага і вышэйшага, і толькі розьніца паміж імі дае барометрычную вышыню. Такі барометр вымагае многа ртуці і звычайна будуецца ў форме двух шырокіх цыліндраў, злучаных тонкай трубкай (рыс. 159 b).

Неабходнай прыладай пры барометры зьяўляецца тэрмометр, які ўмацовываецца на аправе самога барометра.



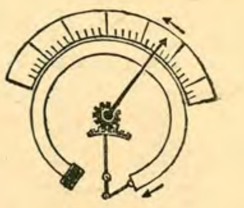
Рыс. 158.



Рыс. 159.

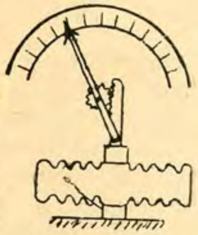
Ртутныя барометры — гэта прылады дарагія і нявыгодныя для пераносу, яны і ўжываюцца толькі

дзеля вельмі точных памераў. У жыцьцёвай практыцы, асабліва каб ведаць: „ці будзе дождж, ці пагода?!“,—ўжываюцца мэталёвыя барометры, якія называюцца такжа анэроідамі. Анэроід Бурдона (Bourdon) (рыс. 160) складаецца з плоскае мэталёвае трубкі, выгнутае ў форме персьценя, з якое выпампована паветра. Дзеля таго, што вонкавая вярхніна па абаду персьценя вялікшая за ўнутраную, напор атмосфэры на трубку будзе трубку сьціскаць. Пры паменшаньні ціску персьцень будзе пашырацца. Адзін канец яго прымацаваны да аправы, а другі дае рух стрэлцы, якая ходзіць па дошчачцы з рыскамі. Анэроіды градуюцца паводле ртутных барометраў.



Рыс. 160.

Анэроід Віді (Vidi) (рыс. 161) складаецца з скрынкі, у якой верхняя і ісподняя сьценкі зроблены з хваляванае бляхі і якая зьмяшчае разрэджанае паветра. Пад ціскам атмосфэры сьценка больш або менш угібаецца ў сярэдзіну скрынкі. Гэтыя рухі праз адпаведныя дручкі перадаюцца стрэлцы, якая ходзіць уздоўж градуаванае дошчачкі.



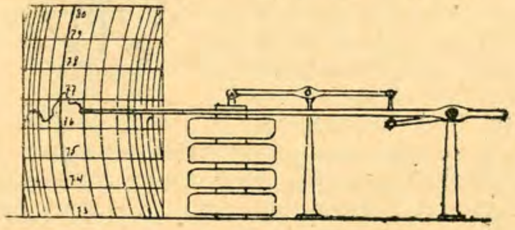
Рыс. 161.

Дзеля таго, што атмосфэрны ціск мае ўплыў на многа зьявішчаў у межах фізыкі, у фізычнай лябораторыі прысутнасьць барометра неабходна. Паміж зьявішчамі прыроды, на якія мае ўплыў атмосфэрны ціск, найцікавей для чалавека стан пагоды. І вось, цэнтральная мэтэоролёгічная станцыя зьбірае баромэтрычныя даныя з вялікшага абшару зямлі, а такжа прысыланыя па тэлеграфу такія-ж даныя з усяго сьвету, і па зьменах ціску атмосфэры ўва ўсім сьвеце судзіць аб магчымай пагодзе. Трэба агулам адзначыць, што вышыня барометрычнага стоўбіка сама па сабе ніколі не дае права судзіць аб пагодзе; толькі надта шыбкія і пры тым значныя зьмены барометрычнага ціску паказваюць на спадзяваную зьмену пагоды; вось-жа тыя надпісы, што спатыкаюцца на барометрах і анэроідах, як: „суш, пагода, зьменна, дождж, бура“ і г. д. не павінны прымацца за пэўныя і маючыя сур‘ёзнае значэньне.

Мы ведаем, што ціск паветра тым меншы, чым вышэй над роўнем мора мы падымемся. І вось для вышыняў недалёкіх ад роўня зямлі можна прыняць, што на кожныя 10,5 m. вышыні барометр паказвае на 1 mm меншы ціск. На гэтым аснована мераньне вышыні гор. Мераюць атмосфэрны ціск адначасна на гары і пры яе аснове. Спэцыяльна датарнаваныя барометры або анэроіды ўжываюцца для балёнаў і аэроплянӑў: звычайна яны градуаваны так, што паказваюць адразу вышыню лёту.

Рыс. 162 паказвае асновы будовы барографа, г. зн. анэроіда, які ўвесь час запісвае велічыню атмосфэрнага ціску. Некалькі анэроідных скрынак, пастаўленых адна на адну, каб павялічыць рух стрэлкі, злучаны сыстэмай дручкоў з стрэлкай, якая мае на сваім канцы невысыхаючае пера. Яно датыкаецца да вярхніны цыліндра, які абложаны паперай і знаходзіцца ў руху дзякуючы мэханізму гадзіньніка. На паперы нарысаваны папярэчныя лініі—гэта коордынаты часу (дні, гадзіны), і лініі ўдоўжкі, раўналежныя да стрэлкі, — гэта коордынаты баромэтрычнага ціску. І вось на гэтай паперы, якую зьмяняюць раз у тыдзень, мы дастаём дыаграмы атмосфэрнага ціску.

95. Напор жыжкі на целы, зьмешчаныя ў ёй. Закон Архімэда. Корак, пушчаны свабодна ў вадзе пад яе роўнем, шпарка выплывае наверх. Калі падвешанае да зраўнаважаных вагоў цела зьмесьцім у жыжку, то шалька, да якое цела падвешана, пойдзе ўверх. Каб дастаць ізноў раўнавагу, трэба зьняць часьць гірак з другое шалькі. Спасьцерагаем, што жыжка робіць на зьмешчаныя ў ёй целы напор, скіраваны ўверх. Тое самае заўважаем і ў газах. Балён або дзіцячы балёнік, напоўнены водарам, або сьвяцільным газам, ляціць уверх так сама, як выплывае з вады корак.



Рыс. 162.

Вышэй мы ўжо даведаліся, што ў кожным плыўкім ці газавым целе ў асобным пункце істнуе аднолькавы ўва ўсе бакі ціск; гэтая ўласьцівасьць завецца гідростатычным ціскам. Ціск гэты залежыць ад глыбіні пункту. З гэтага ясна, што і ўся вярхніна зьмешчанага ў жыжцы або ў газе цела знаходзіцца пад гэтым ціскам. А як ісподняя часьць цела знаходзіцца ніжэй, то напор на яе будзе перамагаць напор на верхнюю часьць вярхніны,—і гэтым тлумачацца апісаныя зьявішчы.

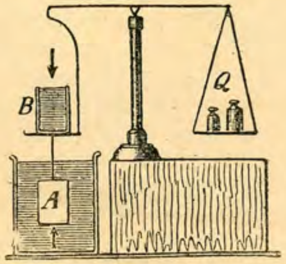
Зьмесьцім у жыжцы цела М (рыс. 163). Яно будзе атрымліваць нейкі напор ад акружаючае жыжкі. Выабразім сабе, што заместа цела М у яго абыйме знаходзіцца тая самая жыжка, якая акружае цела. Гэтая жыжка М будзе ў раўнавазе, ня будзе ані падымацца, ані апускацца. Алеж яна мае нейкі цяжар, на яе дзее сіла прыцяганьня зямлі; значыцца, гэтая сіла і раўнаважыццца сілай напору. Інакш кажучы, напор на жыжку ў абыйме М будзе роўны яе цяжару, але скіраваны ў процілежны бок, г. зн. у стоцьным кірунку ўверх.

Рыс. 163.

Відавочна, што такі самы напор будзе дзеянь і на ўсякае другое цела ў абыйме М. Такое-ж разважаньне мы маглі-б паўтарыць і для газаў. Значыць, мы можам сказаць, што напор уверх, якому падлягае ўсякае цела, зьмешчанае ў плыўкім або газавым целе, раўняецца цяжару гэтага плыўкога або газавага цела ў абыйме, роўным абыйму зьмешчанага цела.

Гэты закон быў сформуляваны ў III сталецьці да Хрыста вялікім мысьліцелем Архімэдам.

Возьмем два цыліндры: А і В (рыс. 164), ды такія, каб А ўваходзіў шчыльна ў В, і каб абыймо цыліндра А раўнялася як мага тачней зьместу цыліндра В. Пусты цыліндр В паставім на шальку вагоў, а цыліндр А падвесім да гэтае самае шалькі. Зраўнаважым іх гіркамі на другой шальцы. Пасьля гэтага падставім пад шальку з цыліндрамі судзіну з вадой так, каб цыліндр А ўвесь апынуўся ў вадзе. Тады шалька з цыліндрамі пойдзе ўверх. Калі-ж цыліндр В асьцярожна напоўнім вадой, шалькі ізноў вернуцца да раўнавагі.

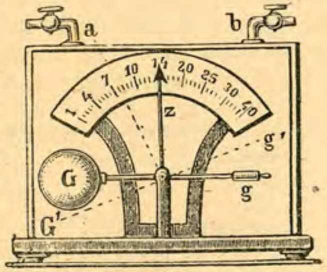


Рыс. 164.

Зробім гэты дасьлед яшчэ інакш. Судзіну з вадой паставім на аднэй шальцы, а на другой паставім цыліндр В і столькі гірак, каб вагі прыйшлі ў раўнавагу. Калі цяпер у судзіну з вадой зьмесьцім цыліндр А, то гэтая шалька пойдзе зараз жа ўніз. Значыць, тут выяўляецца процідзейнасьць з боку зьмешчанаго ў ваду цела. Цела атрымлівае напор ад жыжкі, і таму само цісьне на яе, і сіла напору цела на жыжку будзе тая самая, як жыжкі на цела. Запраўды, даволі напоўніць цыліндр В вадой, і вагі прымуць ізноў палажэньне раўнавагі.

Усё вышэй казанае адносіцца да целаў усякае формы, да жыжак і газаў усякае гушчыні і безадносна да іх іншых уласьцівасьцей. Усякая жыжка, усякі газ мае цяжар, і таму ў ім ёсьць розьніца ў ціску ў залежнасьці ад глыбіні.

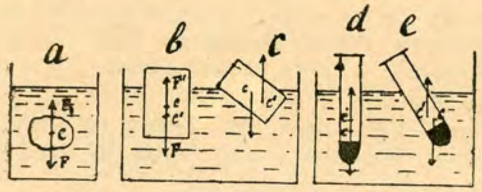
Мы ўжо разглядалі сілу цяжару цела, як раўнадзейную, пераходзячую цераз пункт у целе, называны асяродкам цяжару. Так сама і напор жыжкі на цела можам разглядаць, як раўнадзейную сілу, якая пераходзіць цераз асяродак цяжару жыжкі ў абыйме цела. Гэты пункт назавём тады асяродкам гідростастычнага напору на зьмешчанае ў жыжку цела.



Рыс. 165.

Зьвернем увагу вось на якое зьявішча. Рыс. 165 прадстаўляе прыладу, якая завецца бароскоп. На невялікім насіле насаджаны заместа шалек з аднаго боку парожняя куля, з якой выпампавана паветра, з другога боку гірка, якая раўнаважыць кулю. Уся прылада зьмяшчаецца пад шкляным клёшам, які можа быць злучаны з паветранай помпай. І вось, калі выпампуем з клёша паветра, то куля пачне пераважаць. Ясна, што куля мае вялікшую масу за гірку. Запраўды, на дзьве гэтыя масы, калі яны акружаны паветрам, дзеюць чатыры сілы: 1) цяжар кулі; 2) цяжар гіркі,—абедзьве скіраваныя стацьма ўніз; 3) напор паветра на кулю і 4) напор паветра на гірку, гэтыя дзьве скіраваныя стацьма ўверх. Ясна, што напор на кулю будзе вялікшы за напор на гірку, бо абыймо кулі вялікшае. Калі выпампуем паветра, то абедзьве апошнія няроўныя сілы перастаюць дзеяць.

Гэты дасьлед пацьвярджае, што закон Архімэда адносіцца і да газаў. Апроч таго, робім з яго вывад, што важаньне на вагах дае тым вялікшую няточнасьць, чым болей розьняцца паміж сабой абыймо важанага цела і абыймо гірак. Запраўды, і важанае цела і гіркі трацяць у паветры гэтулькі цяжару, сколькі важыць паветра ў іх абыйме. Дзеля гэтага пры точных памерах трэба ўвадзіць у рэзультаты важаньня папраўку, якая завецца зьвядзеньнем цяжару да пустаты.



Рыс. 166.

96. Плаваньне целаў. Закон Архімэда выясьняе нам, чаму адны целы плаваюць па вярхніне жыжкі, другія тонуць, інакш кажучы, адны ападаюць на дно жыжкі, другія ўзьнімаюцца на ровень яе. Няхай у судзіне (рыс. 166 а) зьмешчана аднароднае цела M. Асяродак яго цяжару знаходзіцца ў пункце C. У гэтым пункце прыложана і сіла цяжару цела F і, калі яно аднародна, то і сіла напору жыжкі F_1. У залежнасьці ад таго, ці $F > F_1$, ці $F = F_1$, ці $F < F_1$, цела будзе або тануць, або трымацца на дадзеным роўні, або будзе выплываць уверх. Сілы F і F_1 можам выразіць множывам гушчыні d і d_1, абыйма v і прысьпеху g. Тады пры раўнавазе цела ў жыжцы будзем мець

$$F = F_1 \text{ або } dvg = d_1vg,$$

скуль

$$d = d_1,$$

гэта значыць, што для раўнавагі цела, зьмешчанага ў жыжцы, патрэбна, каб гушчыня цела раўнялася гушчыні жыжкі. Калі $d > d_1$, то цела тонець; калі $d < d_1$, дык цела выплывае. У гэтым апошнім прыпадку, калі цела вынырае з жыжкі, у нейкай хвіліне наступае раўнавага, і цела плавае, астаючыся толькі часткай сваёй у жыжцы. Калі цела плавае ў палажэньні, як на рыс. 166b, то на асяродак яго цяжару C дзее сіла цяжару F, скіраваная ўніз, а на асяродак цяжару выціснутае жыжкі C_1—сіла F_1, скіраваная ўверх. Яны раўнаважацца, бо яны роўны, ляжаць на аднэй простай лініі і скіраваны ў процілежныя бакі. Запраўды, калі-б пункты C і C_1 не ляжалі на простай, яны далі бы пару сілаў (рыс. 166 с), якая надала бы целу рух. Шкляная прабірка з налітай на дно ртуцьцю, або пасыпаным у яе шротам будзе мець асяродак цяжару ў пукце C, а асяродкам цяжару выціснутае жыжкі будзе C_1. І вось прабірка, пастаўленая ў палажэньне, як на рыс. 166 е, пахістаўшыся ў адзін і другі бок, займе палажэньне, як на рыс. 166 d. Значыць, каб надаць плаваючаму целу стойкую раўнавагу, трэба так зрабіць, каб асяродак яго цяжару быў ніжэй за асяродак цяжару выціснутае жыжкі. У караблі, у лодцы кладуць спэцыяльны баляст унізе, каб панізіць іх асяродак цяжару і гэтым ня даць ім перавярнуцца.

97. Знаход адноснае гушчыні целаў, апіраючыся на законе Архімэда. Арэомэтры. Зважым нейкае цьвёрдае цела і дастанем яго масу m. Пасьля зважым тое-ж цела ў вадзе, дзе цяжар яго будзе m_1. Тады маса выціснутае вады ў абыйме цела будзе $m—m_1$, і гушчыня цела адносна да вады пры тэмпературы важаньня будзе $m: (m—m_1)$. Калі тэмпэратура важаньня была 4^0C, то гэтыя адносіны далі-б запраўдную адносную гушчыню цела (гл. стр. 11). Калі-ж тэмпэратура вады іншая, то шуканая гушчыня будзе:

$$d = \frac{m}{m—m_1} d_1 \ldots\ldots\ldots\ldots (1).$$

гдзе d_1 ёсьць адносная гушчыня вады пры дадзенай тэмпэратуры да вады пры 4^0 і ціску 760 mm. Гэтую велічыню знаходзім у табліцах.

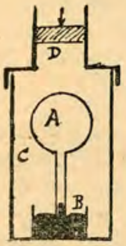
Зьмесьцім цяпер нашае цела ў іншай жыжцы, пр. у сьпірце. Дастанем цяжар цела m_2. Тады маса сьпірту ў абыйме цела будзе $m—m_2$, і адносную гушчыню сьпірту можам дастаць з формулы:

$$d = \frac{m—m_1}{m—m_2} \ldots\ldots\ldots\ldots (2).$$


Рыс 167.

У ляблраторнай практыцы і ў тэхніцы часта ўжываюцца арэомэтры, якія служаць дзеля азначэньня адноснае гушчыні жыжак. Арэомэтр складаецца з шклянае трубкі, пашыранае і запаянае ўнізе і маючае ў сабе нейкі баляст (ртуць або шрот). Верхняя яе частка, больш тонкая, мае рыскі, ля якіх звычайна стаўляюць лічбы адноснае гушчыні (рыс. 167). Звычайна арэомэтр мае тэрмомэтр, каб мераць адначасна тэмпэратуру жыжкі. У тэхніцы ўжываецца цэлы рад спэцыяльных арэомэтраў, якія называюцца: сьпіртамер— для сьпірту, ляктомэтр—для малака і г. д.

98. Сьціськальнасьць і расьцяжнасьць плыўкіх целаў. Ужо мы казалі аб тым, што плыўкія целы мала паддаюцца сьціску. Дасьледы, робленыя з жыжкай у цыліндры, якую сьціскае таўкач, могуць выклікаць закід, што жыжка ня сьціскаецца, а толькі ад напору, які робіцца таўкачом, павялічваецца зьмест цыліндра такім чынам, што сьценкі цыліндра выпучаваюцца. Дзеля гэтага зроблены гэткі дасьлед на прыладзе, якая называецца піэзомэтрам (Эрстэд, Oerstedt) (рыс. 168). Шкляная судзіна A, напоўненая жыжкай, узятай для пробы, мае тонкую адкрытую трубку, якая зьмяшчаецца ў судзіне B з ртуцьцю. Усё гэта ставіцца ў моцную шкляную судзіну C, якая напоўнена вадой. Таўкач D передае вадзе ціск, які можа быць даволі вялікі. Цераз ваду ціск перадаецца ртуці і далей жыжцы ў судзіне A. Пры гэтым ртуць падымаецца ў трубцы судзіны A. Пашырэньне сьценак судзіны A тут саўсім выключаецца, бо на іх і знутра і звонку дзеець той самы ціск. Значыць, калі стоўбік ртуці ў трубцы падымаецца, то гэта ёсьць бязспрэчны довад, што жыжка — сьціскальна. Гэтай прыладай зроблены памеры сьціскальнасьці розных жыжак, і знойдзена, што сьпірт мае вялікшую сьціскальнасьць, чым вада, этэр яшчэ вялікшую, а ртуць у дзесяцера з лішкам разоў меней сьціскальна за ваду. Вада-ж пры павялічэньні ціску на 1 атмосфэру сьціскаецца на 1 : 20000 свайго пачатнага абыйма.

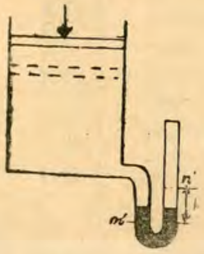


Рыс. 168.

Яшчэ менш за сьціскальнасьць паддаецца дасьледам расьцяжнасьць жыжак, г. зн. павялічэньне абыйма пад уплывам расьцягаючых сілаў. Возьмем шкляную судзіну з тонкай трубкай на канцы (рыс. 169). Напоўнім яе вадой, нагрэем да каля 40^0C і запаяем, але так, каб тамака не асталося ані найменшае бурбалкі паветра. Тады, не страсаючы, астудзім яе паволі да пакаёвае тэмпэратуры. Увесь час вада будзе шчыльна прылягаць да сьценак судзіны. Але-ж мы ведаем, што вада, як і ўсе іншыя целы, пры студжэньні корчыцца, г. зн. у пакаёвай тэмпэратуры павінна займаць меншае абыймо, як пры 40^0. Вось-жа, пакуль яна займае увесь зьмест судзіны, то гэта значыць, што яна расьцягнулася. Даволі зьлёгка ўстрэсьці, каб у судзіне сформаваўся свабодны ровень вады, якая ўжо ня будзе напаўняць усяго зьместу судзіны. Велічыня бурбалкі вадзяное пары дае магчымасьць судзіць, на сколькі абыймо вады было раней вялікшым.

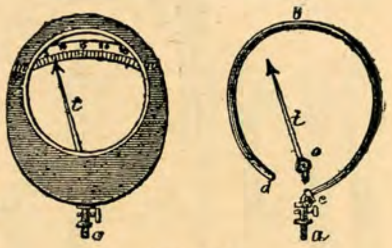
Рыс. 169.

99. Сьціскальнасьць газаў. Манометры. Газы, як гэта ўжо ведаем, шмат больш сьціскальны за жыжкі. Возьмем судзіну M (рыс. 170), да якое адным канцом прымацавана шкляная трубка ў форме літэры U. У судзіне знаходзіцца пад таўкачом газ, а ў трубцы ртуць. Калі ў абодвух каленах трубкі ртуць стаіць на тым самым роўні, гэта значыць, што ціск газу ў судзіне раўнаважыцца ціскам атмосфэры. Калі ўвапхнём таўкач у судзіну, то згусьцім газ, і ў трубцы ртуць зьменіць сваё палажэньне: ровень яе ў левым калене апусьціцца (прыкл. да m′), а ў правым падымецца (прыкл. да n′). Тады ціск у судзіне будзе ўжо раўнаважыцца сумай ціску атмосфэры і ціску стоўбіка ртуці h. Значыць, мерай павялічэньня ціску ў судзіне можа быць розьніца роўняў ртуці ў абодвух каленах трубкі. Калі, прыкл., $h = 38$ cm, дык кажам, што ціск у газе павялічыўся на $^1/_2$ атмосфэры.



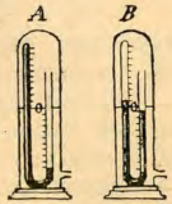
Рыс. 170

На гэтых асновах будуюцца прылады для мераньня ціску; яны завуцца манометрамі. Манометры бываюць рознае конструкцыі: ртутныя і мэталёвыя. Рыс. 171 прадстаўляе мэталёвы манометр для вялікага ціску. Выгнутую трубку цераз *a* злучаюць з судзінай з газам. З прычыны розьніцы ціску вонкавага і ўнутранага трубка зьмяняе сваю форму, г. зн. скручваецца або раскручваецца, і гэты рух канца трубкі перадаецца стрэлцы, якая рухаецца па градуаванай шкале. Вернемся яшчэ да рысунку 170; калі падымем таўкач вышэй за пачатнае палажэньне, то газ пашырыцца, аб чым ужо было казана раней, і ртуць у левым калене падымецца, а ў правым — ападзе. І тут ізноў можам за меру ціску ўзяць розьніцу роўняў ртуці (h). Гэта будзе значыць, што ціск газу менш за ціск атмосфэры на велічыню h.



Рыс. 171.

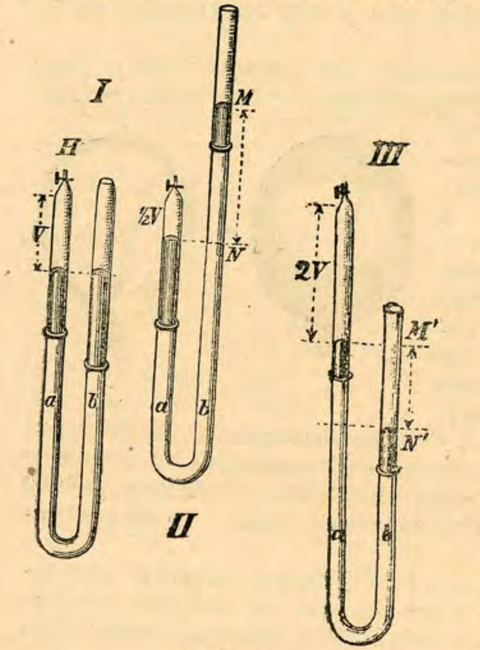
Існуюць таксама прылады, якія безпасярэдна мераюць ціск ніжэйшы за атмосфэрны (рыс. 172). Такія манометры завуцца вакуумэтрамі (vacuum—па латыні пустата). Уся прылада, якая складаецца з трубкі ў форме U і з дошчачкі з падзелкамі, знаходзіцца пад шкляным клёшам. Левае калена запаяна, правае адкрытае. У левым поўна наліта ртуці—так, каб ня было паветра. Злучаем судзіну, у якой ёсьць газ, з клёшам і тады глядзім, якая будзе розьніца роўняў у каленах трубкі. Ясна, што розьніца роўняў дае ў цэнтымэтрах, або мілімэтрах вышыню стоўбіка ртуці, раўнаважную ціску газу.



Рыс. 172.

100. Закон Бойль-Мар'ёта (Boyle-Mariotte).

Каб знайсьці залежнасьць паміж зьменамі абыйма і ціскам газу, скарыстаемся прыладай, якая паказана на рыс. 173. Дзьве шкляныя трубкі, у якіх адна мае на адным канцы кран, які шчыльна яе закрывае,—злучаны каўчуковай трубкай. У трубкі наліта ртуць. Калі кран будзе адкрыты, дык ціск у абодвух каленах будзе аднолькавы, і вышыня роўняў ртуці ў іх будзе тая ж самая. Калі зачынім кран і будзем падымаць або апускаць правае калена адносна да левага, то роўні ртуці будуць зьмяняць сваё палажэньне ў абодвух каленах. У зьвязку з гэтым будзе зьмяняцца абыймо паветра ў левым калене і ціск на гэтае паветра, які будзем мерыць розьніцай роўняў ртуці. Палажэньне I: ціск на абодва роўні ртуці аднолькавы, абыймо паветра роўна V. Палажэньне II: ціск на роўні N раўняецца ціску атмосфэры плюс ціск стоўбіка ртуці MN; калі MN будзе раўняцца вышыні баромэтрычнага стоўбіка ў дадзеную хвіліну (што мы спраўджаем па баромэтру), то ціск на паветра ў калене A будзе раўняцца 2 атмосфэрам. У тым самым часе абыймо паветра будзе раўняцца $^1/_2$V. Калі мы падымем калена b яшчэ вышэй—так, каб стоўбік MN быў роўны падвойнай вышыні баромэтрычнага стоўбіка, то ціск на паветра будзе 3 атмосфэры, і ў гэтым самым часе абыймо паветра будзе $^1/_3$V і г. д. Пры 4, 5, 6 і г. д. атм. ціску абыймо паветра будзе ройна $^1/_4$, $^1/_5$, $^1/_6$ і г. д. абыйма пры 1-й атмосфэры. Гэтую залежнасьць мы знаходзім таксама, калі памяншаем ціск на паветра. Панізім калена b так, каб стоўбік M′N′ (палажэньне III) раўняўся $^1/_2$ баромэтрычнага стоўбіка; у гэтым прыпадку ціск на паветра будзе раўняцца ціску атмосферы бяз ціску стоўбіка M′N′ = $^1/_2$ атм. Тады абыймо паветра будзе 2V. Мы павінны заўважыць, што за ўвесь час дасьледу тэмпэратура паветра не павінна зьмяняцца.



Рыс. 173.

Які-бы газ мы ні ўзялі дзеля дасьледаў: водар, гэль, тлён і інш., усе яны даюць тыя самыя рэзультаты. Усе яны заховуюць пропорцыянальнасьць паміж ціскам і абыймом.

Закон гэты, адкрыты адначасна, але паасобна вучонымі Бойлем і Мар‘ётам у другой палове XVII сталецьця, завецца законам Бойль-Мар‘ёта і формулуецца вось як: пры нязьменнай тэмпэратуры ціск газу адваротна пропорцыянальны да яго абыйма.

Абазначыўшы ціск нейкага газу P_1, а абыймо v_1 і пры тэй самай тэмпэратуры зьменены ціск яго p_2 і новае яго абыймо v_2, атрымаем:

$$p_1 : p_2 = v_2 : v_1 \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (1)$$

скуль

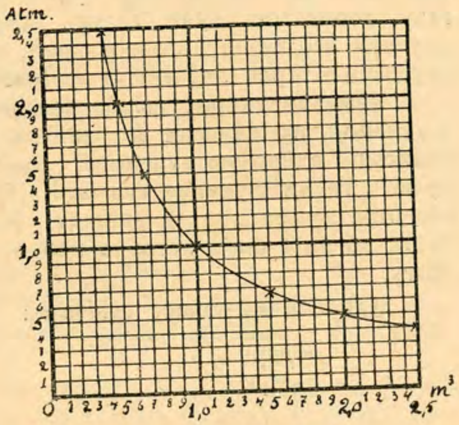
$$v_1 p_1 = v_2 p_2 \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (2).$$

Значыць, як-бы мы не зьмянялі ціск і абыймо дадзенае скількасьці газу, множыва ціску на абыймо пры тэй самай тэмпэратуры астаецца сталым, што дае нам формулу:

$$vp = const \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (3).$$

і закон Бойль-Мар‘ёта выразім тады гэтак: пры нязьменнай тэмпэратуры множыва абыйма газу на ціск ёсьць велічыня сталая.

Калі рэзультаты дасьледаў выразім дыаграмай, адкладаючы абыймо на восі X-аў, а адпаведныя ціскі на восі Y-аў, то дастанем крывую, як на рыс. 174.

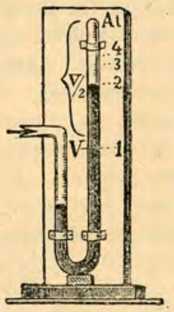


Рыс. 174.

Рыс. 175 прадстаўляе ртутны маномэтр, аснованы на законе Бойль-Мар’ёта. Чым вялікшы ціск у левым калене, тым больш зьмяншаецца абыймо газу ў правым зачыненым калене.

Пазьнейшыя і больш точныя дасьледы паказалі, што гэтыя дужа простыя адносіны справядлівы толькі з нейкім прыбліжэньнем. Газы не саўсім точна заховуюць іх, і асабліва значныя адступленьні маюць месца пры вялікіх цісках. Пры гэтым заўважана, што паасобныя газы, як тлён, водар, гэль, маюць розныя вялічыні адхіленьня ад гэтага закону.

Дзеля гэтага вучоныя прынялі, што закон Бойль-Мар’ёта саўсім точна выражае ўласьцівасьці газу, якога запраўды мы ня знаем і які названы ідэальным газам. Знаныя газы, як водар, тлён, гэль, азот, мала адступаюць ад гэтага закону; дык вось, калі гутарка йдзе аб практычных мэтах, можам прымаць, быццам яны адпавядаюць закону Бойль-Мар’ёта.



Рыс. 175.

101. Гушчыня газаў. Вышыня атмосфэры. Вышэйадзначаныя зьмены ў газах у залежнасьці ад ціску, а таксама і тыя зьмены, якія вызывае зьмена тэмпэратуры (аб чым будзе гутарка ніжэй), прымусілі ўвясьці ўмовы, пры якім ціску і якой тэмпэратуры мае мерацца гушчыня газаў. І вось прынята, што гушчыня газаў мераецца, лепш кажучы, раўнуецца да гушчыні, прынятае за адзінку, пры ціску роўным нормальнаму атмосфэрнаму ціску 760 mm стоўбіка ртуці пры тэмпэратуры 0^0 C (што і адзначана на стр. 12).

Мераньне гушчыні газаў выпаўняецца спосабам важаньня (гл. стр. 10, 11 і 12). З кулі, звычайна шклянае, выпампоўваюць акуратна паветра, зачыняюць кран і важаць. Затым зьмяшчаюць кулю ў ваду з таючым лёдам, адчыняюць кран і чакаюць, каб і куля і паветра астудзіліся да 0⁰ C; тады зачыняюць кран, асушаюць вярхніну кулі і ізноў важаць. Розьніца рэзультатаў 1-га і 2-га важаньня дае цяжар паветра ў зьмесьце кулі пры тым ціску атмосфэры, які паказаваў у часе студжэньня баромэтр. Калі гэты ціск ня быў роўны 760 mm, то можам увесьці папраўку абыйма па закону Бойль-Мар'ёта. Зьмест кулі даведаваемся наперад. Ведаючы цяжар паветра і яго абыймо, знаходзім яго абсолютную гушчыню. Каб знайсьці гушчыню іншага газу, робім тое самае, толькі, заместа свабоднага адчыненьня крану, злучаем яго перш з рэзэрвуарам, які зьмяшчае газ, а пасьля пры студжэньні кран злучаем з манометрам, які пакажа ціск.

Звычайна карыстаюцца велічынёй не абсолютнае гушчыні газу, а гушчыні яго адносна да паветра або водару (радзей да вады). Каб знайсьці адносную гушчыню, даволі зважыць пустую кулю, затым кулю з газам шуканае гушчыні і ўрэшце напоўненую газам, якога гушчыня прымаецца за адзінку. Ясна, што варункі ціску і тэмпэратуры, аб якіх была гутарка раней, павінны быць і тут прыняты пад увагу.

Адносна да водару гушчыня:

водару	1	азоту	13,92
тлёну	15,91	паветра . . .	14,40.

Гушчыня паветра на розных вышынях над зямлёй розная і тым меншая, чым далей ад зямлі. Таму няма магчымасьці азначыць, як тоўстым пластом акутавае зямлю паветра. „Падаючыя зоркі“ (гэта ёсьць дробныя целы, якія спатыкаюцца з зямлёй на сваёй дарозе ў прасторы) загараюцца ад церця аб паветра, і тады можна аблічыць прыблізна вышыню, дзе пачынаецца паветра. Гэтая вышыня раўняецца каля 500 Km. Чалавек сам пазнаў акеан акружаючага нас паветра на вельмі невялікай вышыні. Найвышэйшыя ўзлёты дасяглі—і то з небясьпекай для жыцьця—11 Km. Вышэйшыя сфэры да 30 Km. пазнаны пры падмозе гэтак званых балёнаў-зонд. Гэта невялікія балёны, якія падымаюць толькі спэцыяльныя самазапісваючыя прылады, як барографы. Балён на нейкай вышыні з прычыны пружкасьці газу разрываецца; тады раскрываецца парашут, і прылады падаюць на зямлю. Токі ў паветры адносяць іх, ведама, далёка, і шмат іх гіне, але, калі яны пападуць у рукі больш менш інтэлігентных людзей, то гэтыя апошнія дастаўляюць іх па напісанаму на прыладах адрэсу.

102. Коэфіцыент упругасьці газаў. Нейкая скольказьць газу пад ціскам p мае абыймо v. Прырост ціску, які назавем Δp (пры нязьменнай тэмпэратуры), вызывае меншаньне абыйма: — Δv; гэта значыць, што пад ціскам p + Δp абыймо будзе v — Δv.

Па закону Бойль-Мар'ёта напішам:

$$vp = (v - \Delta v)\ (p + \Delta p) = vp - p\Delta v + v\Delta p - \Delta v\Delta p\ .\ .\ .\ .\ (1).$$

Калі Δp і, значыць, Δv будуць вялічынямі вельмі малымі, то іх множыва ΔvΔp будзе так малой велічынёй адносна да іншых вялічынь у гэтым раўнаваньні, што яго можна адкінуць; тады:

$$vp - vp = v\Delta p - p\Delta v;\ \text{або}\ \ v\Delta p = p\Delta v,\ \text{скуль}$$

$$\frac{\Delta p}{\frac{\Delta v}{v}} = p\ .\ .\ .\ .\ \ \ .\ .\ .\ .\ .\ (2)$$

Назоўнік гэтага дробу $\frac{\Delta v}{v}$ ёсьць адносіны прыросту абыйма да пачатнага абыйма, г. зн. ёсьць мера зробленае дэформацыі (гл. § 87), а Δp ёсьць як раз ціск, які зрабіў гэтую дэформацыю. Значыць, дзель іх $\frac{\Delta p}{\frac{\Delta v}{v}}$ ёсьць *коэфіцыент упругасьці абыйма*.

Як бачым з (2), гэты коэфіцыент раўняецца пачатнаму ціску газу; значыць, ён ня ёсьць велічыня сталая, а зьмяняецца ўвесь час з ціскам. І чым больш ужо сьціснуты газ, тым трудней яго сьціскаць далей.

Калі газ вернецца да пачатнага ціску p, то і абыймо яго будзе пачатным = v. Значыць, кожны газ ёсьць цела ідэальна ўпругае. Мы павінны заўважыць, што гутарка тут ідзе толькі аб упругасьці абыйма, газы не захоўваюць ніякае формы, і ўпругасьці формы ў іх няма.

103. Упругасьць і ціск газавых мешанінаў. Калі ў закрытую судзіну, зьмяшчаючую нейкі газ, пусьцім іншы газ, то газы хутка зьмяшаюцца гэтак добра, што будуць прадстаўляць аднародную мешаніну. Паветра, як ведама, ёсьць мешаніна цэлага раду газаў: азоту (каля 79%), тлёну (каля 21%), затым у невялікіх скольказьцях аргону, двутлёністага вугля, вадзяное пары, у яшчэ меншых скольказьцях ам'яку, гэлю, нэону, крыптону, ксэнону. Англійскі вучоны Дальтон (Dalton) адкрыў залежнасьць ціску мешаніны ад яе складу. *Ціск мешаніны газаў у дадзенай судзіне раўняецца суме ціскаў, якія даваў бы кожны газ у тэй самай судзіне, калі б быў узяты ў тэй жа скольказьці і калі б іншых газаў у судзіне ня было.*

Калі ў пустую судзіну, зьмест якое раўняецца 10 літрам, пусьцім 1 літр тлёну пад ціскам 1 атм., то ціск яго ў судзіне будзе 0,1 атм. Калі далей пусьцім туды-ж 1 літр азоту, так сама пад ціскам 1 атм., то манометр пакажа ціск 0,2 атм. Гэта значыць, што ціск тлёну і ціск азоту склаліся, і мешаніна мае ціск, роўны арытмэтычнай суме ціскаў паасобных газаў.

ЗАДАЧЫ.

64. Вышыня баромэтрычнага стоўбіка на роўні зямлі ў нейкую хвіліну=758 mm, а ў тым самым часе на найвышэйшым паверху дому раўняецца 756,8 mm. Якая прыблізная вышыня дому?

65. У адно калена злучаных судзінаў далілі сьпірту, з прычыны чаго ртуць, што была там, паднялася у другім калене на 4 cm. Якая прыблізная вышыня стоўбіка далітага сьпірту?

66. Гушчыня дадзенага кавалка корку=0,25. Корак мае масу 2 gr. і прывязаны на нітцы да дна судзіны з вадой так, што трымаецца на глыбіні 10 cm пад роўнем воды. Аблічыць нацяжэньне ніткі.

67. Зрабіць праект гідраўлічнага прэсу, які тэорэтычна (бяз церцяў) павялічаваў-бы сілу ў 250 разоў.

68. Які прыблізны ціск у ртуці на глыбіні 76 cm пад роўнем яе?

69. Які ціск у акеане на глыбіні 10 km., калі абсолютную гушчыню вады прымем $d = 1{,}026$ gr/cm³.

70. Выразіць у сыстэме CGS ціск атмосфэры, калі баромэтр паказвае 75 cm. пры 18°C (гл. стр. 12) і $g = 980$ cm/sec².

71. Як пераканацца, ці баромэтрычная трубка ня мае ў сабе паветра?

72. Драўлянае бервяно, абыйма 400 cm³ і гушчыні 0,6, плавае ў вадзе. Знайсьці абыймо часьці яго пад роўнем вады.

73. Над жыжкай, гушчыня якое d_1 (1,8), наліта жыжка гушчынёй d_2 (1,2). На роўні іх сутыку плавае цела гушчынёй d (1,5). Знайсьці адносіны абыйма цела ў кожнай жыжцы.

74. Калі неаднароднае цела трымаецца ў жыжцы на ўсякай глыбіні? Ці ў усякім палажэньні будзе цела захоўваць раўнавагу, г. зн. ці яно ня будзе мець руху, і калі наступіць раўнавага?

75. Падводная лодка мае масу 50 тонн і абыймо 60 m³. Колькі вады трэба напампаваць у яе рэзэрвуары, каб яна апусьцілася ніжэй роўня вады?

76. Аблічыць велічыню папраўкі на пустату пры важаньні, прымаючы, што важыцца цела масай m і гушчынёй d пры помачы гірак, якія маюць масу m_1 і гушчыню d, а гушчыня паветра δ.

77. Ртутны манометр паказвае ціск 12 mm. Які быў бы стоўбік у вадзяным манометры? Што трэба ведаць, каб аблічэньне было точнае?

78. У дзьвюх кулях, радыусы якіх роўны 80 cm і 20 cm, знаходзяцца аднолькавыя масы водара пры тэй самай тэмпэратуры. Знайсьці адносіны ціскаў газу ў кулях.

79. Газ пад ціскам 70 cm ртуці мае абыймо 48 cm³. Якое абыймо будзе мець газ, калі ціск павялічыцца да 76 cm, але бяз зьмены тэмпэратуры?

80. У цыліндры пад нормальным ціскам знаходзіцца паветра. Адлежнасць таўкача ад дна = 45 cm. Які будзе ціск, калі мы ўвапхнём таўкач на 9 cm у глыб цыліндра, і які будзе ціск, калі мы выцягнем яго на 15 cm уверх?

81. Які ладунак можа падняць напоўнены сьвяцільным газам балён зьместнасьцю 1000 m³, калі гушчыня газу $d = 0{,}0007$ gr/cm³, а абалонка з шнурамі і кошам важыць 60 kg?

82. Якую масу мае паветра, што напаўняе пакой, які мае 5 m шырыні, 6 m даўжыні і 3 m вышыні?

83. Шклянка вышынёй 12 cm апушчана ў ваду ўверх дном і так, што гэтае дно знаходзіцца на роўні вады. Да якое вышыні падымецца вада ў шклянцы?

АДДЗЕЛ III. МОЛЕКУЛЯРНЫЯ СІЛЫ.

104. Паняцьце аб кінэтычнай тэорыі газаў. Розум чалавечы не здаволюецца адкрыцьцем законаў, якія істнуюць у сусьвеце. Яму мала ведаць, што пры аднолькавай тэмпэратуры абыймо газу адваротна пропорцыянальна да ціску. Ён стараецца зразумець, чаму гэта так дзеецца, і вось ён стварае гіпотэзу, г. зн. робіць тыя ці іншыя дапушчэньні,—у гэтым прыпадку аб будове газаў, аб тым, якія гэта часткі складаюць масу газу, як яны захоўвуюцца. На аснове гэтае гіпотэзы ўжо ствараецца тэорыя. Тэорыя пазваляе чалавеку выабражаць запраўдныя зьявішчы ў целах, дае магчымасьць злажыць формулы, на аснове іх зрабіць аблічэньні, якіх з дасьледаў ніколі-б нельга было дастаць. І вось, калі гэтыя аблічэньні будуць пацьверджаны дасьледамі, тэорыя атрымлівае, так сказаць „права грамадзянства“, стаецца падставай для далейшага разьвіцьця навукі.

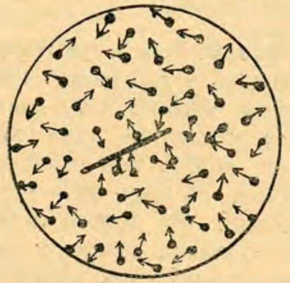
Аднэй з найважнейшых, найбольш цікавай, простай і пекнай зьяўляецца кінэтычная тэорыя газаў, аснованая на законе Бойль-Мар'ёта. Слова „кінэтычны“ ўзята з грэцкае мовы: „кін“— карэнь слова „рух“; самы назоў тэорыі паказвае, што ў аснову тэорыі газаў прыняты рух, рух яго частак—молекул.

Кожны газ складаецца з молекул, значыць, дробных частак матэрыі, якія рухаюцца ў-ва ўсіх кірунках з вялікімі скарасьцямі. Абыймо кожнае молекулы вельмі малое, раўнуючы да адлежнасьцей паміж молекуламі. Абыймо ўсіх молекул у дадзенай сколькасьці газу зьяўляецца толькі невялікай часткай абыйма ўсяго газу, і вось гэтыя матэрыяльныя целы—молекулы рухаюцца ў безматэрыяльным прасторы, бо навакола іх „пустата“. Рухаюцца яны па простым лініям—без парадку, ў якіх-хаця кірунках. З гэтае прычыны яны спатыкаюцца, пры спатканьні ўдараюцца, удараюцца аб сьценкі судзіны, ад удару зьмяняюць кірунак свайго руху і зноў лятуць да новага спатканьня.

Цяпер лёгка зразумець, што ціск газу ёсьць сума ўдараў молекул у тую перашкоду, якую становяць сьценкі судзіны, ці цела, што знаходзіцца ў газе. Цяпер ясна, што, калі абыймо газу паменшае, дык паменшае прастор для свабоднага руху молекул, і за той самы час больш молекул будзе „бомбардаваць“ сьценкі судзіны. Ніжэй даведаемся з дасьледаў, што пры павышэньні тэмпэратуры павялічваецца ціск газаў. Частку кінэтычнае тэорыі газаў прадстаўляе гіпотэза, што тэмпэратура газаў і наагул усіх целаў ёсьць рэзультат меншае або вялікшае скарасьці руху молекул, з якіх складаецца дадзенае цела. Калі скорасьць молекул павялічваецца, павышаецца тэмпэратура, і вялікшы лік молекул „бомбардуе“ сьценкі судзіны. Грубую ілюстрацыю будовы газу дае рыс. 176.

У далейшае развіцьцё кінэтычнае тэорыі газаў паложаны закон Авогадро (Avogadro), італьянскага вучонага. Закон гэты кажа, што ў роўных абыймах розных газаў, калі яны маюць тую самую тэмпэратуру і той самы ціск, колькасьць молекулаў для ўсіх газаў будзе тая самая. Г. зн.: літр водару пры 0^0 C і 760 mm ртутнага стоўбіка зьмяшчае тую самую лічбу молекулаў, як і 1 літр тлёну, ці азоту, ці гэля і г. д. пры тых самых абставінах. Кінэтычная тэорыя газаў дае мэтоды аблічаньня лічбы молекул, і вось аблічана, што ў 1 cm^3 газу пры 0^0 C і ціску 1 атм. гэтая лічба $= 2,8.\ 10^{19}$.

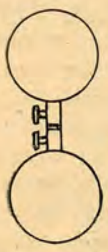
Далей можам аблічыць масу кожнае молекулы для розных газаў. Маса молекулы тлёну $= 5,1\ .\ 10^{-23}$ gr., водару $= 3,2\ .\ 10^{-24}$ gr. Так сама можна аблічыць скорасьць, ведама сярэднюю, молекулы газу. Для тлёну пры 0^0 C яна будзе 462 m/sec, для водара—1839 m/sec.


Рыс. 176.

105. Дыфузія газавых, плыўкіх і цьвёрдых целаў.

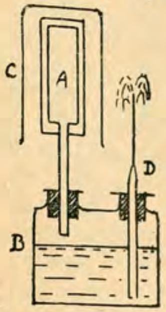
105. Дыфузія газавых, плыўкіх і цьвёрдых целаў. Будова газу, як нам яе рысуе кінэтычная тэорыя газаў, выясьняе нам дужа добра упругасьць газаў. Калі падымем у цыліндры таўкач, молекулы газу, не спатыкаючы перашкоды, безадкладна займуць увесь новы прастор. Калі возьмем дзьве кулі (рыс. 177), адну напоўненую газам, а другую пустую, і злучым адну з аднэй, дык церaз нейкі кароткі час у абедзьвюх знойдзем той самы газ з аднолькавым ціскам. Злучым гэтыя самыя кулі тады, як у верхняй будзе прыкл. водар, а ў ісподняй двутлёністы вугаль, газ у 22 разы цяжэйшы за водар, дык адбудзецца пераход газаў з аднае кулі ў другую. Водар будзе перахадзіць у ісподнюю кулю, а двутлёністы вугаль—у верхнюю, пакуль у абедзьвюх кулях мешаніна гэтых газаў ня станець саўсім аднолькавай.

Гэтае зьявішча мае месца паміж усякімі газамі. Яно аб‘ясьняецца вельмі проста кінэтычнай тэорыяй газаў і завецца дыфузіяй газаў. Дзеля поўнага зьмяшаньня газаў патрэбен час, бо хоць молекулы газаў маюць вялікія скорасьці, але рухаюцца не свабодна, бо на дарозе сваёй спатыкаюць іншыя молекулы і ўвесь час зьмяняюць кірунак скорасьці.


Рыс. 177.

Распаўсюджаньне пахаў ёсьць тая самая дыфузія. Калі ў пакоі адкрыем бутэлечку з пэрфумамі, або ам‘якам, або камфарой, то церaз нейкі час пах разойдзецца па ўсім пакоі.

Газы мяшаюцца і тады, калі паміж імі пастаўлена наздрыстая перапонка. Прыкл. цыліндр A, зроблены з наздрыстае гліны і закрыты коркам, злучым трубкай з шклянай судзінай B з двума гарлякамі, у якой наліта вада (рыс. 178). Цыліндр. A прыкрыем шклянкай C, пад якую пусьцім водар, або сьвяцільны газ; тады з трубкі D пачне біць фонтан. Газ, што мае вялікшую скорасьць, дыфундуе хутчэй, і таму ў A і B ціск будзе вялікшы за атмосфэрны, ды ад гэтага і пачне выбівацца вада.

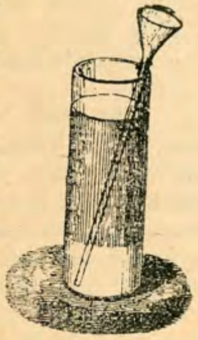


Рыс. 178.

Нальлём у высокі цыліндр (рыс. 179) вады, трохі захварбаванае лякмусам, які дае фіалетавы колер; пасьля церaз лейку з доўгай трубкай дальлём расчыну нейкае кісьлі. Кісьля ад лякмусу дужа хутка захварбуецца ў чырвоны колер, і граніца паміж жыжкамі будзе вельмі выразная. Але церaз нейкі час уся жыжка ў цыліндры захварбуецца ў чырвоны колер. Паміж жыжкамі, значыць, таксама ідзе дыфузія.

Калі на дно судзіны з вадой паложым кавалак мядзянага купарвасу, то церaз нейкі час пабачым, што ўся жыжка захварбавалася ў сіні колер. Тут зноў маем дыфузію цьвёрдага цела з жыжкай. Замест мядзянага купарвасу можам ужыць для дасьледу цукер, соль і інш. Яны таксама дыфундуюць.

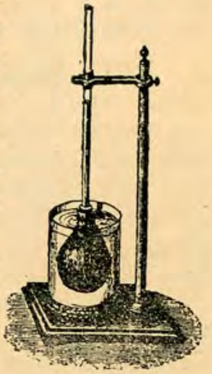
Аднак, ня ўсе целы даюць гэтае зьявішча. У мэталях, прыкладам, дыфузіі не заўважана.


Рыс. 179.

Так сама, як мы сьцьвердзілі дыфузію ў газаў церaз перапонкі, можам яе сьцьвердзіць і ў жыжак і ў цьвёрдых целаў. Возьмем (рыс. 180) пузыр, шчыльна ўвязаны да шклянае трубкі. Напоўнім яго сьпіртам, апусьцім у ваду, і вось пабачым, што пузыр разбухае, і ровень жыжкі ў трубцы падымаецца. Заместа сьпірту возьмем расчыну мядзянага купарвасу, і дастанем тае самае зьявішча. Купарвас будзе дыфундаваць у ваду, а вада ў купарвас, але вада дыфундуе шпарчэй. І вось, па вышыні стоўбіка жыжкі, які падымаецца ў трубцы, мы судзім аб тым, што ў пузыру ціск павялічыўся. Стоўбік гэты будзе павялічвацца толькі да нейкае вышыні, залежнае толькі ад узятых для дасьледу жыжак. Гэты ціск завецца ў навуцы осмотычным ціскам, а дыфузія церaз наздрыстыя сьценкі—осмосам.

Розныя матэрыі розна дыфундуюць церaз наздрыстыя перапонкі, а таму можна выкарыстаць гэтае зьявішча дзеля разьдзяленьня целаў: цукер выдзяляецца такой мэтодай з мэлясу.

Каб зразумець гэтыя зьявішчы, мы павінны прыняць, што молекулы целаў маюць нейкія рухі і пранікаюць, уціскаюцца паміж молекулы другога цела, дый, наагул, павінны разглядаць матэрыю з пагляду кінэтычнае тэорыі яе.


Рыс. 180.

106. Мешаніны, эмульсіі і расчыны. Нальлём у бутэльку вады і алею і, добра ўстрасаючы, скаламуцім гэтыя жыжкі.

Цераз нейкі час дастанем мутную, белаватага колеру жыжку, у якой навет голым вокам, а то цераз павялічальнае шкло пабачым невялічкія каплі вады і алею. Калі скаламучаную жыжку пакінем на нейкі час у супакоі, дык алей аддзеліцца ад вады і ўсплыве на верх. Гэткая жыжка завецца эмульсіяй.

Гэта прыклад эмульсіі нятрывалкай, але спатыкаюцца і больш трывалкія, як прыкладам малако. Што гэта ёсьць эмульсія, можна давясьці на цэнтрыфузе, гдзе больш цяжкія часткі (вада) аддзяляюцца пры кружным руху ад больш жырных (сьмятанкі).

Эмульсія ёсьць прыклад мешаніны. Такой самай мешанінай зьяўляюцца мешаніны цьвёрдых целаў, калі, прыкл., зьмяшаем дробныя апілкі зялеза і дробна пабітую серку. З апошняе мешаніны можам магнэтам выдзяліць зялеза.

Зьмяшаем сьпірт з вадой. Мяшаць можам іх у якіх-хоч сколькасьцях, але ніякія павялічальныя шклы не пазволяць нам адрозьніць часьціны сьпірту ад часьціны вады. Апроч таго, абыймо новае, атрыманае гэтак жыжкі менш за суму абыйма сьпірту і абыйма вады. Паміж часьцінамі вады і сьпірту адбываюцца нейкія дзеяньні, бо і тэмпэратура мешаніны падымаецца. Гэткая мешаніна завецца расчынай.

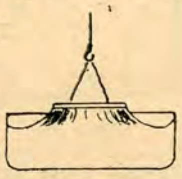
Расчынай называем так сама расчынены цукер, ці соль у вадзе або іншых жыжках. Пры гэтым трэба заўважыць, што іншыя матэрыі распускаюцца ў жыжках толькі ў азначаных адносінах сколькасьці. Насыпаўшы цукру ў шклянку з вадой, заўважым, што як-бы мы ні каламуцілі яе, а расчыніць больш за нейкую азначаную сколькасьць цукру ў дадзенай вадзе нельга. Расчына, значыць, зьмяшчае максімум цукру і тады завецца насычанай. Так сама, як цьвёрдыя і плыўкія целы, твораць расчыны і газы ў плыўкіх, газавых і цьвёрдых целах, дый плыўкія целы ў газавых. Вада ў прыродзе мае ў сабе паветра, вугальны газ і інш. Само паветра ёсьць расчына, у якой паасобныя газы заховуюць навет некаторыя свае ўласьцівасьці. Цьвёрдыя целы ўбіраюць у сябе жыжкі і газы. Крэйда ўбірае ваду. Колёровыя шклы так сама ёсьць расчыны.

107. Молекулярныя сілы. Закон Бойль-Мар'ёта адпавядае толькі ідэальнаму газу. Для газаў, рэальна існуючых, кінэтычная тэорыя газаў дае магчымасьць вывясьці больш зложаныя формулы, якія шмат тачней выражаюць залежнасьць паміж ціскам і абыймом газу пры нязьменнай тэмпэратуры. У гэтыя раўнаваньні ўваходзяць вялічыні, залежныя ад разьмераў молекулаў газу, а так сама і ад узаемнае дзейнасьці молекулаў паміж сабой. Кінэтычная тэорыя прымае, што молекулы дзеюць адна на адну толькі тады, калі адлежнасьць паміж імі ня больш за $^1/_{20}\,\mu$ (мікрона). Калі молекула знаходзіцца на вялікшай за сказаную адлежнасьці, то яна рухаецца рухам раўнамерным просталінейным; калі-ж гэтая адлежнасьць будзе менш за $^1/_{20}\,\mu$, то паміж молекуламі выступае дзейнасьць молекулярных сілаў. Дзеля таго, што молекулы газаў знаходзяцца звычайна на вялікшых адлежнасьцях адна ад аднэй, дзейнасьць молекулярных сілаў у газах выяўляецца толькі ў часе іх сутыку.

Для плыўкіх і цьвёрдых целаў дагэтуль ня ўложана зусім поўна кінэтычная тэорыя, якая-бы здавальняючы аб'ясьняла іх унутраную будову. Прычына гэтага ў тым, што тутака маем дзела з шмат больш зложанымі зьявішчамі. Не даючы поўнага абраза будовы, кінэтычная тэорыя прымае ўсёжтакі, што і плыўкія і цьвёрдыя целы складаюцца так сама, як і газы, з молекул, якія знаходзяцца стала ў шыбкім руху, але не такім свабодным, як у газах. Молекулы тутака знаходзяцца ў такіх адлежнасьцях паміж сабой, што іх рух адбываецца звычайна пад уплывам молекулярных сілаў. Рэзультат руху молекул і дзейнасьці молекулярных сілаў прадстаўляе матальны рух молекул, г. зн.: молекула адхіляецца ад свайго сярэдняга палажэньня ў адзін, а затым у другі бок. Скорасьць гэтага руху залежыць ад тэмпэратуры. У цьвёрдых целах гэтае сярэдняе палажэньне кожнае молекулы зьяўляецца быццам прывязаным да месца, з якога яна ня можа аддаліцца. Калі мы дэформуем цьвёрдае цела, мы сілком зьмяняем палажэньне молекул яго, а молекулярныя сілы імкнуцца вярнуць молекулу на старое месца. У плыўкіх целах молекулы маюць магчымасьць перасовывацца адна адносна да іншых, коўзацца, перахадзіць на новыя месцы, ды ўсёжтакі трымаюцца досіць моцна паміж сабой, каб забясьпечыць жыжцы яе абыймо. Гэтую ўласьцівасьць цьвёрдых і плыўкіх целаў завуць зьвязнасьцю. Газы зьвязнасьці не выяўляюць.

108. Зьвязнасьць і прыліпаньне. Каб разарваць вяроўку, дрот, зламаць кавалак дзерава, трэба ўжыць больш або менш значнае сілы, каб перамагчы зьвязнасьць цела, г. зн. тыя молекулярныя сілы, якія трымаюць молекулы на іх месцах. Зьвязнасьць ёсьць велічыня розная для розных цел.

Калі акунём палец у ваду, то на канцы яго астанецца капля, а ўвесь ён будзе мокры, г. зн. пакрыты дробнымі капелькамі вады. З гэтага бачым, што дзейнасьць молекулярных сілаў выступае ня толькі паміж молекуламі аднаго цела, але так сама паміж часьцінамі розных целаў, калі яны знаходзяцца досыць блізка да сябе. Гэтае зьявішча завецца прыліпаньнем.

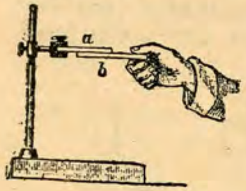


Рыс 181.

Да шалькі вагоў падвесім шкляную плітку (рыс. 181), якую зраўнаважым гіркамі. Падставім пад яе судзіну з вадой так, каб плітка дакранулася да вярхніны вады. Падымаючы ўверх шальку, заўважым, што плітка цягне за сабой стоўбік вады. Каб адарваць яго ад пліткі, трэба далажыць нейкія гіркі на другую шальку. Значыць, зьявілася нейкая сіла, якая дзеець паміж вадой і пліткай. Гэтай сілай ёсьць як раз прыліпаньне паміж гэтымі целамі. Калі адарвем плітку ад вады, дык заўважым, што плітка зьвільгатнела, г. зн., што мы перамаглі ня сілу прыліпаньня паміж пліткай і вадой, а зьвязнасьць паміж молекуламі вады, мы „разарвалі“ стоўбік вады. Ведаючы, які цяжар разарваў яго і якое сячэньне мае стоўбік, мы можам аблічыць, якая сіла пайшла на адзінку вярхніны, г. зн даведаемся сілу расьцягу, якая разарвала ваду, інакш кажучы, мы знайшлі меру яе зьвязнасьці. Той самы дасьлед можам зрабіць з сьпіртам, этэрам (эфірам) і знойдзем велічыню іх зьвязнасьці

Калі заместа вады возьмем ртуць і да яе дакранемся добра высушанай шклянай пліткай, дык плітка таксама прыліпне, і трэба будзе даволі вялікае сілы, каб яе адарваць. Паглядзеўшы на адарваную плітку, заўважым, што яна асталася саўсім чыстай, што на ёй няма і сьледу ртуці. Значыць, у гэтым прыпадку мы перамаглі ня зьвязнасьць ртуці, а прыліпаньне паміж ртуцьцю і шклом. Павесіўшы заместа шклянае пліткі мэталёвую, прыкл. цынкавую, мы бы ўбачылі, што яна пасьля „адарваньня“ ад ртуці была-б пакрыта бурбалькамі ртуці. Значыць, у гэтым прыпадку мы перамаглі бы зьвязнасьць ртуці. Раўнуючы вялічыні, знойдзеныя для прыліпаньня паміж ртуцьцю і шклом, да вялічыняў для зьвязнасьці ртуці, пабачым, што зьвязнасьць ртуці вялікша за прыліпаньне яе да шкла. Інакш кажучы, жыжка змачвае цела, калі яе зьвязнасьць менш за прыліпаньне яе да гэтага-ж цела.

Пяро змачваецца чарнілам, якое таксама змачвае паперу. Калі-ж паперу памажам салам, то пяро ня будзе пісаць. Чаму?



Рыс. 182.

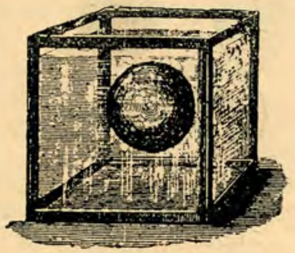
Молекулярныя сілы дзеюць толькі на вельмі малых адлежнасьцях (ня больш як $^{1}/_{20}\ \mu$). Жыжка дзеля сваёй плыўкасьці лёгка стыкаецца з цьвёрдым целам, дык паміж плыўкім і цьвёрдым целам лёгка заўважыць прыліпаньне. Інакш справа стаіць з двума цьвёрдымі целамі. Паміж імі прыліпаньне можа быць заўважана толькі тады, калі вялікшыя вярхніны целаў будуць так шчыльна прыпадаць адна да аднае, што адлежнасьць паміж молекуламі гэтых целаў у месцы сутыку будзе менш за $^{1}/_{20}\ \mu$. Дзьве добра адшліфаваныя шкляныя пліткі прыліпаюць адна да аднае́ так моцна (рыс. 182), што, калі будзем старацца іх разлучыць, яны могуць навет лопнуць. Каб разлучыць два кавалкі волава, зложаныя сьвежа адшліфаванымі вярхнінамі, патрэбна вялікая сіла. Калі-ж іх яшчэ сьціснуць пад прэсам, то дастанем ужо адзін кавалак, бо месца зьліцьця будзе таксама моцным, як і іншае месца таго-ж кавалка мэталю. Ясна, што тут выступае ўжо сіла зьвязнасьці. Але, прыглядаючыся да ўсіх гэтых зьявішчаў, мы павінны прызнаць, што паміж зьвязнасьцю і прыліпаньнем розьніцы ў істоце зьявішча няма: у абодвух прыпадках дзеюць тыя самыя молекулярныя сілы.

Ад гэтых молекулярных сілаў залежыць і тое, ці пры зьмяшаньні двух целаў творыцца мешаніна, эмульсія ці расчына.

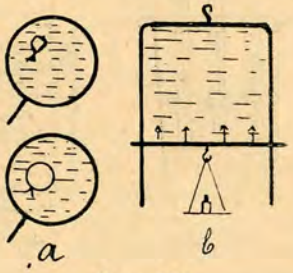
109. Вярхніннае напружаньне. Істнуюць мушкі, якія коўзаюцца па вярхніне вады і ня тонуць. Іголка, асьцярожна паложаная

на вярхніну вады, плавае па ёй. Каплі жыжак, чым яны менш, тым тачнейшую маюць форму кулі. Гэтае зьявішча паставім у сувязь з тэй геомэтрычнай тэорэмай, што з усіх целаў рознае формы, але аднаго абыйма, куля мае найменшую вярхніну, і тады стане ясным, што на вярхніне жыжкі істнуе нейкае напружаньне.

Калі падбяром такую гушчыню мешаніны сьпірту з вадой, каб яна была роўнай гушчыні алею, то алей будзе знахадзіцца ў раўнавазе на ўсякай глыбіні ў гэтай мешаніне. Увядзём у мешаніну нейкую сколькасьць алею і пабачым, што ён прыме форму кулі (рыс. 183).


Рыс. 183.

Вярхніннае напружаньне можна добра дагледзіць на абалонках з мыльнае пены. У расчыну мыла ў вадзе з невялікім дадаткам гліцэрыны акунаем персьцень з дроту. Дастаўшы яго стуль, пабачым на персьцені даволі моцную абалонку. Калі на гэтую абалонку кінем змочаны кавалак ніткі, завязаны ў пятлю, то, прабіўшы нагрэтай іголкай абалонку ў пятлі, пабачым, што пятля расьцягнулася ў кола (рыс. 184 a). Мыльны пузыр. выдзьмуты праз трубку, меншаючы ў абыйме, адхіляе полымя сьвячы, падстаўленае да другога канца гэнае трубкі.



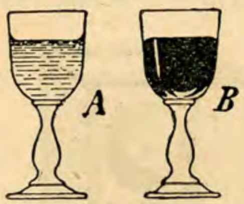
Рыс. 184.

Карыстаючыся простакутняй рамкай з дроту з адным рухомым бокам, можам памерыць гэтае напружаньне. Акунаем рамку (рыс. 184 b) у мыльную ваду, вешаем яе за кручок, а на рухомы бок накладаем гірак, пакуль абалонка ня лопне. Адсюль можам аблічыць, якое напружаньне мае дадзеная расчына. Трэба тут адзначыць розьніцу, якая істнуе паміж вярхнінным напружаньнем абалонкі і упругасьцю, прыкл., каўчуку. Калі мы пацягнем свабодны бок рамкі ўніз, то ён ужо ня вернецца ў пачатнае палажэньне; каўчукавая-ж абалонка варочаецца.

Рыс. 185.

Кінэтычная тэорыя будовы матэры аб'ясьняе вярхніннае напружаньне вось як. Кожная молекула цела мае нейкую сфэру дзейнасьці молекулярных сілаў. Гэтая сфэра дзейнасьці ёсьць куля радыуса ня болей $^{1}/_{20}\ \mu$. У глыбіні жыжкі разгляданая молекула акружана сымэтрычна молекуламі, якія ляжаць у гэтай сфэры; з гэтае прычыны ўсе сілы, якія на яе дзеюць, раўнаважацца. Інакш стаіць справа з тымі молекуламі, што ляжаць блізка да вярхніны. Там на гэтую молекулу будзе дзеяць раўнадзейная, якая будзе скіравана ў глыб жыжкі (рыс. 185). Дзеля гэтага жыжка, пакінутая сама сабе, стараецца прыняць форму кулі, каб мець найменшую вярхніну, бо кожная молекула вярхніны цягнецца у глыб жыжкі.

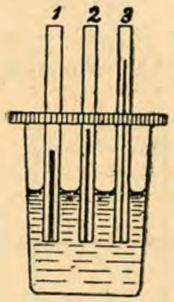
110. Воласнасьць. У шклянцы, кожны гэта бачыў, ровень вады мае ўзьняўшыся край. Ртуць, наадварот, у шклянай судзіне мае апушчаны край вярхніны (рыс. 186). Гэтае зьявішча абʻясьняецца дужа проста дзейнасьцю дзьвюх сілаў: прыліпаньня і зьвязнасьці. Калі сіла прыліпаньня жыжкі да матэрыялу судзіны вялікшая за сілу яе зьвязнасьці, дык край роўня жыжкі будзе падняты; калі-ж сіла зьвязнасьці больш, дык край будзе апушчаны.



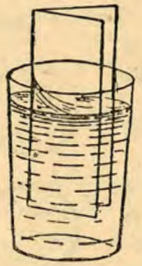
Рыс. 186.

Рыс. 187.

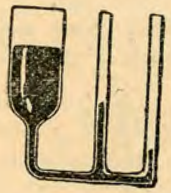
Калі будзем браць судзіны з усё меншым горызонтным сячэньнем, то вярхніна жыжкі будзе ўсё менш „роўнай“, і ўрэшце дойдзем да такое судзіны, у якой вярхніна будзе выразна выпуклая або ўвагнутая (рыс. 187).



Рыс. 188.


Рыс. 189.

Калі возьмем вельмі тонкую шкляную трубку і апусьцім яе канец у ваду, то вада падымецца ў трубцы вышэй за ровень яе ў судзіне. Калі зробім тое самае з ртуцьцю, то ровень ртуці ў трубцы будзе ніжэй за ровень у судзіне. Дзеля таго, што трубкі, ўжываныя дзеля гэтага дасьледу, маюць невялікі дыамэтр, яны завуцца валаснымі, а сказаная ўласьцівасьць жыжак называецца воласнасьцю. Зьявішча гэтае абʻясьняецца таксама дзейнасьцю молекулярных сілаў жыжкі і трубкі. Калі прыліпаньне да матэрыялу трубкі ў жыжцы будзе больш за зьвязнасьць, то з боку трубкі выступае сіла, якая падымае стоўбік жыжкі ўверх. Рыс. 188 паказвае, што вышыня стоўбіка жыжкі будзе тым вялікшая, чым меншае сячэньне мае трубка. Калі возьмем два шклы і паставім іх пад гострым кутом у судзіну з вадой, то вада займець палажэньне, як на рыс. 189. На рыс. 190 паказана, што ртуць ў валасных шкляных трубкі будзе займаць ніжэйшае палажэньне, чым у судзіне шырокай.


Рыс. 190.

Бібула, апушчаная ў ваду, убірае яе ў сябе. Тут таксама выяўляецца воласнасьць, бо бібулу мы можам разглядаць, як зложаную з вялікае лічбы валасных трубак.

Лёгка заўважыць і зразумець, што розныя жыжкі ў тых самых трубках будуць узьнімацца на розную вышыню.

Воласнасьць выяўляецца выразна ў прыродзе, гдзе ўсе расьціны толькі дзякуючы воласнасьці могуць выцягваць сокі з зямлі. Засьцерагаемся толькі, што апроч воласнасьці ў кармленьні расьцін іграе яшчэ вялікую роль осмотычны ціск, які гоніць сокі да найвышэйшых галін.

111. Крышталы. Калі з расчыны, прыкл., кухоннае солі будзем выпаровываць ваду, то на дне астануцца часьціны солі ў форме правільных геомэтрычных целаў. Расчыны розных матэрыялаў дадуць розныя формы гэтых целаў, называных крышталамі. Іншыя целы, распушчаныя ў жыжцы, пасьля выпараваньня даюць асадак, які ня мае ніякае правільнае формы, прыкл. сода. Гэтыя целы завуцца аморфнымі.

Дасьледы паказалі, што крышталы маюць свае ўласьцівасьці: яны шчэплюцца ў нейкіх азначаных кірунках, іх упругасьць у розных кірунках мае розную велічыню і г. д.

Ужо раней было сказана, як трудна пазнаць запраўдную будову целаў. У тым часе, калі будова газаў, дзякуючы кінэтычнай тэорыі, зрабілася зразумелай для чалавека, калі будова жыжак пачынае быць яснай таксама дзякуючы кінэтычнай тэорыі, будова цьвёрдых целаў не паддаецца выясьненьню сучаснай кінэтычнай тэорыяй. Зьявішчы ў цьвёрдых целах гэтак скомплікаваны, што тое, што чалавек дагэтуль даведаўся і дазнаўся, яшчэ ня можа даць поўнага абраза будовы іх. Тэй ступеняй, якая вядзе да раскрыцьця тайнікоў матэрыі, зьяўляюцца як раз крышталы.

Паводле кінэтычнае тэорыі, ўсе целы складаюцца з молекулаў, якія знаходзяцца ў сталым руху. У газах рух гэты ёсьць рух паступны па простым лініям; у жыжках і ў цьвёрдых целах — гэта рух матальны навакола нейкіх сярэдніх палажэньняў молекулаў. Дасьледы над уласьцівасьцямі крышталаў далі магчымасьць зрабіць дапушчэньне, што сярэднія палажэньні молекулаў у крышталах разложаны ў правільныя рады, і што матаньне молекулаў адбываецца ў пэўных кірунках, дзеля чаго ўласьцівасьці іх выступаюць розна ў розных кірунках.

ЗАДАЧЫ.

84. Якімі адзінкамі мераецца вярхніннае напружаньне (гл. дасьлед рыс. 184 b).

85. Калі на талерцы наліты тонкі пласток вады і на гэты пласток спусьціць каплю сьпірту, то пласток вады разрываецца, як-бы адкрываючы саўсім дно талеркі. Вытлумачыць гэтае зьявішча, калі ведаем, што вярхніннае напружаньне вады пры 20^{0} раўняецца 75 dyne/cm, а сьпірту пры тэй самай тэмпэратуры 26 dyne/cm.

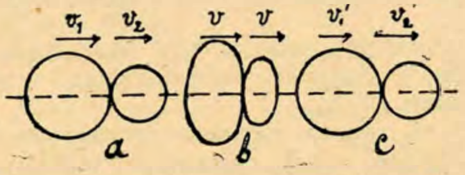
86. Зраўнаважаную на вагах шкляную трубку апусьцім адным канцом у жыжку. Што станецца з раўнавагай, калі гэтай жыжкай будзе вада і калі гэта будзе ртуць?

87. У дасьледзе рыс. 181 шкляная плітка мае дыамэтр 5,6 cm. Каб адарваць яе ад вады, трэба палажыць на шальку 10,8 gr., а ад

ртуці 27,5 gr. Прымаючы $g = 981$ cm/sec², знайсьці зьвязнасьць вады і прыліпаньне ртуці да шкла.

АДДЗЕЛ IV. УЛАСЬЦІВАСЬЦІ ЦЕЛАЎ, ПАЗНАВАНЫЯ Ў РУХУ.

112. Удар целаў. Пры спатканьні двух целаў мае месца удар; пры гэтым зьмяняюцца скорасьці руху абодвух целаў. Разгледзім прыпадак удару дзьвюх куляў, якія маюць у хвіліну спатканьня рухі па лініі, злучаючай іх цэнтры.



Рыс. 191.

Куля масай m_1 рухаецца з скорасьцю v_1 і наганяе кулю масай m_2, якая рухаецца з скорасьцю v_2 (рыс. 191 a). Першая куля, даганяючы другую, пачынае на яе цісьнуць, і скорасьць другой кулі павялічваецца. Але другая куля цісьне з тэй самай сілай на першую, таму скорасьць першае кулі памяншаецца. Пад уплывам гэтых сілаў кулі дэформуюцца (рыс. 191 b), і гэтае дэформаваньне ідзець датуль, пакуль скорасьці куляў ня стануцца роўнымі. Значыць, у гэтай хвіліне кулі маюць аднолькавую скорасьць і абедзьве максымальна здэформаваны.

Дзякуючы ўпругасьці, якую, як ведаем, маюць у большай або меншай меры ўсе целы, кожная куля будзе імкнуцца аддэформавацца, г. зн. вярнуць сабе сваю старую форму. Значыць, абедзьве яны будуць цісьнуць адна на адну, і затым скорасьць першае будзе памяншацца і далей, а скорасьць другое адначасна будзе павялічвацца. І гэтая ўзаемная дзейнасьць куляў будзе трываць датуль, пакуль яны не перастануць датыкацца адна да аднае (рыс. 191 c).

Для ідэальна ўпругіх целаў усё зьявішча прадстаўлялася бы, як апісана; пры тым другая яго палова (г. зн. ад хвіліны максімум дэформацыі да канца) была-б поўным паўтарэньнем першае, толькі ў адваротным парадку. Для ідэальна няўпругіх целаў другое паловы зьявішча ня было-б, бо кулі асталіся-бы здэформаванымі і абедзьве рухаліся бы з аднэй скорасьцю.

Аблічым супольную скорасьць v для хвіліны максімум дэформацыі (рыс. 191 b).

Сілы, якія дзеялі на кожную кулю, роўны паміж сабой (III закон Ньютона), час іх дзейнасьці—таксама, значыцца, роўнымі будуць і імпульсы сілаў і зьмены сколькасьці руху куляў. Зьмена сколькасьці руху першае кулі будзе: $m_1 (v_1 - v)$, другое кулі: $m_2 (v - v_2)$; тады:

$$m_1 (v_1 - v) = m_2 (v - v_2)$$

скуль

$$(m_1 + m_2)\, v = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

і

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1).$$

Скорасьць першае кулі паменшылася на:

$$v_1 - v = v_1 - \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \quad . \; . \; . \; (2).$$

Скорасьць другое кулі павялічылася на:

$$v - v_2 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \quad . \; . \; . \; (3)$$

Гэта і будуць раўнаваньні скорасьці пасьля ўдару няўпругіх целаў.

Разгледзім асобныя прыпадкі ўдару няўпругіх целаў:

1) Калі масы $m_1 = m_2$, то раўнаваньне (1) дае:

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_1 v_2}{m_1 + m_1} = \frac{m_1}{2\, m_1} (v_1 + v_2) = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; (4)$$

г. зн. у хвіліне максімальнае дэформацыі кулі маюць сярэдня-арытмэтычную скорасьць.

2) Чым больш будзе адна маса адносна да другое, тым менш зьменіцца скорасьць вялікшае масы.

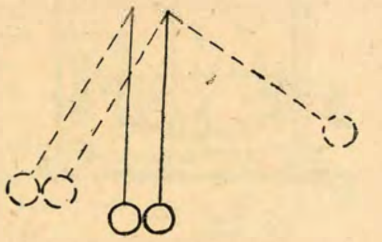
3) калі цела ўдараецца аб нярухомую перашкоду ў стацыявым да яе кірунку, то $m_2 = \infty$ (знак гэты абазначае безканечнасьць, бо перашкода ня зрушыцца з месца); тады $v_2 = 0$, і раўн. (1) дае:

$$v = 0,$$

г. зн. куля затрымаецца.

4) Калі пры роўных масах $m_1 = m_2$ другая куля будзе ў супакоі (рыс. 192), г. зн. $v_2 = 0$, то (раўн. 4)

$$v = \frac{v_1}{2}$$



Рыс. 192.

Возьмем дзьве блізка ідэальна няўпругія кулі з гліны, або воску, павесім іх побач і, адхіліўшы адну з іх, пусьцім яе. Наступіць удар, і абедзьве яны адхіляцца ў другі бок адносна да палажэньня раўнавагі, але на вышыню шмат меншую, чым мы адхілілі першую кулю. Абедзьве кулі астануцца дэформаванымі.

Ідэальна ўпругія кулі пасьля максімум дэформацыі будуць пазбывацца сваёй дэформацыі, як мы ўжо казалі, і дадуць паўтарэньне першае часткі працэсу, толькі ў адваротным парадку. Варочаючыся да сваёй формы, яны будуць цісьнуць адна на адну, і пры гэтым скорасьць першае ад ціску другое кулі будзе далей памяншацца на такую самую велічыню, на якую яна паменшылася ў першай палове зьявішча. Скорасьць другое кулі павялічыцца на такую велічыню, на якую яна павялічылася за першую палову процэсу. Значыць, новыя скорасьці куляў v_1' і v_2' будуць:

$$v_1 - v_1' = 2 \frac{m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, (5)$$

$$v_2' - v_2 = 2 \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, (6).$$

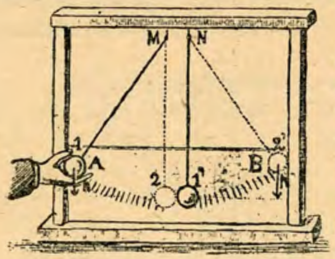
Ані ідэальна ўпругіх, ані ідэальна няўпругіх целаў у прыродзе няма; таму ясна, што раўнаваньні скорасьці пасьля ўдару целаў у прыродзе будуць мець коэфіцыентам адзінку з дробам, пры гэтым для больш упругіх целаў дроб пры адзінцы будзе вялікшы, для менш упругіх меншы.

Разгледзім асобныя прыпадкі ўдару ўпругіх целаў:

1) Калі ідэальна ўпругая куля ўдарае роўную ей па масе ($m_1 = m_2$) таксама ідэальна ўпругую кулю, якая знаходзіцца ў супакоі ($v_2 = O$), то (5) і (6) даюць:

$$v_1' = O \quad і \quad v_2' = v_1 \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, (7)$$

г. зн.: першая куля траціць усю сваю скорасьць, якая ўся перадаецца другой.



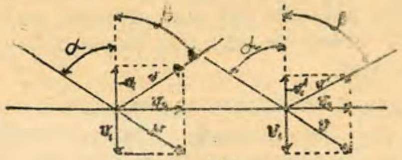
Рыс. 193.

Павесім побач дзьве аднолькавыя кулі з слановае косьці (рыс. 193). Адхілім адну і пусьцім. Пасьля ўдару першая затрымаецца, а другая падымецца блізка на тую самую вышыню, з якое была пушчана першая.

2) Ідэальна ўпругая куля ўдарае стацьцёва ў ідэальна ўпругую сьценку; тады $m_2 = \infty$ і $v_2 = O$. Раўнаваньні (5) і (6) даюць:

$$v_1' = v_1 - 2 v_1 = - v_1 \quad і \quad v_2' = O \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, (8)$$

г. зн.: куля пасьля ўдару зьмяняе толькі знак сваёй скорасьці, інакш кажучы, адскаківае ад сьценкі з тэй самай скорасьцю, з якой ударылася.



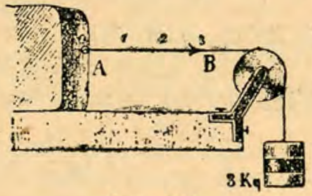
Рыс. 194.

Каўчуковая куля, з якой гуляюць дзеці, адскаківае на блізка тую самую вышыню, з якой была кінута.

3) Разгледзім яшчэ адзін вельмі важны і цікавы прыпадак ускоснага ўдару ўпругае кулі аб нярухомую ўпругую перашкоду (рыс. 194). Скорасьць кулі ў хвіліне ўдару, v, скіравана пад кутом α да лініі стацьцявое да роўнядзі перашкоды. Гэты кут завецца кутом паданьня. Разложым скорасьць v на дзьве складаныя: адну стацьцявую да роўнядзі перашкоды, v_1, а другую—раўналежную да яе, v_2. Скорасьць v_1 пасьля ўдару зьменіць свой знак (гл. раўн. 8), г. зн. пойдзе ўверх ад роўнядзі. Скорасьць v_2 ня зьменіцца саўсім. Зложым цяпер $- v_1$ і v_2, і дастанем новую скорасьць v', якая ляжыць у роўнядзі скорасьці v, мае яе велічыню і творыць з стацьцявой да роўнядзі перашкоды кут $\beta = \alpha$. Кут β называецца кутом адбіцьця. Каротка кажам: кут адбіцьця раўняецца куту паданьня.

Калі куля і перашкода не ідэальна ўпругія целы, то скорасьць v_1 пасьля адбіцьця трохі зьменшыцца, а таму і кут β будзе трохі большы за α.

113. Церце. Мы ўжо ня раз зварачалі ўвагу на тое, што пры руху целаў выяўляецца церце. Калі адно цела коўзае, або коціцца па другім, то гэты рух спатыкае заўсёды праціўленьне, якое называецца церцем. Пры аднолькавых абставінах церце ад коўзаньня мае вялікшую велічыню, чым церце ад катаньня. Таму дзеля вазоў і робяць колы, пры перасоўваньні цяжкіх прадметаў падкладаюць качалкі і г. д. Істота церця яшчэ ня выясьнена. Ведама толькі, што церце вызывае павышэньне тэмпэратуры целаў, якія труцца. Часьць яго ідзець на сьціраньне няроўнасьцей, якія спатыкаюцца на вярхнінах церця. Адно толькі можна сказаць, што ані павышэньне тэмпэратуры, ані сьціраньне няроўнасьцей ня ёсьць істотай церця. Гладкая вярхніна памяншае церце, але як-бы гладкай ні была яна, церця пазбыцца немагчыма. Істота церця для нас яшчэ схавана ў тых абшарах кінэтычнае тэорыі, якія нам дагэтуль ня ведамы.



Рыс. 195

Ня гледзячы на гэта, мы маем магчымасьць мераць велічыню церця і вывясьці яго законы. Бяром роўнядзь і ставім на ёй цела, якое прыводзім у рух гіркамі (рыс. 195). Падбіраем гіркі так, каб цела, скранутае з месца хоць-бы рукой, далей рухалася рухам раўнамерным. Тады можам сказаць, што сіла цяжару раўнаважыць сілу церця, а, значыць, сіла церця раўняецца сіле цяжару гірак. З гэтых дасьледаў выведзены вось якія законы:

1) сіла церця пропорцыянальна да сілы, прыціскаючае цела да падставы, і пры тым незалежна ад таго, ці гэта будзе толькі цяжар цела, ці якая-небудзь іншая сіла. Прыкл., шафу з кнігамі цяжэй перасунуць, чым пустую, ня дзеля таго, што яна цяжэйшая, але затым, што церце будзе больш. Гэтая залежнасьць выражаецца так:

$$f_c = cf \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, (1)$$

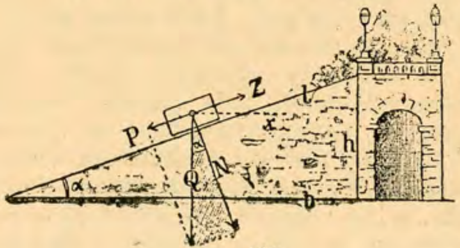
гдзе f_c—сіла церця, раўналежная да падставы, f—сіла, прыціскаючая цела і стацьцявая да падставы, і c—коэфіцыент церця для дадзеных матэрыялаў падставы і цела.

2) Церце не залежыць ад велічыні коўзаючаеся вярхніны. Якойбы сьценкай мы не паставілі цела, пры іншых аднолькавых абставінах, сіла церця ня зьменіцца.

3) Церце памяншаецца ў невялікай меры з павялічэньнем скорасьці руху.

Коэфіцыент церця с для сухога дзерава па такому самаму сухому дзераву = каля 0,5 для мэталяў ён хістаецца паміж 0,15—0,5.

4) Церце значна зьмяншаецца, калі паміж тручыяся вярхніны ўвясьці жыжку. Зьменшаньне будзе найвялікшым, калі ўжыць шмар (алей, мыла, газа і г. д.). Але тут ужо ня будзе тае незалежнасьці ад велічыні коўзаючаеся вярхніны, бо ясна, што чым больш будзе ціск (напор на адзінку паверхні), тым танчэйшы будзе пласток жыжкі паміж вярхнінамі.



Рыс. 196

Істнуе дужа просты спосаб знаходзіць коэфіцыент церця. Стацьмасьцень, зроблены з матэрыялу, які хочам дасьледзіць, кладзём на дошку з другога матэрыялу, які дасьледжваем, і пахіляем гэтую дошку пад усё вялікшым кутам α да горызонту. Калі пры нейкім куце α дастанем раўнамерны рух цела, дык кажам, што сіла церця раўняецца тэй частцы сілы зямнога прыцяганьня, якая вызвала гэты рух (рыс. 196).

Сіла цяжару цела Q раскладаецца на дзьве: P і N; з іх P—вызывае рух цела, а N—вызывае церце. Мы ведаем, што

$$P = Q\frac{h}{l} = Q\sin\alpha \quad \text{і} \quad N = Q\frac{b}{l} = Q\cos\alpha$$

Абазначыўшы коэфіцыент церця цераз с, атрымаем:

$$P = cN, \text{ або } Q\frac{h}{l} = cQ\frac{b}{l}, \text{ або } Q\sin\alpha = cQ\cos\alpha$$

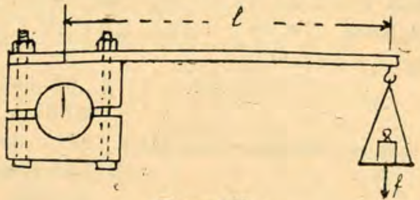
Скуль

$$c = \frac{h}{b}; \text{ або } c = \operatorname{tang}\alpha \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

Кут α завецца кутом церця.

Дзеля азначэньня спраўнасьці мотораў ужываецца прылада, якая мае назоў: галявач Проні (рыс. 197), аснованы на церці. На вал мотору надзеты драўляныя калодкі, злучаныя з вагаром. На канцы вагара павешаны цяжар f. Вал круціцца процію стрэлкі гадзіньніка. Каліб сілы f ня было, то вагар пачаў-бы круціцца разам з валам. Калі вал ня рухаецца, то сіла f круціць вагар l па стрэлцы гадзіньніка. Значыць, мы можам падабраць такую сілу f, каб у часе руху мотору вагар займаў горызонтнае палажэньне. Для гэтага трэба

яшчэ адпаведна закруціць вінты пры калодках. Работа, якая йдзе на церце ў галявачу, ёсьць тая самая, якую мотор перадае машынам. Каб яе аблічыць, зробім дапушчэньне, што вал мотору ня рухаецца, а з тэй самай кутняй скорасьцю, але ў процілежны бок, круціцца вагар з сілай f. І вось работа сілы f будзе: $f \times$ на дарогу $= f \times 2\pi l n$, гдзе n—лічба абаротаў вала ў сэкунду; гэта і будзе спраўнасьць мотору.



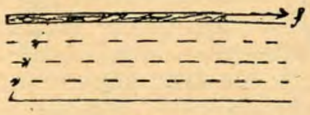
Рыс. 197.

114. Праціўленьне асярэдзіны. Калі цьвёрдае цела рухаецца ў жыжцы, яно разсоўваець жыжку ў бакі, а найбліжэйшыя часьціны жыжкі цягнець з сабой у кірунку руху. Гэта робіцца коштам кінэтычнае энэргіі рухаючагася цела. Гэтае самае зьявішча мае месца і ў газах. Велічыня праціўленьня асярэдзіны руху цела залежыць ад формы цела, асабліва яго пярэдняе часткі. Чым гастрэй закончана яна, тым праціўленьне менш, бо тады цела толькі разсоўвае часьціны асярэдзіны і яны коўзаюць па целе. Каліб цела канчалася роўнядзяй, стацьцявой да дарогі цела, то гэтая роўнядзь мусіла-бы пхнуць усе спатканыя часткі асярэдзіны перад сабой, што вымагала-бы шмат вялікшае сілы. Таму ўсе целы, якія назначаны для руху ў асярэдзіне, звычайна маюць канцы ў форме конуса, або блізкія да яе (прыкл. цэпэліны, лодкі і г. д.). Апроч таго, праціўленьне асярэдзіны пропорцыянальна да квадрату скорасьці цела. Зьявішча гэтае, агулам, зложанае і не саўсім дасьледжанае.

Каплі падаючага дажджу ня падаюць рухам прысьпешным, бо побач з павялічаньнем скорасьці іх ад зямнога прыцяганьня, павялічваецца процідзейнае праціўленьне паветра. І таму скорасьць падаючага дажджу мае толькі нязначную велічыню. Яшчэ меншую скорасьць мае падаючы сьнег, бо маса яго адносна да вярхніны меншая. Для дробных макулінак скорасьць паданьня на зямлю будзе дзеля тае-ж прычыны саўсім невялікай. Дым з вульканаў гадамі носіцца ў паветры на значных вышынях, куды яго выкінула ў часе выбуху. Пясок, падняты сьмерчам у Сахары, заносіцца на паўночныя раўніны Эўропы.

Праціўленьне паветра выкарыстана вельмі ўдачна ў аэропланах. Як птушка ўдзержываецца ў паветры на сваіх крыльлях, таксама аэроплян „апіраецца" на паветра дзякуючы таму праціўленьню, якое яно робіць руху нахіленых роўнядзяў, а скорасьць гэтая даволі значная, бо каля 200 km. у гадзіну. Скорасьць гэтая надаецца апарату пропэльлерам, свайго роду вінтом, таксама як параход рухаецца дзейнасьцю вінта або кола. Усе гэтыя прылады, а з іх найпрасьцейшая вясло ў лодцы, даюць рух дзякуючы праціўленьню асярэдзіны.

115. Ліпкасьць. Як ужо ведаем, пры руху цела ў жыжках і газах зьяўляюцца рухі часьцін акружаючае асярэдзіны. Паасобныя часьціны, або пласткі асярэдзіны перасоўваюцца адны адносна да адных, што вызывае унутранае церце. Гэтая ўласьцівасьць целаў завецца ліпкасьцю.



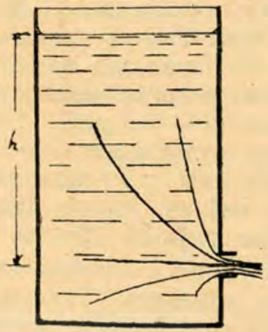
Рыс. 198.

Калі пацягнем дошку па вярхніне вады (рыс. 198), то найбліжэйшы да яе пласток вады пацягнецца за ёю; ізноў-жа гэты пласток пацягне другі, які ляжыць ніжэй, і г. д. Але кожны ніжэйшы пласток будзе рухацца з усё меншай скорасьцю. Калі мы пусьцім дошку свабодна, то скорасьць яе будзе зьмяншацца, бо кінэтычная энэргія дошкі ў жыжцы зьніштажаецца, даючы рух часьцінам жыжкі.

Калі мы заместа вады возьмем, прыкл., дзёгаць, то ў істоце атрымаем тое самае зьявішча, але тутака будуць другія лічбавыя адносіны,—прыкл., хутчэй спыніцца рух пушчанае дошкі. Гэта значыць, што розныя жыжкі маюць розныя вялічыні ліпкасьці.

Калі лыжкай памяшаем жыжку ў шклянцы, дык цераз нейкі працяг часу дадзены ей рух спыніцца, і яна супакоіцца; аднак, інакш будзе спыняцца рух вады, інакш рух сьпірту, інакш алею, або іншае жыжкі, бо ў іх ліпкасьць розная.

Дзейнасьць сілы церця ўплывае на тое, што законы руху паасобных плыўкіх і газавых целаў вельмі розьняцца паміж сабой і бываюць вельмі скомплікаваны. Яны ведамы толькі прыблізна, ня так, як законы раўнавагі жыжак. Гэтыя апошнія—саўсім точныя, і апіраючыся на іх можам будаваць такія точныя прылады, як манометры, барометры і г. д.



Рыс. 199.

Ліпкасьць ёсьць уласьцівасьць ня толькі плыўкіх і газавых целаў, а істнуе і ў цьвёрдых целах. Калі мы, прыкл., пусьцім у рух пружыну кішанёвага гадзіньніка і пакінем сабе самой, дык яе дрыжаньне цераз нейкі час спыніцца. Прычына гэтаму — тая самая ўласьцівасьць целаў: ліпкасьць.

Ліпкасьць выклікае ў плыўкіх і газавых целах зьявішча віру. Як у цьвёрдых целах, таксама ў плыўкіх і газавых, рухі бываюць двух аснаўных тыпаў: паступныя і кружныя. Паступны рух творыць паток, кружны рух жыжкі або газу носіць назоў віру. Вір творыцца там, гдзе скорасьці сумежных часьцін значна розьняцца паміж сабой. Вір паўстае з прычыны церця паміж часьцінамі. Каліб гэтага церця, г. зн. ліпкасьці, ня было, то і віру ня было-б. З другога боку, вір, пакінуты сам сабе, прыкл. у шклянцы, занікае. Тут ізноў дзее ліпкасьць цела, і калі-б яе ня было, вір істнаваў бы ня спыняючыся.

116. Выцяканьне плыўкога цела. Ужо ведаем, што чым ніжэй пад роўнем жыжкі дзірка ў судзіне, цераз якую выцякае жыжка, тым з вялікшай скорасьцю яна будзе выцякаць. Аблічым тэорэтычную скорасць выцяканьня (рыс. 199). Глыбіня дзіркі пад роўнем жыжкі h; маса вады, што выцякае ў адзінку часу, m; скорасьць яе v. Тады кінэтычная энэргія выцякаючае жыжкі будзе $k = \frac{mv^2}{2}$. За той самы час ровень жыжкі панізіўся так, што ў судзіне убыла такая самая маса m. Потэнцыяльная энэргія жыжкі паменшала на потэнцыяльную энэргію гэтае масы m, якая знаходзілася на вышыні h, г. зн. на $P = mgh$ (гдзе g—гравітацыйны прысьпех). Тая потэнцыяльная энэргія mgh, якую страціла жыжка ў судзіне, пайшла на вытварэньне кінэтычнае энэргіі струі, значыць:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh, \text{ скуль } v = \sqrt{2gh} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (1).$$

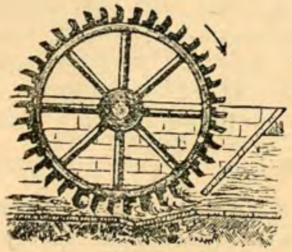
Мы атрымалі тую самую велічыню скорасьці, як і для свабоднага паданьня цела. Гэтае раўнаваньне ведама пад назовам закону Торычэльлі. Трэба заўважыць, што яно толькі прыблізнае. Скорасьць выцяканьня залежыць яшчэ ад гушчыні і ліпкасьці жыжкі, ад церця аб рубы дзіркі, ад церця паветра і г. д. Дзеля таго для розных жыжак яна мае розныя вялічыні.

Трэба яшчэ зьвярнуць увагу на тое, што жыжка выцякае з дзіркі, творучы струю, якая мае меншае сячэньне, чым дзірка. Прычына гэтага зьявішча—тое, што часьціны жыжкі пад ціскам жыжкі ў судзіне з усіх бакоў імкнуцца ў дзірку і, захоўваючы кірункі руху, робяць струю сьціснутай. Таму запраўднае ўбываньне жыжкі будзе меншае за тэорэтычнае. Тэорэтычна, пры сячэньні дзіркі s і скорасьці v, абыймо жыжкі, якая выцякла-бы за адзінку часу, павінна было-б быць роўным vs. Для вады абыймо запраўднага ўбываньня раўняецца каля $0{,}6\,vs$.

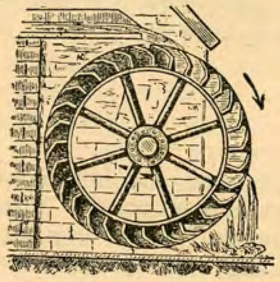
Рыс. 200.

117. Моторы, працуючыя патокам плыўкіх і газавых целаў. На дзейнасьць патоку жыжкі ўжо зьвернена намі ўвага ў млынку Сэгнэра (рыс. 200). Тое самае зьявішча маем, калі кулю з трубкамі, таксама выгнутымі, як у млынку Сэгнэра, зьмесьцім пад клёшам паветранае помпы. Пры выпампававаньні паветра спад клёшу, з кулі будзе выхадзіць паветра, якое і дасьць ёй кружны рух.

Кінэтычную энэргію падаючае з нейкае вышыні вады, або рух паветра (вецер) выкарыстаўваем для атрыманьня сілы, якая можа выпаўняць работу за чалавека. Рыс. 201 паказвае аснову будовы *падліўнога млынавога кола*. Рыс. 202 дае паняцьце аб *наліўным млынавым коле*. Рыс. 203 паказвае, як збудавана *вадзяная турбіна*. На фундамэнце ўстаноўлена нярухома кола, якое мае лапаткі, скіраваныя ўлева. Пад ім на вале турбіны ўмацавана другое кола, якое мае лапаткі, скіраваныя ўправа. Вада зьверху праходзіць паміж лапаткамі нярухомага кола і пападае цераз лапаткі рухомага ў трубу, па якой сплывае далей. Рухомае кола пад дзейнасьцю ціску вады кружыцца і перадае работу вады другім мэханізмам. Рыс. 204 паказвае будову *вятрака*. Асновы будовы паравое турбіны паказаны на рыс. 205. Пара выходзе з сопла і ўдарае ў лапаткі на коле, якое сідзіць на вале. Работа пары перадаецца ад лапатак валу. Ёсьць і вадзяныя турбіны, асснованыя на ўдары вады аб лапаткі.

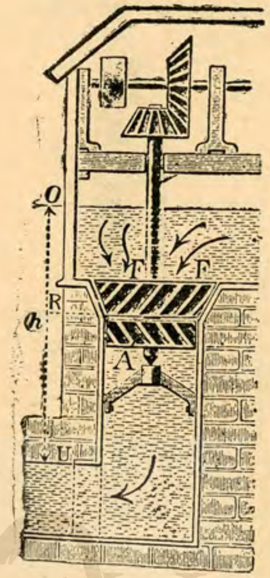


Рыс. 201.



Рыс. 202.

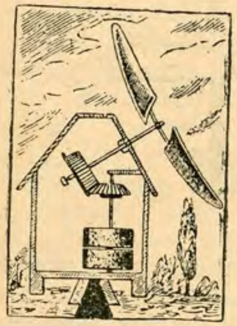
У ўсякім моторы істнуюць церці і другая страта энэргіі, якіх нельга пазбыцца. Таму ўсякі мотор дае менш энэргіі, чым сам атрымлівае. Адносіны *карыснае работы* яго да ўсяе работы, патрачанае на рух мотора, завуцца *аддачай* або *коэфіцыентам карыснае работы мотора*.



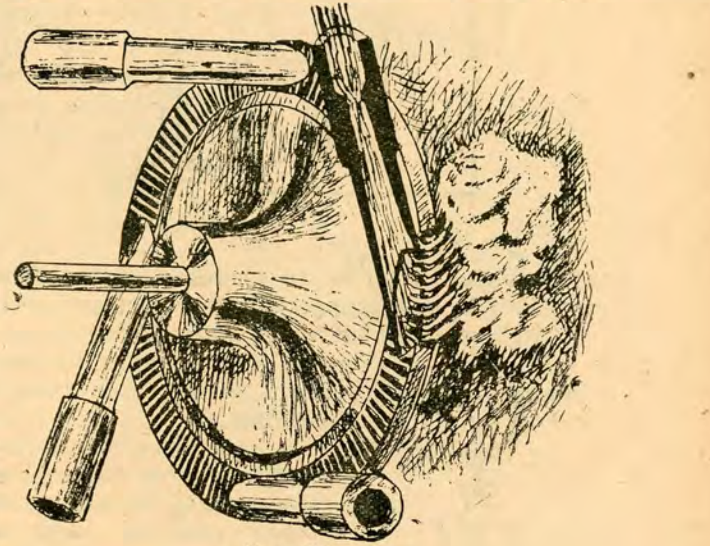
Рыс. 203.

118. Праток па трубам. Возьмем судзіну (рыс. 206 а) з трубой. Ясна, што, калі за нейкі час, прыкл. за 1 сэкунду, з яе выліецца нейкае абыймо жыжкі, то на тое самае абыймо паменшыцца колькасьць жыжкі ў судзіне, і, значыць, цераз кожнае сячэньне трубы прайшло за гэтую сэкунду тое самае абыймо жыжкі; інакш кажучы, расход жыжкі ў кожным сячэньні трубы раўняецца расходу пры выхадзе. Калі ўсе сячэньні трубы аднолькавыя, то і скорасьць жыжкі будзе ўсюды ў трубе аднолькавая. Калі сячэньне паменшыцца, то, каб за той самы час цераз яго працякала тая самая колькасьць жыжкі, трэба, каб скорасьць павялічылася ў гэтулькі-ж разоў. Каротка кажучы, ў трубе скорасьць адваротна пропорцыянальна да сячэньня.

Возьмем судзіну з трубой, у якую ўстаўлены некалькі тонкіх трубачак. Калі нальлём у судзіну жыжкі, прыкл. вады, то пабачым, што ў трубачках ровень вады будзе стаяць тым ніжэй, чым бліжэй яны да канца трубы. Гэта паказвае, што ціск у трубе ўсё меншае. Меншаньне гэтае ёсьць рэзультат церця жыжкі ў трубе. І вось, калі правядзём лінію цераз роўні жыжкі ў гэтых трубачках, то гэтая лінія пападзе на ровень жыжкі ў судзіне, калі вада выцякае з трубы з вельмі малой скорасьцю, г. зн. калі кірунак струі будзе стоцьны. Значыць, увесь напор жыжкі йдзе на тое, каб прапхнуць жыжку цераз трубу; інакш кажучы, увесь напор жыжкі ў судзіне траціцца на перамаганьне церця ў трубе.

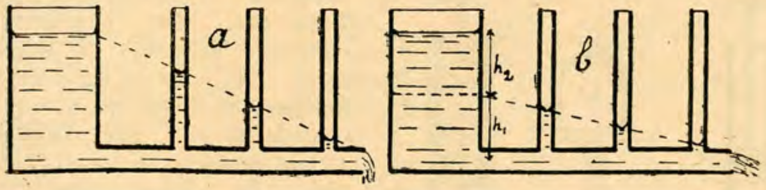


Рыс. 204.



Рыс. 205.

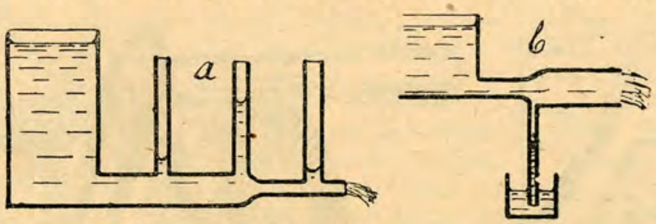
Возьмем цяпер прыпадак (рыс. 206 b), калі вада выцякае з трубы з нейкай скорасьцю, г. зн. калі струя падае па балістычнай крывой. Тады лінія, праведзеная цераз роўні жыжкі ў трубачках, ужо пападае не на ровень жыжкі ў судзіне, а ніжэй. Тут таксама вышыня роўня ў кожнай трубачцы паказуе той ціск, які йдзе на перамаганьне церця ў трубе на працягу ад гэтае трубачкі да канца трубы. Значыць, вышыня h_1 жыжкі ў судзіне ёсьць той ціск жыжкі,



Рыс. 206.

які перамагае церце ў усей трубе. Вышыня-ж $DN = h_2$ ёсьць той ціск, які дае струі скорасьць. Вышыня h_1, якая траціцца на церце, завецца вышынёй праціўленьняў; вышыня, ад якое залежыць скорасьць выцякаючае жыжкі, завецца вышынёй скорасьці.

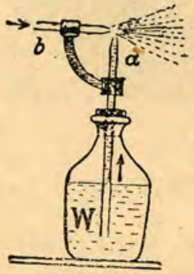
Возьмем цяпер трубу, якая ў адным месцы звужаецца (рыс. 207 a). Тут устаўленая трубка пакажа падняцьце роўня жыжкі, і гэта зразумела, бо перад уваходам да вузейшае часткі ціск павінен павялічыцца, каб скорасьць у трубе павялічылася.



Рыс. 207.

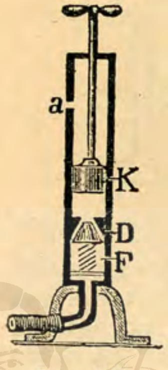
Пры пашырэньні трубы (рыс. 207 b) будзе адваротнае зьявішча: ціск паменшыцца, бо скорасьць паменшала, і стане ён ад'ёмным. Вада па трубцы будзе падымацца.

Калі ўжыем падобнае развažаньне для газаў, то лёгка зразумеем дзейнасьць прылады, якая завецца пульвэрызатарам (рыс. 208). Струя паветра, якую выдзьмухіваюць цераз трубку b, пападае з вузенькае трубкі ў свабодны прастор; тады ў пункце a ціск атмосфэры ме́ншае, і жыжка з судзіны W падымаецца ўверх, гдзе яна распыляецца патокам дзьмутага паветра.

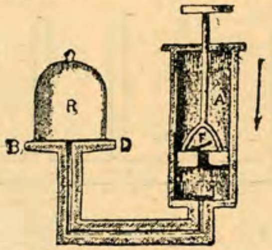


Рыс. 208.

119. Паветраныя помпы. Паветраныя помпы ўжываюцца дзеля таго, каб згусьціць паветра, ці іншы газ, або іх разрэдзіць. Помпы і бываюць згушчаючыя і разраджаючыя. Асновы згушчаючае помпы паказаны на рыс. 209. Таўкач націскае кожную порцыю газу пад кляпу D. Згушчаючыя помпы ўжываюцца дзеля тэхнічных мэтаў, і гэткія вялікія машыны называюцца компрэсорамі.



Рыс. 209.

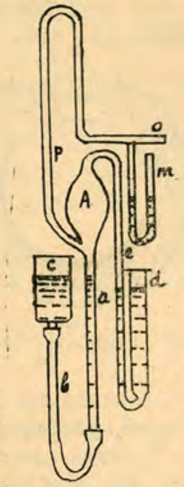


Рыс. 210.

Разраджаючая помпа ў найпрасьцейшай форме паказана на рыс. 210. Таксама, як і згушчаючая, яна саўсім падобна да вадзяных помпаў. Усё-ж, разраджэньне, якое яна робіць, вельмі невялікае, і такія помпы рэдка ўжываюцца і ў навуцы і ў тэхніцы.

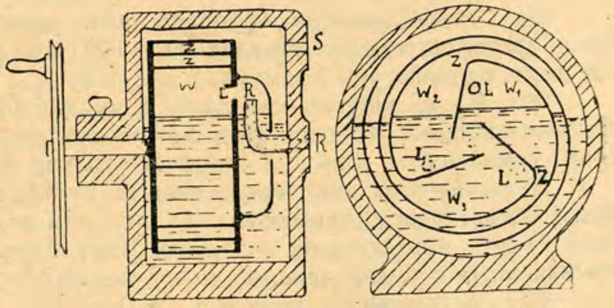
Лепшыя рэзультаты даюць ртутныя помпы. Аснову іх дзейнасьці можна угледзіць на рыс. 211. У лейку наліта ртуць, якую пускаюць каплямі ў трубку. Даўжыня трубкі, каля 1,5 m. Кулька, з якое выпампоўваецца газ, злучана з трубкай. У прастор паміж дзьвюма каплямі ртуці ўваходзіць газ з кулькі, і кулька мала-па-малу апаражняецца. На гэтай самай аснове будуюць і вадзяныя помпы для газаў. Рыс. 212 паказуе другую ртутную помпу. Трубка 0 злучана з судзінай, з якое выпампоўваецца паветра. На трубцы 0 пастаўлена невялікая трубка m, якая зьяўляецца манометрам, г. зн. паказуе ціск. Судзіна A злучана трубкамі: шкляной a і каўчукавай b з рэзэрвуарам C для ртуці. Калі падымем рэзэрвуар C, ртуць зачыніць трубку p і напоўніць судзіну A, скуль выганіць газ цераз трубкі e і d. Калі апусьцім C, дык ртуць з A вернецца ў C, e напоўніцца ртуцьцю з d, а ў A прыцячэ ізноў газ цераз O і p. Трубкі p і e павінны быць вышынёй ня менш 800 mm.

Рыс. 211.



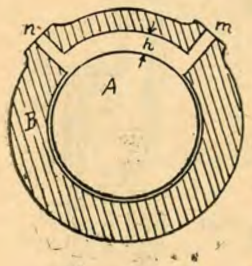
Рыс. 212.

Апошнія гады перад вайной далі вялікія палепшаньні газавых помпаў. Нямецкі фізык Гедэ (Gaede) збудаваў дзьве помпы, якія дапаўняюць адна адну і разам даюць разрэджаньне да 0,0000002 mm стоўбіка ртуці. На рыс. 213 паказана сячэньне першае помпы. Гэта ртутная помпа. У чыгунным цыліндры, напоўненым на 60% ртуцьцю, круціцца другі з перагародкамі спэцыяльнае формы. Рух гэтых перагародак адбываецца проці руху стрэлак гадзіньніка. Трубка R злучае помпу з тэй судзінай, з якой выпампоўваюць газ. У кожнай адгароджанай перагародкамі камэры ёсьць дзірка L, якая злучае камэру з тым прасторам, куды ўваходзіць трубка R. У палажэньні, што на рысунку, трубка R адкрыта ў камэру W_1, і ў камэры W_1 будзе газ тэй самай гушчыні, што і ў судзіне, з якое яго выпампоўваюць. Пры далейшым кручэньні дзірка L_1 апускаецца ў ртуць, і газ ужо астанецца ў камэры W_1. Абыймо яго будзе далей зьмяншацца, бо ртуць будзе займаць усё



Рыс. 213.

вялікшую частку камэры W_1. Газ будзе выганяцца праз шчэлку Z_1, пакуль ня выйдзе з цыліндра. У дзьвюх іншых камэрах будзе мець месца такое самае выпампоўваньне газу з трубкі R.



Рыс. 214.

Другая помпа (рыс. 214) Гедэ завецца молекулярнай помпай. Чыгунны цыліндр B мае два выхады: n і m. Выхад n злучаецца з тэй судзінай, скуль трэба выпампаваць газ. Выхад m служыць выхадам для газу. Выхады n і m злучаны невялікай шчэлінай h. У гэтым цыліндры круціцца па стрэлцы гадзіньніка порцэлянавы цыліндр. Скорасьць яго вельмі вялікая: 12.000 абаротаў у мінуту, — лінейная скорасьць яго вярхніны ёсьць блізкая да скорасьці молекулы газу. І вось помпа пушчана ў рух, молекула газу пападаець на круцячыся цыліндр, дзеля ліпкасьці яна цягнецца ім у кірунку m. Вярнуцца ў n молекула ўжо блізка ня можа, бо будзе ізноў адкінута круцячымся валікам. Надзіва добра працуе гэтая помпа. Каб дастаць вялікія разрэджаньні газаў — да 0.0000002 mm ртутнага стоўбіка, злучаюцца пасьледавальна судзіна, з якой выпампоўваюць газ, з молекулярнай помпай, апошняя з трубкай R (рыс. 213) ртутнае помпы Гедэ, а трубка S гэтае помпы ізноў злучаецца з якой-небудзь звычайнай ртутнай, або вадзяной помпай.

ЗАДАЧЫ.

88. Куля з слановае косьці, масай 50 gr, рухаецца з скорасьцю 1 m/sec і ўдарае цэнтральна ў другую такую самую кулю, масай 75 gr., якая знаходзіцца ў супакоі. Якія скорасьці будуць мець гэтыя кулі, калі дапусьцім, што яны ідэальна ўпругія і што няма ніякіх перашкод у іх руху?

89. Дзьве ідэальна няўпругія кулі маюць аднолькавыя масы. Адна ўдарае другую (гл. дасьлед, рыс. 192), падаючы з вышыні 25 cm. На якую вышыню яны падымуцца абедзьве?

90. Куля, кінутая свабодна з вышыні 90 cm, адскаківае ад пліты на вышыню 70 cm. Пад якім кутом гэтая куля адаб'ецца ад гэтае самае пліты, калі яна будзе кінута пад кутом 45^0?

91. Аблічыць кінэтычную энэргію куляў (рыс. 191) перад ударам і пасьля ўдару, прымаючы: 1) што яны абедзьве ідэальна ўпругія і 2) што яны ідэальна няўпругія. Чаму у другім прыпадку іх кінэтычная энэргія будзе меншая, чым у першым?

92. Вытлумачыць, чаму трудна ўтрымаць у пальцах лёд?

93. Вытлумачыць, чаму трудна хадзіць па лёдзе?

94. Цела (рыс. 195) пад дзейнасьцю сілы, роўнае цяжару 1,6 kg, можа рухацца па роўнядзі раўнамерным рухам. Знайсьці коэфіцыент церця, калі цела важыць 80 kg, і іншыя перашкоды ня прымаюцца пад увагу.

95. Коэфіцыент церця для дадзенага цела аб дадзеную роўнядзь раўняецца 0,2. На які кут трэба нахіліць роўнядзь, каб цела пад уплывам свайго цяжару рухалася раўнамерным рухам?

96. Цела масай 4 kg рухаецца з сталым прысьпехам 100 cm/sec^2 ўверх па роўнядзі, нахіленай да горызонту пад кутом 30^0. Коэфіцыент церця 0,2; $g=980$ cm/sec^2. Якая сіла на яго дзее?

97. У цыліндры наліта вада да вышыні 120 cm. У дне цыліндра ёсьць дзіра. Знайсьці скорасьць струі, калі $g = 980$ cm/sec^2.

98. Як павялічыцца скорасьць струі ў задачы № 97, калі на жыжку дадамо ціск 10^6 $dyne/cm^2$?

99. З прылады, як на рыс. 206 b, выцякае вада. У нейкай хвіліне вышыня праціўленьняў = 7 cm, а вышыня скорасьці = 28 cm. Якая будзе скорасьць і які расход вады, калі сячэньне трубкі = 10 cm^2? Якая работа ідзе на церці? ($g = 980$ cm/sec^2).

100. Паветраная помпа выцягавае ў сэкунду 0,2 абыйма газу з судзіны. Які будзе ціск цераз 1 мінуту пампаваньня, калі пачатны ціск быў 740 mm ртуці?

101. Чаму пры пампаваньні паветра звычайнай помпай сіла, якую трэба на гэта ўжыць, усё павялічваецца?

ЧАСЬЦЬ IV.

Цяплыня.

АДДЗЕЛ І. ТЭРМОМЭТРЫЯ.

120. Паняцьце аб тэмпэратуры. Ужо змалку чалавек прывыкае разрозьніваць целы на ўражаньню „цяплыні“ або „холаду“, як кажуць. Гэтыя ўражаньні ён атрымлівае сваім пачуцьцём цяплыні, якое зьяўляецца аднэй з формаў пачуцьця датыку.

Як мы ўжо бачылі ў іншых фізычных зьявішчах, паняцьці, ўжываныя ў штодзенным жыцьці, не даволі точныя для навукі. Тут патрэбна глыбейшае зразуменьне і саўсім точнае азначэньне.

Запраўды, аб цяплыні цела мы праконаваемся датыкаючы яго. Уткнём правую руку ў судзіну з гарачай вадой, а левую ў судзіну з лёдам. Цераз некалькі мінут вымем абедзьве рукі і ўложым іх у судзіну з вадой, якая больш доўгі час стаяла ў хаце. Тады, судзячы паводле ўражаньня, якое атрымала правая рука, назавем ваду сьцюдзёнай, а паводле таго, якое атрымала левая,—вада будзе здавацца цёплай. Гэтак, нашае пачуцьцё для навучных дасьледаў ня можа мець вагі.

Возьмем нагрэтае цела, прыкл. кавалак зялеза, і кінем яго ў халодную ваду. Зялеза будзе астуджацца, а вада нагрэецца. Нальлём у судзіну з гарячай вадой сьцюдзёнае вады; тады атрымаем мешаніну, якая будзе сьцюдзянейшая за першую ваду, але цяплейшая за другую. Вось-жа мы і кажам, што гарачэйшае цела аддае цяплыню халаднейшаму, а халаднейшае ўбірае цяплыню ад гарачэйшага. Мы кажам, што тое цела, якое аддае цяплыню, мае вышэйшую тэмпэратуру, а тое, што ўбірае,—ніжэйшую. Пакуль тэмпэратуры целаў, якія знаходзяцца блізка адно ад аднаго, розьняцца паміж сабой, да таго часу адно цела, гарячэйшае, аддае, а другое, халаднейшае, убірае ўсябе цяплыню. Гэтая перадача цяплыні спыняецца, як толькі наступіць зраўнаваньне тэмпэратураў.

Тэмпэратурай мы завём такую часовую ўласьцівасьць целаў, розьніца якое вызывае пераход цяплыні з адных целаў у другія. Калі пераходу цяплыні няма, дык кажам, што целы маюць аднолькавыя тэмпэратуры.

Пакуль-што мы нічога ня кажам аб істоце цяплыні; прымаем толькі, што гэта ёсьць нешта, чаго целы могуць мець больш або менш.

Рыс. 215.

Рыс. 216.

121. Пашыральнасьць целаў пад уплывам зьмены тэмпэратуры. Усе ўласьцівасьці целаў, апрача мо‘ толькі масы і цяжару, зьмяняюцца разам з зьменай тэмпэратуры. Аб гэтых зьменах уласьцівасьцяў целаў будзе гутарка ў адпаведных аддзелах фізыкі. Цяпер зьвернем увагу на зьмену абыйма целаў у зьвязку з зьменай тэмпэратуры.

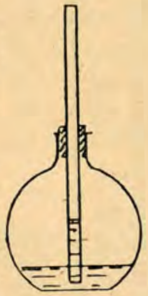
Абыймо кожнага цела зьмяняецца пры зьмене яго тэмпэратуры. Большасьць целаў павялічваецца ў абыйме, калі тэмпэратура павялічваецца, хоць істнуюць целы, у якіх абыймо пры гэтым памяншаецца.

Усім ведамы дасьлед з мэталёвай кулькай, якая мае трошкі меншы дыамэтр за персьцень. Калі тэмпэратура кулькі і персьценя аднолькава, то кулька праходзіць цераз персьцень. Калі нагрэем кульку, то яна цераз персьцень ня пройдзе. (Рыс. 215).

Шкляная бутэлька (рыс. 216) з коркам, праз які шчыльна прапушчана шкляная трубка, напоўнена жыжкай так, што ровень жыжкі стаіць на нейкай вышыні ў трубцы. Калі апусьцім бутэльку ў гарачую ваду, то заўважым, што ровень жыжкі спачатку трохі панізіцца, а пасьля падымецца вышэй за пачатнае палажэньне. Тлумачыцца гэта тым, што шкло бутэлькі скарэй нагрэецца і зьмест яе павялічыцца, але, калі пачне павялічавацца і тэмпэратура самае жыжкі, то ровень яе ня толькі вернецца да пачатнага палажэньня, але і падымецца вышэй. Гэта значыць, што пашыральнасьць жыжкі больш за пашыральнасьць шкла.

Возьмем тую самую бутэльку і нальлём у яе на дно гэтулькі жыжкі, каб у ёй апынуўся толькі канец трубкі (рыс. 217). Калі паложым руку на бутэльку, то жыжка зараз пачне падымацца ў трубцы. Гэты дасьлед паказвае вялікую пашыральнасьць газаў пры награваньні: паветра у бутэльцы, нагрэтае ад рукі, выпірае жыжку ў трубку.

122. Тэрмоскоп. Возьмем тонкую трубку з кулькай на канцы (рыс. 218) і напоўнім яе якой-небудзь жыжкай, — прыкл. сьпіртам. Памясьціўшы кульку ў судзіну з вадой, замецім вышыню роўня жыжкі ў трубцы. Перанясём цяпер нашу прыладу ў другую судзіну з вадой. Калі цераз нейкі час ровень жыжкі астанецца той самы, то мы сцьвярджаем, што тэмпэратура ў абедзьвюх судзінах аднолькавая. Калі-ж у другой судзіне ровень жыжкі ў трубцы займець вышэйшае палажэньне, то ясна, што вада ў гэтай судзіне цяплейшая, чым у першай; наадварот, калі ровень стане ніжэй, то тэмпэратура вады другое судзіны ніжэйшая за першую.



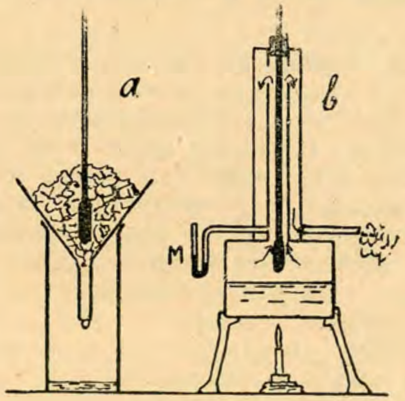
Рыс. 217.

Рыс. 218.

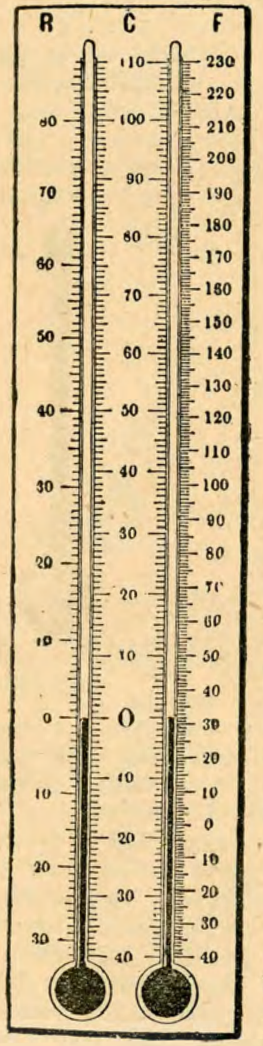
Такім чынам, не карыстаючыся нашым вельмі няточным пачуцьцём цяплыні, мы можам раўнаваць тэмпэратуру целаў пры падмозе вышэй апісанае прылады, якая завецца тэрмоскопам. Агулам, тэрмоскопам завецца ўсякая прылада, якая пазваляе раўнаваць тэмпэратуры целаў, або розныя тэмпэратуры аднаго цела, хоць і бяз точнага азначэньня розьніц.

123. Тэрмомэтр. Тэрмоскоп мае паважныя недахваты: трубка ў яго адкрытая і жыжка выпароўваецца, трубка сама ўзята без засьцярогаў, і г. д. Возьмем трубку з таўстымі сьценкамі, але за тое з вузкім каналам, і спраўдзім пры падмозе каплі ртуці, ці канал усюды мае аднолькавую шырыню. Затым на агні расплавім канец трубкі і выдзьмем кульку, напоўнім кульку і трубку жыжкай, прыкл., ртуцьцю, і ўрэшце запаяем адкрыты канец трубкі. Атрыманая гэтак прылада будзе шмат тачнейшая за тэрмоскоп, і ёю можам ужо карыстацца для памераў. Ужо ведаем, што ў гэтай прыладзе кожны ровень ртуці адпавядае нейкай тэмпэратуры; значыцца, трэба нам выбраць толькі шкалю. Заўважана і сцьверджана многімі дасьледамі, што ў таючым лёдзе тэрмоскоп заўсёды паказвае тую самую тэмпэратуру. Так сама сцьверджана, што тэрмоскоп астанаўліваецца на тэй самай вышыні, калі яго ўвясьці ў пару кіпячае вады пры нормальным атмосфэрным ціску (760 mm). Гэтыя дзьве тэмпэратуры ёсьць сталыя, і ўмоўлена іх прымаць для ўстанаўленьня шкалі тэмпэратураў. Тэмпэратуру таючага лёду прынялі за 0 (нуль) градусаў, а тэмпэратуру кіпячае вады (або пары яе) пры 760 mm ціску за 100 (сто) градусаў.

Цяпер абазначым гэтыя пункты на нашай прыладзе. Зьмяшчаем яе ў таючы лёд (рыс. 219a) і абазначаем рыскай і лічбай 0 палажэньне роўня ртуці ў трубцы. Затым пераносім яе ў судзіну, у якой кіпіць вада (рыс. 219b). Уся наша прылада знаходзіцца пад дзейнасьцю пары. Сама-ж пара мае свабодны выхад у атмосфэру; таму, калі атмосфэрны ціск раўняецца 760 mm, і маномэтр (M) паказвае, што ціск пары ў судзіне P раўняецца атмосфэрнаму, то на трубцы абазначаем ровень ртуці новай рыскай і лічбай 100. Затым адлежнасць паміж рыскамі 0 і 100 дзелім на 100 роўных частак, ды такія самыя часткі адкладаем і ніжэй за 0 і вышэй за 100. Наш тэрмоскоп стаў ужо цяпер **тэрмомэтрам**, г. з. прыладай, якой можам ня толькі спасьцерагаць зьмены тэмпэратуры, але і мерыць іх саўсім точна.



Рыс 219.

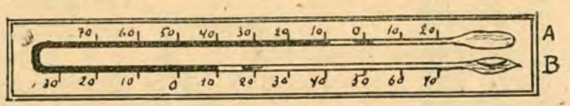


Рыс. 220.

Вышэй апісаная шкаля для тэрмомэтраў ужываецца ў навуцы і завецца шкаляй Цэльзія (Celsius); у яе адзінках абазначаюць тэмпэратуру гэтак: 0^0C, —7^0C, 15^0C і г. д. Істнуюць яшчэ шкалі Рэомюра (Reaumure), які прыняў за 0^0 той самы сталы пункт—таяньне лёду, а другі сталы пункт, кіпеньня вады, абазначыў цераз 80^0, а не 100^0. Таму $1^0 R = {}^5/_4{}^0 C$, і наадварот: $1^0 C = {}^4/_5{}^0 R$. У Амэрыцы ўжываецца шкаля Фарэнгэйта (Fahrenheit), якая пункт таяньня лёду абазначае 32^0, а тэмпэратуру пары кіпячае вады 212^0. Таму $1^0 F = {}^5/_9{}^0C = {}^4/_9{}^0R$ (рыс. 220).

На вышэй апісаных асновах робяцца тэрмомэтры, якія ў залежнасьці ад таго, у якіх целах яны павінны мерацЬ тэмпэратуру, маюць тую ці іншую будову.

Чым больш ртуці будзе ў кульцы і чым танчэйшая тэрмомэтрычная трубка, тым вялікшымі будуць адлежнасьці паміж рыскамі градусаў тэрмомэтру. Лекарскі тэрмомэтр мае такія доўгія адлежнасьці паміж рыскамі, што яны падзелены на дзясятыя часткі. Ёсьць тэрмомэтры, якія маюць падзелку на сотныя часткі градуса. Лекарскі тэрмомэтр паказвае тэмпэратуру толькі паміж 35^0C і 43^0C, бо ў гэтых межах хістаецца тэмпэратура чалавечага цела. Лекарскі тэрмомэтр вызначаецца яшчэ тым, што ён **максімальны**, г. зн. што ровень ртуці затрымліваецца на тэй найвялікшай тэмпэратуры, да якое дайшла ртуць у тэрмомэтры. Дасягаем гэтага тым, што ў месцы злучэньня трубкі з кулькай робіцца сільнае звужэньне, цераз якое ртуць гоніцца ў трубку ціскам пашыраючагася зьмесьціва кулькі, але назад ужо сама ня йдзець, а трэба яе стрэсьці. Гэтыя тэрмомэтры называюцца яшчэ мінутнымі, а гэта таму, што яны хутка награваюцца да максімальнае тэмпэратуры чалавечага цела. Дзеля гэтае мэты рэзэрвуар ртуці мае ў іх форму ня кулькі, а доўгага цыліндра, або сьпіральнае трубкі і г. д.



Рыс. 221.

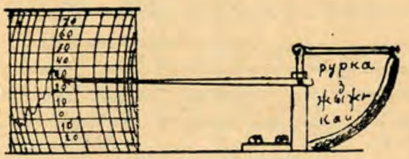
Ртутныя тэрмомэтры ня могуць быць ужываны для тэмпэратураў ніжэйшых за —39^0C, бо ртуць пры гэтай тэмпэратуры замярзае (робіцца цьвёрдай). Так сама шкляныя трубкі ня вытрымліваюць тэмпэратуры вышэй за 500^0C, дык заместа шкла ўжываюць для тэмпэратураў ад 500^0C да 700^0C кварцавыя, і ў іх над ртуцьцю знаходзіцца газ, прыкл. двутлёністы вугаль, які не дапускае кіпеньня ртуці.

На мэтэоролёгічных станцыях ужываюцца максімальна-мінімальныя тэрмомэтры. Шкляная трубка з двума рэзэрвуарамі сагнута ў сярэдзіне сваёй даўжыні. У гэтым калене знаходзіцца стоўбік ртуці. З аднага яго канца A ўся трубка і рэзэрвуар напоўнены сьпіртам (рыс. 221). У другім канцы B у сьпірце астаўлена бурбалька газу. Пашырэньне сьпірту ў A вызывае рух стоўбіка ртуці ў кірунку B. Калі тэмпэратура падае, то ўпругасьць газу вызывае рух стоўбіка ртуці ў кірунку A. Для адзначэньня максімум і мінімум тэмпэратуры ўжываюцца кавалкі зялеза (індэксы) ў сьпірце ў абодвух каленах. Стоўбік ртуці падпіхае іх пры сваім руху ўперад, але пры руху назад ён іх ня цягне з сабой. І вось, пакінуўшы такі тэрмомэтр на 24 гадзіны, глядзяць па індэксах тэмпэратуру максімум і мінімум, якая была за гэтую пару. Затым пры падмозе магнэту падводзяць абодва індэксы да роўняў ртуці, і тэрмомэтр ізноў гатоў да ўжытку. Гэткі тэрмомэтр калібруецца, раўнуючы да нормальнага.

Для мераньня тэмпэратураў, ніжэйшых за — 39⁰C, ужываюцца тэрмомэтры з сьпіртам. Для высокіх тэмпэратураў ужываюцца тэрмомэтры, ведамыя пад назовам піромэтраў; аб аснове, на якой яны збудаваны, будзе гутарка далей.

Існуюць так сама тэрмомэтры, што самі запісваюць увесь час тэмпэратуру: тэрмографы (рыс. 222), будова якіх падобна да будовы барографаў (гл. § 126, а так сама рыс. 162).

124. Нормальны тэрмомэтр. Калі зробім некалькі тэрмомэтраў з рознага гатунку шкла, або калі ў тэрмомэтрычныя трубкі з таго самага гатунку шкла нальлём рознае жыжкі і на кожным з гэтых тэрмомэтраў абазначым ведамым спосабам 0⁰ і 100⁰C, а пасьля зробім на кожным падзелкі на градусы, то толькі гэтыя дзьве тэмпэратуры 0⁰ і 100⁰C будуць паказаваць нашы тэрмомэтры аднолькава. Усякая іншая тэмпэратура будзе паказана блізка на кожным тэрмомэтры розна. І ня дзіва! Мы-ж карыстаемся living рознымі матэрыяламі для будовы тэрмомэтраў, а кожны матэрыял мае свае ўласьцівасьці. Толькі тады-б атрымалі мы поўную згоднасьць паказаньняў, калі-б гэтыя ўласьцівасьці аднолькава зьмяняліся разам з зьменай тэмпэратуры. А гэта трудна дапусьціць. Наадварот, фізыка вучыць, што пры зьменах тэмпэратуры выступаець індывідуалізацыя ў зьменах уласьцівасьцяў матэрыялаў.



Рыс. 222.

Значыць, зрабіўшы нейкі тэрмомэтр, мы ня можам быць пэўнымі, што ён паказвае точна. І вось з гэтага вынікла патрэба выбраць адзін тып тэрмомэтра, назваць яго нормальным і паводле яго рабіць праверку ўсіх іншых. За такі нормальны тэрмомэтр выбраны газавы тэрмомэтр (гл. § 134). Па гэтаму тэрмомэтру для зробленых іншых тыпаў азначаюцца папраўкі, г. зн. вялічыні ў градусах, якія трэба дадаць, або адняць, каб паказаньні дадзенага тэрмомэтра былі точнымі. Звычайна да тэрмомэтра далучаецца табліца, дзе паказана, пры якой тэмпэратуры якую трэба зрабіць папраўку (прыкл. для 30⁰C папраўка + 0,003⁰, або для 70⁰C папраўка—0,01⁰).

Апроч таго трэба заўважыць, што з часам у структуры (унутранай будове) матэрыялаў, з якіх зроблены тэрмомэтр, выяўляюцца зьмены, якія выклікаюць зьмену паказаньняў тэрмомэтра; прыкл. пункты 0⁰ і 100⁰ перасоўваюцца. Таму раз у некалькі гадоў праўляюцца тэрмомэтры, раўнуючы іх да нормальнага.

Толькі дзякуючы гэтым спосабам можна раўнаваць рэзультаты, атрыманыя рознымі людзьмі ў розныя часы.

ЗАДАЧЫ.

102. Якой лічбе градусаў па C роўны 24⁰ R, 72⁰ R, 164⁰ F, 15⁰ F?

103. Сколькім градусам па R і F адпавядаюць 9⁰ C, 143⁰ C, 64⁰ C, — 12⁰ C?

104. Тэрмомэтры F і C, знаходзячыся ў аднэй жыжцы, паказваюць аднольковыя лічбы градусаў. Якую тэмпэратуру яны паказваюць?

105. Тэрмомэтр F паказвае ўтрая вялікшую лічбу градусаў за тэрмомэтр C. Абодва яны знаходзяцца ў аднэй жыжцы. Якая тэмпэратура жыжкі?

АДДЗЕЛ II. КОЭФІЦЫЕНТЫ ПАШЫРАЛЬНАСЬЦІ.

125. Коэфіцыент лінейнае пашыральнасьці. Возьмем мэталёвы дручок, які мае пры 0⁰ C даўжыню l_0. Ведаем, што ён пры зьмене тэмпэратуры зьменіць сваю даўжыню: пры павышэньні яе ён падоўжыцца, пры паніжэньні скароціцца. У новай тэмпэратуры t⁰ даўжыня яго будзе l. Розьніца паміж новай яго даўжынёй і пачатнай, $l—l_0$, будзе абсолютным прыростам даўжыні. Нас аднак цікавіць, на якую велічыню падоўжылася ці скарацілася адзінка пачатнае яго даўжыні, і вось мы дзелім увесь абсолютны прырост на даўжыню, $(l—l_0) : l_0$. Гэта будзе адносны прырост даўжыні.

Алеж тэмпэратура дручка зьмянілася з 0⁰ у t⁰. Значыць, прырост даўжыні на кожны градус C будзе ў t разоў меншы:

$$\lambda = \frac{l-l_0}{l_0} \cdot \frac{1}{t} = \frac{l-l_0}{l_0\,t} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

Велічыня λ і ёсьць сярэдні коэфіцыент лінейнае пашыральнасьці матэрыялу, з якога зроблены дручок, пры зьмене тэмпэратуры з 0⁰ у t⁰ C. Ен паказвае, на якую частку сваей пачатнай даўжыні падаўжаецца або скарачаецца матэрыял, калі тэмпэратура зьмяняецца на 1⁰.

Памеры паказалі, што для цьвёрдых целаў коэфіцыент лінейнае пашыральнасьці так нязначна зьмяняецца ў залежнасьці ад рубяжоў тэмпэратуры, у якіх рабіліся дасьледы, што можам прыняць λ за сталы коэфіцыент лінейнае пашыральнасьці.

Коэфіцыент лінейнае пашыральнасьці для:

Медзі	0,000017	Срэбра	0,000019
Зялеза	0,000012	Бронзы	0,000018
Цынку	0,000029	Шкла	0,000009
Плятыны	0,000009	Чыгуну	0,000011
Кварцу ∥ да восі . .	0,0000074	Кварцу ⊥ да восі . .	0,0000137

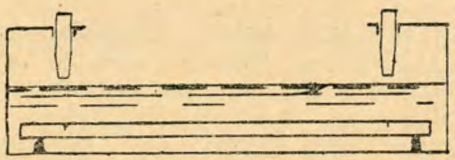
Перапішам раўн. (1) так:

$$l = l_0\,(1 + \lambda t) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

Гэта і ёсьць раўнаваньне, з якога можам аблічыць новую даўжыню прадмета для якое-хоч тэмпэратуры, калі нам ведама пачатная даўжыня і коэфіцыент лінейнае пашыральнасьці.

У табліцы паказаны коэфіцыенты лінейнае пашыральнасьці, пры гэтым толькі для кварцу (горны крыштал) паказаны два коэфіцыенты. Гэта значыць, што ўсе названыя целы, апроч кварцу, пашыраюцца ўва ўсіх кірунках аднолькава. Куля з зялеза, нагрэтая да t^0 С, астанецца точнай куляй. Гэтыя целы завуцца роўнакірункавымі. Кварц і наагул крышталы маюць розныя вялічыні сваіх уласьцівасьцяў залежна ад кірунку. Гэткія целы завуцца рознакірункавымі. Кварц уздоўж восі сымэтрыі пашыраецца блізка ўдвая менш, чым у стацьцявым да яе кірунку.

Знаход коэфіцыента лінейнае пашыральнасьці вымагае точнага мераньня даўжыні і точнага абазначэньня тэмпэратураў. На рыс. 223 паказана прылада для гэтых памераў, якая завецца компаратарам. У ваньне, тэмпэратура якое мерыцца тэрмомэтрамі, знаходзіцца ў вадзе або іншай жыжцы дручок, над якім робіцца дасьлед. Два мікроскопы ўстанаўліваюцца точна над рыскамі, зробленымі на мераным дручку.



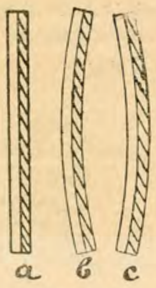
Рыс. 223.

Істнуе вялікая лічба розных мэтодаў для знаходу гэтых коэфіцыентаў; аднак, усе яны вымагаюць вельмі точных памераў і таму могуць быць роблены толькі ў добра абстаўленых лябораторыях.

Прыклад. Трубка з бронзы мае даўжыню 248,5 cm пры 18^0 С; калі тэмпэратура павялічылася да 100^0, памеры далі прырост даўжыні $= 0{,}38$ cm.

$$\lambda = \frac{0{,}38}{248{,}5\ (100 - 18)} = \text{каля } 0{,}000019.$$

126. Мэталёвы тэрмомэтр. З табліцы лінейнае пашыральнасьці матэрыялаў бачым, што розныя мэталі маюць розныя коэфіцыенты пашыральнасьці. Таму, калі спаяем два дручкі з мэталяў рознае пашыральнасьці, то гэтае цэла будзе зьмяняць сваю форму пад уплывам зьменаў тэмпэратуры. Калі возьмем зялеза і медзь (рыс. 224-а медзь з левага боку), то пры тэмпэратуры t, пры якой яны спаяны, яны будуць простым дручком. Калі тэмпэратура павысіцца, дручок выгнецца так, як на рыс. 224-b; калі панізіцца, то так, як на рыс. 224-с.



Рыс. 224

На гэтым асნованы мэталёвыя тэрмоскопы і тэрмомэтры. Калі адзін канец такога дручка замацуем у аправе, а да другога даробім стрэлку, то кожнае палажэньне стрэлкі будзе адпавядаць нейкай тэмпэратуры. Астаецца праградуаваць яго, і мы атрымаем мэталёвы тэрмомэтр.

Тэрмограф, прылада для неперарыўнага запісваньня тэмпэратуры, часта будуецца на тэй самай аснове. На рыс. 222 паказаны тэрмограф, асновы на тым, што ў жыжак пашыральнасьць вялікшая, чым у цьвёрдых целаў. Плоская трубка напоўнена жыжкай. Пры павышэньні тэмпэратуры жыжка пашыраецца болей за трубку, і ўнутры апошняе павялічваецца ціск, які імкнецца выпраставаць трубку. Дручкі перадаюць гэтыя рухі стрэлцы з пяром, якое праводзіць лінію на паперы, аберненай на кружачымся вельмі паволі (1 абарот за пару, або за тыдзень) цыліндры.

127. Коэфіцыент пашыральнасьці абыйма. Калі v_0 абазначае пачатнае абыймо пры 0^0C, а пры t^0C яно будзе v, то абсолютны прырост абыйма будзе $v—v_0$ Адносны прырост абыйма ёсьць прырост адзінкі абыйма, г. зн. $\frac{v - v_0}{v_0}$. Дзелючы адносны прырост абыйма на розьніцу тэмпэратураў, якая яго выклікала, г. зн.:

$$\alpha = \frac{v - v_0}{v_0\ t} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (1)$$

атрымаем сярэдні коэфіцыент пашыральнасьці абыйма, які паказвае, на якую частку пачатнага абыйма зьмяняецца сярэдня абыймо дадзенага цела, калі тэмпэратура зьменіцца на 1^0 у межах ад 0^0 да t^0C.

Для цьвёрдых целаў велічыня гэтага коэфіцыента мала зьмяняецца ад тэмпэратуры, у якой робіцца дасьлед, таму можна ў практыцы лічыць яго сталым пры ўсякіх тэмпэратурах. Інакш стаіць справа з жыжкамі; гэта ясна паказвае табліца, што ніжэй:

Этылавы сьпірт . .	— 40^0	0, 00097	Ртуць	10^0	2,00018180
„ „ . .	+ 10^0	0,001051	„	20^0	„ 18181
„ „ . .	30^0	0,001081	„	30^0	„ 18183
Этэр (эфір)	10^0	0,001518	„	40^0	„ 18186
„ „	20^0	0,001561	„	50^0	„ 18189
Гліцэрына	10^0	0,00049	„	60^0	„ 18193
Нафта (газа) . . .	10^0	0,0009	„	70^0	„ 18198
Тэрпэнтына	10^0	0,0009	„	80^0	„ 18203
Бэнзол	18^0	0,0012	„	90^0	„ 18209
Серкавая кісьля . .	18^0	0,00055	„	100^0	„ 18216
Аліва францускfinal .	18^0	0,00072	„	130^0	„ 18241

Адносна мала зьмяняецца пры зьмене тэмпэратуры коэфіцыент пашыральнасьці ртуці, а таму яна добра надаецца для тэрмомэтраў.

Перапішам раўн. (1) вось як:

$$v = v_0\ (1 + \alpha\ t)\ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (2).$$

Гэтае апошняе дае магчымасьць аблічыць новае абыймо цела, калі ведама пачатнае абыймо яго і коэфіцыент пашыральнасьці абыйма.

Лёгка можам знайсьці залежнасць паміж лінейнай пашыральнасьцю і пашыральнасьцю абыйма, але толькі для роўнакірункавых целаў. Зробім з гэткага матэрыялу куб, руб (кант) якога мае даўжыню l_0 пры 0^0, а абыймо $v_0 = l_0^3$. Пры t^0 даўжыня руба будзе $l = l_0(1+\lambda t)$ і абыймо $v = l^3 = l_0^3(1+\lambda t)^3$. З другога боку, калі коэфіцыент пашыральнасьці абыйма гэтага матэрыялу будзе α, то $v = v_0\ (1+\alpha t)$, значыць:

$$v_0\ (1+\lambda t)^3 = v_0\ (1+\alpha t).$$

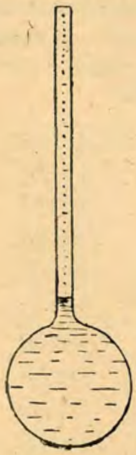
$$\text{або}\ 1+\alpha t = 1 + 3\lambda t + 3\lambda^2 t^2 + \lambda^3 t^3$$

$$\text{скуль}\ \alpha = 3\lambda + 3\lambda^2 t + \lambda^3 t^2 \ldots\ldots (3)$$

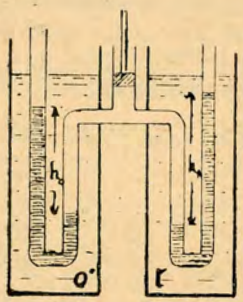
Дзеля таго, што λ ёсьць малы дроб, то яго другая і трэцяя ступень будуць вялічынямі меншымі за тую няточнасьць, якая заўсёды робіцца пры аблічэньні λ. Таму два апошнія склады ў раўн. (3) можам і павінны мы адкінуць, і тады:

$$\alpha = 3\lambda \ldots\ldots (4)$$

Значыць, для роўнакірункавых матэрыялаў коэфіцыент пашыральнасьці абыйма раўняецца трайному коэфіцыенту лінейнае пашыральнасьці.



Рыс. 225.



Рыс. 226.

128. Знаход коэфіцыентаў пашыральнасьці абыйма. Для цьвёрдых роўнакірункавых целаў мы ня маем патрэбы знаходзіць α; даволі знайсьці λ, і тады бяром: $\alpha = 3\lambda$ з патрэбнай для навукі точнасьцю.

Прыкладам, калі для зялеза $\lambda = 0{,}000012$, то $\alpha = 0{,}000036$.

Для рознакірункавых целаў трэба знахадзіць λ для кожнага кірунку паасобку, бо ўсё роўна α ня дасьць нам паняцьця аб тым, якія ў целе адбываюцца зьмены.

Велічыню коэфіцыента пашыральнасьці абыйма трэба спэцыяльна знахадзіць для жыжак, бо для іх ня маем магчымасьці знайсьці λ. Звычайна ўжываюць шкляную кульку з трубачкай (рыс. 225), якая завецца дылятомэтрам. На трубачцы ёсьць рыскі, і пры кожнай напісана адпаведнае абыймо. Мераючы прырост абыйма жыжкі і адпаведныя тэмпэратуры, мы атрымліваем коэфіцыент відавочнага павялічаньня абыйма жыжкі. Калі да яго дадамо велічыню коэфіцыента пашыральнасьці абыйма шкла, з якога зроблены дылятомэтр, то дастанем велічыню коэфіцыента запраўднае пашыральнасьці абыйма дадзенае жыжкі.

Аднак, можна абыйсьціся бяз мераньня коэфіцыента пашыральнасьці для шкла вось гэтак (рыс. 226). Дзьве шкляныя трубкі, выгнутыя ў форме U, злучаны паміж сабой і з паветранай помпкай. У трубкі наліта жыжка, якую хочам дасьледзіць. Адна з трубак (прыкл. левая) памяшчаецца ў таючы лёд пры 0^0, а другая (правая) ў судзіну з вадой пры t^0, якую заўсёды можам нагрэць да жаданае тэмпэратуры. Калі ціск пад таўкачом помпкі будзе роўны атмосфэрнаму, то ў кожнай трубцы жыжкі будуць стаяць у абодвух каленах аднолькава. Калі ўвапхнем таўкач, то сьціснутае паветра падымае стоўбікі жыжкі ў вонкавых каленах трубак. Розьніца роўняў у правай частцы прылады будзе іншая, чым у левай, бо гушчыня жыжкі ў правай частцы вялікшая. Велічыня ціску, як ведаем, раўняецца множыву вышыні стоўбіка h на гушчыню d і на гравітацыйны прысьпех g. Для левай часткі прылады велічыня ціску будзе $h_0 d_0 g$ і для правай яна роўна $h_1 d_1 g$. Гэты ціск аднолькавы, значыць:

$$h_0 d_0 g = h_1 d_1 g,\ \text{або:}\ \frac{h_1}{h_0} = \frac{d_0}{d_1} \ldots\ldots (1)$$

Але ясна, што гушчыня цела зьмяняецца адваротна пропорцыянальна да абыйма, г. зн., што чым больш павялічваецца абыймо, тым больш меншае гушчыня цела:

$$\frac{d_0}{d_1} = \frac{v_1}{v_0} = \frac{1+\alpha t}{1} \ldots\ldots (2)$$

бо $v_1 = v_0\ (1+\alpha t)$.

Раўнаваньні (1) і (2) даюць:

$$\frac{h_1}{h_0} = 1+\alpha t$$

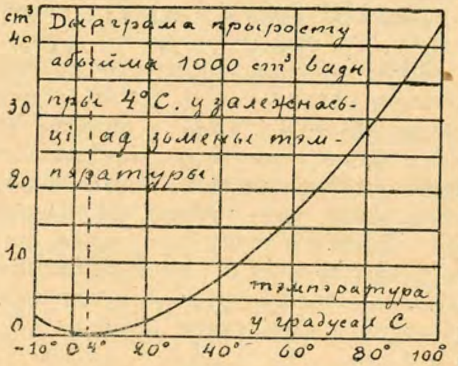
скуль

$$\alpha = \frac{h_1 - h_0}{h_0 t} \ldots\ldots (3).$$

Для знаходу α трэба точна памерыць вышыні стоўбікоў h_1 і h_0, а такжа тэмпэратуру t.

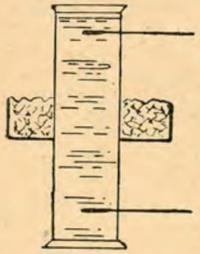
129. Пашыральнасьць вады. Мы ўжо адзначылі, што пашыральнасьць жыжак не аднолькавая для розных тэмпэратураў. Выразным прыкладам гэтага можа служыць пашыральнасьць вады. Пры павялічэньні тэмпэратуры ад 4°C вада пашыраецца, пры гэтым коэфіцыент α прогрэсіўна павялічваецца. Пры студжэньні вады ніжэй 4°C вада так сама пашыраецца аж да хвіліны, калі яна зьменіцца ў лёд (рыс. 227). Значыць, пры 4°C вада мае найменшае абыймо, або, што тое самае, найвялікшую гушчыню.

Гэтую ўласьцівасьць вады лёгка паказаць на прыладзе (рыс. 228), якая складаецца з высокага цыліндра, у сярэдней сваёй частцы акружонага мэталёвым кошам. У цыліндр наліваецца вада пры пакаёвай тэмпэратуры, а ў кош кладзецца астуджаючая мешаніна лёду і солі. Тэрмомэтры, устаўленыя ў цыліндр, паказваюць зьмены тэмпэратуры вады ў верхняй і ісподняй частках цыліндра. I вось перш-на-перш пачынае падаць тэмпэратура ў ісподняй частцы, пакуль ня дойдзе да 4⁰ С ды на гэтым і задзержыцца. Тады пачынае падаць тэмпэратура ў верхняй частцы цыліндра. Астуджаная вада, як больш густая, падае ўніз, пакуль тэмпэратура не пачне паніжацца ніжэй за 4⁰ С. Тады пашырыўшыяся молекулы вады падымаюцца ўверх.



Рыс. 227.

Гэтыя зьявішчы адбываюцца ў водах, якія знаходзяцца на зямной кулі. Тэмпэратура вады ў глыбях вазёр і рэкаў ніколі не паніжаецца ніжэй за 4⁰ С.



Рыс. 228.

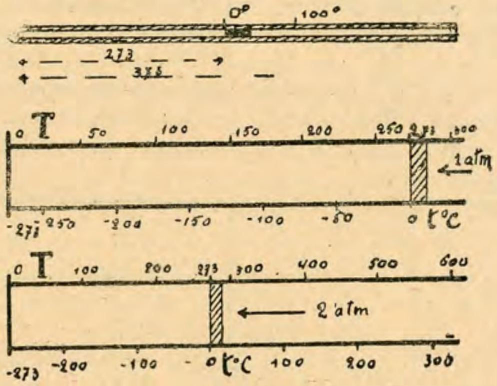
Калі прымем пад увагу, што лёд мае яшчэ вялікшае абыймо, чым вада, з якое ён паўстаў, то ясна, што ўласьцівасьць вады пашырацца пры студжэньні дае магчымасьць захаваньня органічнага жыцьця на дне замярзаючых водаў.

130. Коэфіцыент пашыральнасьці газаў. З усіх целаў найвялікшую пашыральнасьць пры зьмене тэмпэратуры выяўляюць газы (каля 150 разоў вялікшую, чым шкло, і каля 20 разоў большую за ртуць). Шарль (Charles) і Гей-Люсак (Gay Lussac) каля 1800 году выкрылі, што ўсе газы, усе газавыя мешаніны, а навет ненасычаная пара маюць блізка аднолькавы коэфіцыент пашыральнасьці, які раўняецца

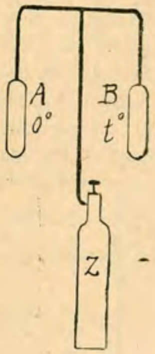
$$\alpha = \frac{1}{273} = 0{,}00367 \quad . \; . \quad . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Дужа просты, хоць і не саўсім точны, дасьлед пазваляе спраўдзіць гэта. Возьмем шкляную трубку, з аднаго канца адкрытую (рыс. 229). Трубка павінна мець усюды аднолькавае сячэньне ў канале. Капля ртуці зачыняе нейкую колькасьць газу, астуджанага да 0⁰. Калі падагрэем газ, зачынены ў трубцы, да t⁰, то капля ртуці перасунецца на $\frac{t}{273}$ часткі пачатнае даўжыні стоўбіка газу.

Калі пачатная даўжыня была 273 mm, то, нагрэўшы газ да 50⁰ С, атрымаем новую даўжыню: 273+50=323 mm; калі нагрэем газ да 100⁰, то новая даўжыня стоўбіка газу будзе 373 mm. У гэтым дасьледзе газ астаецца ўвесь час пад тым самым ціскам аднае атмосфэры.



Рыс. 229.



Рыс. 230.

Для лябораторнага мэтода памераў коэфіцыента пашыральнасьці газаў ужываюцца дзьве судзіны аднолькавага зьместу A і B (рыс. 230), якія напаўняюцца тым самым газам з рэзэрвуара Z. Судзіну A астуджаем лёдам да 0⁰, а судзіну B награваем (або астуджаем) да t⁰. Абазначым масу газу ў A цераз m_0, а ў B цераз m_1, гушчыні-ж іх адпаведна d_0 і d_1; тады

$$d_0 : d_1 = (1 + \alpha t) : 1.$$

тады

$$m_0 : m_1 = 1 + \alpha t.$$

Скуль

$$\alpha = \frac{m_0 - m_1}{t\, m_1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

Зважыўшы масы газаў у A і B і памерыўшы точна тэмпэратуру t, атрымліваем α. Гэтым і іншымі точнымі лябораторнымі мэтодамі былі знойдзены вось якія коэфіцыенты пашыральнасьці газаў пры нязьменным ціску:

газ.	p	t	α	газ.	p	t	α
Паветра	1	100	0.00367	Вадарод	1	100	0,00366
„	20	100	„ 383	„	100	100	„ 351
„	„	−103	„ 410	„	500	100	„ 278
„	„	−145	„ 450	„	1000	100	„ 219
„	50	100	„ 410				
„	„	−103	„ 487	Двутлёністы вугаль	1	100	„ 371
„	„	−135	„ 619	„	3,32	100	„ 385
„	100	100	„ 441	Азот	1	100	„ 367
„	„	−103	„ 579	Аднатлёністы вугаль	1	100	„ 367

131. Коэфіцыент пружкасьці газаў *). Калі будзем газ награваць, захоўваючы яго абыймо нязьменным, то ясна, што яго пружкасьць будзе павялічвацца. Возьмем нейкае пачатнае абыймо газу v_0 пры 0^0C і пры ціску p_0. Нагрэем яго да t^0C, пазваляючы пашырацца пад тым самым ціскам; тады атрымаем новае абыймо $v = v_0 (1 + \alpha t)$. Калі цяпер, усё захоўваючы тэмпэратуру t^0C, паменшым абыймо газу да v_0, то, па закону Бойль-Мар'ёта, ціск яго павялічыцца да $p_0 (1 + \alpha t)$. Значыць, тэорэтычна коэфіцыент пружкасьці газаў β раўняецца коэфіцыенту іх пашыральнасьці: $\beta = \alpha = 1 : 273$.

Вельмі точныя памеры для коэфіцыента пружкасьці газаў β даюць вось якія вялічыні:

газ:	p	t	β	газ:	p	t	β
Паветра	1	100	0,00367	Двутлёністы вугаль	0,024	100	0,00368
„	19,8	100	„ 386	„	1	100	„ 371
„	„	−145	„ 396	Тлён	1	100	„ 367
Вадарод	1,3	100	„ 366	Аднатлёністы вугаль	1	100	„ 367
Азот	1	100	„ 367				

132. Абсолютная тэмпэратура. Калі ў раўнаваньне (2) з § 127, якое дае новае абыймо цела пры зьмене тэмпэратуры, але пры сталым ціску:

$$v = v_0 (1 + \alpha t) \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

падставім заместа α яго велічыню для газаў, то атрымаем:

$$v = v_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) \quad \text{або:} \quad v_0 = \frac{v_0}{273} (273 + t) \; . \; . \; . \; . \; (2).$$

Значыць, зьмена абыйма газу залежыць безпасярэдня не ад тэмпэратуры t, якую мы лічылі па шкале Цэльзія, пачынаючы ад тэмпэратуры таяньня лёду, але ад тэмпэратуры $(273 + t)$, г. зн. ад тэмпэратуры, лічанае ад пункту, які ляжыць на 273^0 па шкале Цэльзія ніжэй за тэмпэратуру таяньня лёду. Гэтая новая шкаля прымаецца ў навуцы пад назовам абсолютнае і абазначаецца цераз T; значычь, $T = (273^0 + t^0)$C (гл. рыс. 229). Раўнаваньне (2) тады перапішацца гэтак:

$$v = \frac{v_0}{273} T \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

---

*) З прычыны таго, што упругасьць у газаў выяўляецца у форме імкненьня заняць увесь вольны прастор і гэтым розьніцца ад упругасьці плыўкіх і цьвёрдых целаў, мы для газаў будзем ужываць тэрмін не ўпругасьць, а *пружкасьць*.

што дае для закона Шарля такую формулоўку: абыймо газу пры нязьменным ціску пропорцыянальна да абсолютнае тэмпэратуры.

Калі напішам раўнаваньне пружкасьці газаў пры нязьменным абыйме ў залежнасьці ад абсолютнае тэмпэратуры, то, прымаючы пад увагу тое, што было сказана ў § 131, атрымаем:

$$p = p_0 (1 + \alpha) = \frac{p_0}{273} (273 + t) = \frac{p_0}{273} T \; . \; . \; . \; . \; (4).$$

І тут мы таксама бачым, што пружкасьць газу пры нязьменным абыйме пропорцыянальна да абсолютнае тэмпэратуры. Калі T будзе раўняцца 0^0, г. зн. калі t^0 раўняецца $(— 273)^0$ па Цэльзыю, то ідэальны газ ня мае ніякае пружкасьці.

І вось гэтая тэмпэратура, пры якой ідэальны газ траціць усю сваю пружкасьць, называецца тэмпэратурай абсолютнага нуля.

Няхай p_0 і v_0 абазначаюць пружкасьць і абыймо газу пры тэмпэратуры 0^0C; трэба даведацца, якія адносіны будуць паміж p і v пры тэмпэратуры t^0C.

Калі гэты газ нагрэем да t^0C, не даючы яму зьмяняць абыйма v_0, то яго пружкасьць будзе (4):

$$p_1 = p_0 (1 + \alpha t) = \frac{p_0}{273} T.$$

Далей, закон Бойль-Мар'ёта кажа, што, калі будзем зьмяняць абыймо газу бяз зьмены тэмпэратуры, то множыва яго пружкасьці на абыймо ёсьць велічыня сталася; значыць, у новым абыйме v пры тэмпэратуры t^0C будзем мець:

$$pv = p_1 v_0 = \frac{p_0 v_0}{273} T \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (5)$$

Раўнаваньне (5) і ёсьць аснаўное раўнаваньне ідэальнага газу. Яно прадстаўляе злучаныя законы Бойль-Мар'ёта і Шарля-Гей-Люсака. Запраўды, калі прымем, што тэмпэратура не зьмяняецца, то $pv = const$, што кажа закон Бойль-Мар'ёта. Калі прымем, што упругасьць не зьмяняецца, г. зн. $p = p_0$, то атрымаем закон Шарля:

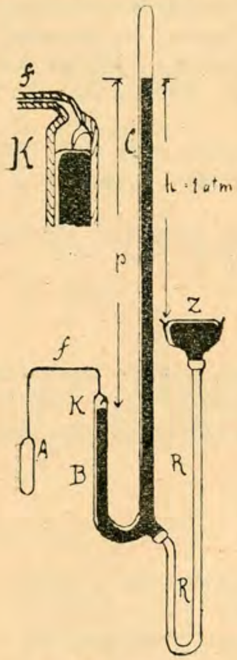
$$v = \frac{v_0}{273} T \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (6).$$

Разгледзім, што дасьць нам гэтае раўнаваньне (6), калі $T = 0$, значыць, пры тэмпэратуры абсолютнага нуля. Тады для v дастанем 0, а гэта значыць, што цела (газ) пры тэмпэратуры абсолютнага нуля «ня мае ніякага абыйма». У гэтым і крыецца ўся прычына няточнасьці законаў Шарля і Бойля: абодва гэтыя законы ня прымаюць пад увагу велічыні абыйма молекулаў газаў, якое ніколі ня можа быць роўным нулю.

Далей, мы ўжо ведаем, што ідэальны газ пры тэмпэратуры абсолютнага нуля ня будзе мець пружкасьці ($p = 0$). Кінэтычная тэорыя тлумачыць пружкасьць газаў, як вялікшае або меншае «бомбардаваньне» молекулаў газу. Калі «бомбардаваньня» ня будзе, то, значыць, ня будзе і руху молекул. І вось аснаўное раўнаваньне ідэальнага газу кажа, што пры абсолютным нулі няма ніякага руху ў матэрыі: яна «замірае». Не ўдалося гэтага праўдзіць дасьледамі, бо вучоныя дайшлі толькі да тэмпэратуры каля — 270^{0}C, і ці дойдуць калі да — 273^{0}C, аб гэтым нічога нельга сказаць.

І вось, значыць, законам Шарля-Гей-Люсака і Бойль-Мар‘ёта адпавядае няістнуючы ідэальны газ, да якога рэальныя газы толькі прыбліжаюцца. Гэтае прыбліжэньне тым большае, чым тэмпэратура газу бліжэй да нашае звычайнае (0^0—100^{0}C) і чым пружкасьць газу бліжэй да звычайнае (г. зн. 1 atm.). Таму, ня гледзячы на вышэйпаданыя адхіленьні рэальных газаў ад аснаўнога раўнаваньня ідэальнага газу, гэтае раўнаваньне лічыцца справядлівым для рэальных газаў у вышэйадзначаных рубяжох.

Яно мае вялікае значэньне для фізыкі, бо, упрасьціўшы разгляданьне зьявішчаў, пазваляе — праўда, з нейкімі засьцярогамі — ужываць рэзультаты і адносна да рэальных газаў.



Рыс. 231.

133. Газавы тэрмомэтр. Недасканальнасьць ртутных тэрмомэтраў была прычынай, дзеля якое ў прыпадках, калі ёсьць патрэба больш точнага вызначэньня шкалі тэмпэратураў і пашырэньня яе за даволі вузкія рубяжы ртутнага тэрмомэтра, гэты апошні замяняецца тэрмомэтрам газавым. Газавы тэрмомэтр аснованы на законе Шарля, з якога выцякае, што роўныя прырасты тэмпэратуры пры захаваньні пачатнага абыйма газу вызываюць роўны прырост яго пружкасьці.

Рыс. 231 паказвае схэматычна газавы тэрмомэтр. Судзіна A (найчасьцей з порцэляны) напоўнена газам, прыкл. вадародам. Яна злучана вельмі тонкай трубачкай f з кароткім каленам баромэтра BC з даволі вялікай Торычэліявай пустатой. Розьніца роўняў ртуці ў каленах B і C дае велічыню пружкасьці (p) газу ў A. Судзіна Z з ртуцьцю, злучаная з B каўчукавай трубкай R, служыць для таго, каб падыманьнем або апусканьнем яе мець магчымасьць падымаць або апускаць ровень ртуці ў калене B, даводзячы яго заўсёды да сутыку з значком K. Гэтым мы дасягаем таго, што, ня гледзячы на зьмены тэмпэратуры, абыймо газу ў A будзе заўсёды сталае. Ясна, што розьніца роўняў у калене C і ў судзіне Z ёсьць ціск атмосфэры.

Акружаем судзіну A таючым лёдам і дастаём $P_0 =$ пружкасьць газу пры 0^{0}C. Таксама, памяшчаючы A ў пару кіпячае вады, дастаём P_{100}. Значыць, $(P_{100} - P_0) : 100$ ёсьць прырост пружкасьці газу пры павышэньні тэмпэратуты на 1^{0}C. А пры t^0C прырост пружкасьці будзе $t\,(P_{100} - P_0) : 100$, і ўся пружкасьць $P = P_0 + t\,\frac{P_{100} - P_0}{100}$

скуль: $$t = \frac{(P - P_0)\,100}{P_{100} - P} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Значыць, газавы тэрмомэтр ня мае сталай градуоўкі, тэмпэратуры нельга „адчытаць“, але трэба яе „аблічыць“, карыстаючыся формулай (1).

ЗАДАЧЫ.

106. Зялезны дручок пры 21^{0}C мае даўжыню 1,54 m. Якую даўжыню будзе ён мець пры 60^{0}C?

107. Унутранае сячэньне шклянкі мае 124 cm^2 пры тэмпэратуры 15^{0}C. Якое будзе яе сячэньне, калі ў ёй кіпіць вада пад ціскам атмосфэры?

108. Абыймо цела, зробленага з медзі, 368 cm^3 пры тэмпэратуры 25^{0}C. Якое будзе абыймо цела пры тэмпэратуры таючага лёду?

109. Зьмест шклянае кольбы да рыскі пры 15^{0}C раўняецца 0,5 літра. Якое будзе абыймо жыжкі да гэтай самай рыскі пры 60^{0}C?

110. Давясьці, што велічыня коэфіцыента лінейнае пашыральнасьці не залежыць ад выбранае для мераньня адзінкі даўжыні, а залежыць ад адзінкі тэмпэратуры.

111. Матач зроблены з медзі і паказвае точна сярэдні час пры 15^{0}C. Ці будзе ён пазьніцца, ці сьпяшацца пры $t = 8^0$C?

112. На сталёвым дроце 2 m. даўжыні і 2,2 mm дыамэтрам павешаны цяжар масай 15 kg. ($g = 981$ cm/sec^2). Да якое тэмпэратуры трэба астудзіць дрот, каб ён пры гэтым абцяжэньні меў пачатную даўжыню?

113. Чыгунная трубка пры тэмпэратуры 24^{0}C мерыцца бронзавай шкаляй, точнай для 0^0. Атрыманая даўжыня = 1,44 m. Якая точная даўжыня трубкі пры 24^{0}C? пры 0^{0}C?

114. Гушчыня ртуці пры 0^{0}C = 13,6. Якая яе гушчыня пры 90^{0}C?

115. Дылятомэтр, напоўнены ртуцьцю, дае магчымасьць аблічыць відавочны коэфіцыент пашыральнасьці яе на 1 : 6000, калі мы ведаем, што запраўдны коэфіцыент пашыральнасьці ртуці = 1 : 5500. Чаму раўняецца коэфіцыент лінейнае пашыральнасьці шкла, з якога зроблена прылада?

116. Абыймо газу пры 42^{0}C пад ціскам 1024 mm стоўбіка ртуці раўняецца 3 літрам. Якое будзе абыймо гэтага газу пры 0^0 і 760 mm. стоўбіка ртуці?

117. Ці роўныя сколькасьці паветра зьмяшчае пакой, калі тэмпэратура з t^0 зьменіцца ў t_1^0? Аблічыць зьмену, прымаючы, што зьмест пакою = A m^3 і што ціск 1) астаецца сталым = b і 2) зьмяняецца з b на b_1.

118. Пляшку, напоўненую паветрам, паставілі на некалькі мінутаў у кіпячую ваду, шчыльна закаркавалі і астудзілі да 15^0C. Які будзе ціск у пляшцы, калі ня прымаем пад увагу пашыральнасьці самае пляшкі?

АДДЗЕЛ III. КАЛЁРЫМЭТРЫЯ.

134. Паняцьце аб цяплыні. Тэрмомэтрам мы мерым нейкі стан цела, выкліканы прысутнасьцю ў целе цяплыні. Што тэмпэратура цела ня можа быць мерай цяплыні ў целе, мы маем довады ў штодзенным жыцьці: тэмпэратура запаленае сьвячы ў некалькі разоў вялікшая за тэмпэратуру напаленае печкі, але сьвяча ніколі не нагрэе пакою, што дужа хутка зробіць гарачая печка. Калі мы спалім 1 gr. вугальля, то цяплынёй, якая вытварылася пры гэтым процэсе, мы можам нагрэць на 1^0C ані больш ані менш, як 8000 gr. вады. Гэтая самая скольскасьць цяпялыні можа расплавіць 100 gr. лёду. Калі-б мы спалілі не 1 gr. вугальля, а 2, 3, 4 . . . gr. вугальля, дык мы бы маглі ператварыць у ваду 200, 300, 400 . . . gr. лёду.

Далей, сколькасьць цяплыні не залежыць ад тэмпэратуры цела, якое яго аддае або ўбірае ў сябе. Гэтую самую сколькасьць цяплыні можна мець і пры высокай і пры нізкай тэмпэратуры. Калі мы спалім 1 gr. вугальля ў зялезнай печцы, якая важыць 4000 gr. і мела спачатку тэмпэратуру 0^0C, дык тэмпэратура яе падымецца да 20^0C. Печка гэтая, устаўленая ў лёд пры 0^0, расплавіць 100 gr. лёду і сама вернецца да тэмпэратуры 0^0C. Раўнуючы гэты дасьлед з папярэднім, бачым, што цяплыня, якую аддае 1 gr палаючага вугальля, раўняецца цяплыні 4 kg зялеза, астуджанага ад 20^0 да 0^0C. Але цяплынёй палаючага вугальля можна расплавіць зялеза, а цяплынёй цёплае печкі гэтага зрабіць ня можна.

Ужо з вышэй дадзенага прыкладу мы бачым, што цяплыню можна даць і можна адабраць, і што цела, нагрэтае ад t_0 да t_1, аддасьць усю атрыманую цяплыню, калі астудзіцца ад t_1 да t_0,—ведама, калі іншыя абставіны будуць аднолькавыя.

Не ўваходзячы цяпер у істоту цяплыні, будзем яе разглядаць, як нейкую велічыню, якую целы могуць аддаваць і ўбіраць у сябе ў меншых або вялікшых сколькасьцях, якія будзем мерыць, калі установім адзінку цяплыні.

135. Адзінка цяплыні. Радам дасьледаў устаноўлена, што тая самая сколькасьць масы нейкага цела пры награваньні ад аднае тэмпэратуры t' да другое тэмпэратуры t'' пры іншых аднолькавых абставінах убірае ў сябе заўсёды тую самую сколькасьць цяплыні. На гэтай уласьцівасьці целаў аснаваны выбар адзінкі цяплыні. Вучоны

сьвет умовіўся прымаць за адзінку цяплыні тую сколькасьць яе, якая награвае 1 gr. дэстыляванае вады ад $14^1/_2{}^0$ да $15^1/_2{}^0$ C, г. зн. вызывае павышэньне яе тэмпэратуры на 1^0 C пры 15^0 C. Гэтая адзінка мае назоў малое калёрыі (cal). Яна вельмі невялікая, і таму ўжываецца яшчэ ў 1000 разоў вялікшая адзінка—вялікая калёрыя (Cal), якая прадстаўляе сколькасьць цяплыні, што награвае 1 кілёграм вады на 1 градус пры 15^0 C.

Точныя дасьледы паказалі, што сколькасьць цяплыні для награваньня адзінкі масы вады пры розных тэмпэратурах мае розную велічыню, што паказвае вось якая табліца:

пры 0^0 C	1 0083 cal	пры 40^0 C	0.9971 cal
„ 10^0 „	1.0016 „	„ 60^0 „	0.9989 „
„ 15^0 „	1.0000 „	„ 80^0 „	1.0022 „
„ 20^0 „	0.9989 „	„ 100^0 „	1.0063 „

Таму ў точным азначэньні адзінкі цяплыні трэба было вызначыць точна тэмпэратуру, якую і прынялі 15^0 C. Гэтую тэмпэратуру прынялі, бо яна найбліжэй падыходзіць да нормальных варункаў працы ў лябораторыях, дык яе найлягчэй памерыць.

Табліца паказвае розьніцы, якія, ведама, у точнай навуцы маюць значэньне, у тэхніцы-ж можна прымаць, што калёрыя ёсьць сколькасьць цяплыні, якая павышае тэмпэратуру 1 gr. дэстыляванае вады на 1 градус пры якой-хоч тэмпэратуры паміж 0^0 і 100^0 C.

Калі 1 gr. дэстыляванае вады астуджаецца ад $15^1/_2{}^0$ C да $14^1/_2{}^0$ C, то, відавочна, ён аддае 1 малую калёрыю.

Задача. Зроблена мешаніна дзьвюх сколькасьцей вады рознае тэмпэратуры; маса аднае—m_1 пры t_1^0, маса другое—m_2 пры t_2^0. Трэба даведацца, якая будзе тэмпэратура t мешаніны. Гэта ёсьць звычайная арытмэтычная задача на мешаніны, усёж такі мы яе разгледзім.

Дапусьцім, што $t_1 > t_2$, г. зн. маса m_1 аддае цяплыню, а маса m_2 ўбірае ў сябе ўсю аддадзеную масай m_1 цяплыню. Паніжэньне тэмпэратуры першае масы будзе $(t_1—t)$, сколькасьць аддадзенае цяплыні будзе m_1 $(t_1—t)$. Маса m_2 павысіць сваю тэмпэратуру на $(t—t_2)$ і таму ўбярэ ў сябе m_2 $(t—t_2)$ калёрыяў цяплыні.

З прычыны таго, што мы ня прымаем пад увагу судзіны, якая так сама зьмяняе сваю тэмпэратуру, паветра і іншых прадметаў, якія акружаюць мешаніну,—страты цяплыні няма, і

$$m_1\,(t_1 - t) = m_2\,(t - t_2)$$

Згэтуль тэмпэратура мешаніны будзе:

$$t = \frac{m_1\,t_1 + m_2\,t_2}{m_1 + m_2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Прыкладам, калі $m_1 = 300$ gr., $t_1 = 80^0$, $m_2 = 200$ gr., $t_2 = 30^0$, дык

$$t = \frac{300\,.\,80 + 200\,.\,30}{300 + 200} = 60^0.$$

136. Цяплаёмкасьць. Табліца § 135 паказвае, што для награваньня вады на 1^0 C пры рознай тэмпэратуры патрэба ўжыць розную колькасьць цяплыні. Калі заместа вады возьмем іншыя матэрыялы, то пабачым, што колькасьць цяплыні, патрэбная на падняцьце тэмпэратуры на 1 градус, будзе для кожнага з іх іншая. Зьмяшаем дзеля прыкладу 1 kg вады пры 100^0 з 1 kg вады пры 0^0; тады дастанем 2 kg вады пры 50^0. Зьмяшаўшы 1 kg ртуці пры 100^0 з 1 kg вады пры 0^0, пабачым, што тэмпэратура вады і ртуці будзе $3{,}22^0$. Вада ўвабрала $3{,}22 \times 1000$ cal. Ртуць страціла $1000 \cdot 96{,}78 \cdot C$, гдзе C ёсьць нейкі коэфіцыент, залежны ад матэрыялу і тэмпэратуры. Зыск вады і страта ртуці роўны паміж сабою; значыць:

$$1000 \cdot 96{,}78\, C = 1000 \cdot 3{,}22$$

Скуль:

$$C = \frac{3{,}22}{96{,}78} = \text{каля } \frac{1}{30}$$

Агулам, калі m gr. матэрыялу награваюцца ад t_1 да t_2 і ўбіраюць у сябе q калёрыяў цяплыні, то адносіны

$$C = \frac{q}{m\ (t_2 - t_1)} \quad \ldots\ldots\ldots (1).$$

называюцца цяплаёмкасьцю гэтага матэрыялу ў дадзеных граніцах тэмпэратуры.

Гэты коэфіцыент, або цяплаёмкасьць, паказвае, скольні калёрыяў убірае ў сябе дадзены матэрыял пры дадзенай тэмпэратуры t, калі яго тэмпэратура павялічваецца на 1^0C. Гэты коэфіцыент для вады пры 15^0C мы і прынялі за адзінку цяплыні; для іншых тэмпэратур C для вады мае іншыя значэньні, як мы ўжо бачылі вышэй. Таксама велічыня цяплаёмкасьці для ўсіх матэрыялаў залежыць ад тэмпэратуры, але зьмены гэтыя ня надта вялікія, і для тэхнічнага ўжытку можам карыстацца сярэднімі лічбамі.

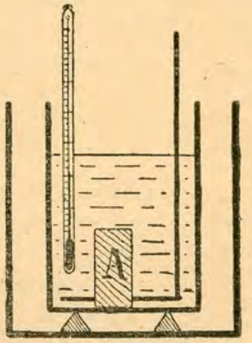
Табліца цяплаёмкасьці некаторых цьвёрдых і плыўкіх целаў:

вада (15^0)	1,000	шкло	0,192
лёд (ад—20^0 да—1^0)	0,5	ртуць (0^0—100^0)	0,033
медзь (0^0—100^6)	0,093	сьпірт (0^0)	0,548
бронза	0,094	„ (16^0—30^0)	0,602
зялеза	0,115	этэр (0^0—30^0)	0,54
волава	0,031	плятына 0^0	0,0317

З гэтае табліцы мы бачым, што вада мае найвялікшую з усіх дадзеных цяплаёмкасьцей. Запраўды, толькі адзін вадарод мае вялікшую цяплаёмкасьць за ваду (гл. ніжэй). Гэтая асаблівасьць вады робіць тое, што вада магазынуе цяплыню сонца і аддае яе больш халодным краём. Ацяпляньне вадой больш выгоднае, чым іншымі жыжкамі, бо тое самае абыймо вады перанясе больш цяплыні.

---

137. Мераньне цяпляёмкасьці цьвёрдых і плыўкіх целаў. Калёрымэтр. Прылада, якая служыць для мераньня цяплаёмкасьці целаў, завецца калёрымэтрам. Разгледзім два тыпы гэтае прылады. Рыс. 232 паказвае асновы будовы калёрымэтра. Ванна зьмяшчае M gr (звычайна блізка 1 літру) дэстыляванае вады і пастаўлена ў другую судзіну на падстаўках з корку. Цела, цяплаёмкасьць якога жадаюць памерыць, кладуць у шкляную прабірку, пакрышыўшы яго найлепш на дробныя часткі. Прабірку закрываюць ватай і зьмяшчаюць яе ў кіпячую ваду, або іншую жыжку. Патрымаўшы там прабірку гэтулькі часу, каб цела напэўна нагрэлася да тэмпэратуры жыжкі ў ваньне, выймаюць прабірку і шпарка кідаюць цела ў ванну калёрымэтра. Перад гэтым мы павінны памерыць як найтачней тэмпэратуру ванны калёрымэтра, дзеля чаго ўжываецца паказаны на рысунку тэрмомэтр.



Рыс. 232.

Няхай тэрмомэтр паказвае тэмпэратуру t_1. Укінуўшы сьледжанае цела A ў ванну, пачынаем мяшаць ваду тэрмомэтрам або спэцыяльнай мяшалкай (паказана на рысунку), каб тэмпэратура жыжкі і цела як найхутчэй зраўняліся. Увесь час трэба сачыць за паказаньнямі тэрмомэтра і запісваць іх якнайчасьцей. Тэмпэратура жыжкі будзе павышацца, дойдзе да нейкае найвялікшае, t, крыху задзержыцца і пачне ападаць. Трэба заўважыць гэтую найвышэйшую тэмпэратуру, бо яна ёсьць якраз рэзультат награваньня ванны целам A. Тэрмомэтр павінен быць вельмі чуткі і павінен мець падзелку прынамсі на дзясятыя часткі градуса. Масу цела мы павінны зважыць перад дасьледам; значыць, ужо ведаем, што яна роўна m gr. Яна мела тэмпэратуру варатку t_2; значыць, абазначыўшы цяплаёмкасьць, як няведамую, літарай x, дастанем страту цяплыні ў целе A, якая будзе: m $(t_2 - t)$ x калёрыяў. Вада ў ваньне калёрымэтра ўвабрала M $(t - t_1)$ калёрыяў. Дапускаючы, што іншых стратаў ня было, пішам:

$$m\, x\ (t_2 - t) = M\ (t - t_1)$$

Скуль:

$$x = \frac{M\ (t - t_1)}{m\ (t_2 - t)} \quad \ldots\ldots (1)$$

Знойдзем цяплаёмкасьць зялеза. Нагрэем 400 gr зялезных апілкаў у кіпячай вадзе (100^0) і кінем у вадзяную ванну калёрымэтра, якая зьмяшчае 800 gr вады пры 15^0. Тэмпэратура вады цераз нейкі час паднялася да максімум$=19{,}6^0$. Значыць, паводле формулы (1):

$$x = \frac{800 \cdot (19{,}6 - 15)}{400\ (100 - 19{,}6)} = 2 \cdot \frac{4{,}6}{81{,}4} = \text{каля } 0{,}113$$

Гэтае аблічэньне павінна быць папраўлена ў тым, што запраўды награваюцца і судзіна, якая зьмяшчае ваду, і мяшалка, і тэрмомэтр. Пры точных лябораторных дасьледах гэта і прыймаецца пад увагу: да калёрымэтра дадаецца табліца, якая паказвае, сколькі калёрыяў цяплыні бяруць усе гэтыя прадметы, калі тэмпэратура жыжкі падымецца на градус. Дзеля тэхнічных мэтаў такіх точных аблічэньняў ня робяць, бо страты на награваньне судзіны, мяшалкі і тэрмомэтра вельмі малыя, іх цяплаёмкасьць, раўнуючы з вадой, вельмі нязначная.

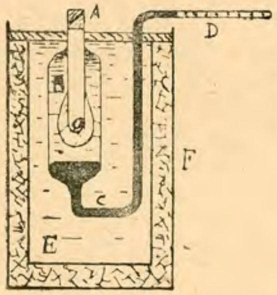
У гэтай самай судзіне можам памерыць цяплаёмкасьць і плыўкога цела. Наліваем M gr. жыжкі, цяплаёмкасьць якое трэба знайсьці, у ванну калёрымэтра і мераем яе тэмпэратуру t_1^0. Затым бяром m gr. нейкага матэрыялу, цяплаёмкасьць якога нам ведама (прыкл. c), награваем яго да t_2^0 і кідаем у жыжку, тэмпэратура якое павялічыцца да t. Тады:

$$Mx\,(t - t_1) = mc\,(t_2 - t)$$

Скуль:

$$x = \frac{mc\,(t_2 - t)}{M\,(t - t_1)} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (2)$$

Пазнаёмімся яшчэ з калёрымэтрам Бунзэна (Bunsen), які адзначаецца прастатой будовы і точнасьцю памераў (рыс. 233). Ён складаецца з прабіркі A, якая прыпаяна да шырэйшае судзіны B. Судзіна B мае доўгую трубку C, якая выведзена ўверх (D). Усё ўстаўлена ў судзіну E з вадой. Гэтая-ж апошняя судзіна ўстаўлена ў судзіну F з таючым лёдам. Увесь калёрымэтр прыкрыты крышкай, якая слаба праводзіць цяплыню. У судзіне B знаходзіцца вада, а на дне— трошкі ртуці, якая запаўняе і трубку C і частку трубкі D.



Рыс. 233.

Пад дзейнасьцю таючага лёду тэмпэратура ў усім калёрымэтры паніжаецца да 0^0. Калі ў прабірку ўвядзём астуджаючае цела, прыкладам нейкую астуджаючую мешаніну, аб чым будзем казаць ніжэй, то ясна, што наўкола прабіркі створыцца корачка з лёду, паказаная на рысунку. Ніжэй даведаемся, што абыймо лёду больш за абыймо вады, з якое ён паўстаў; таму ціск творачагася лёду выганіць трохі ртуці ў трубку D. Калі формаваньне лёду ў B спыніцца, то стоўбік ртуці ў D затрымаецца пры аднэй з рысак, якія зроблены ў мілімэтравай шкалі на трубцы. Выціраем асьцярожна прабірку і затыкаем яе ватай або коркам. Усё будзе ў раўнавазе, пакуль мы не ўвядзём хоць-бы найменшае сколькасьці цяплыні. Кідаем у прабірку нейкі матэрыял з вядомай цяплаёмкасьцю c, маса якога m gr. і тэмпэратура t^0. Значыць, мы ўводзім у калёрымэтр $mc\,(t^0 - 0^0) = mct$ калёрыяў. Гэтая цяплыня ўся пойдзе на тое, каб распусьціць нейкую сколькасьць

лёду, дзеля чаго абыймо жыжкі ў B паменшыцца, частка ртуці з трубкі D вернецца ў B, і ртуць у D будзе стаяць пры нейкай іншай рысцы. Абазначым лічбу рысак, на якую паменшылася абыймо жыжкі ў судзіне B, літарай n, тады абыйму паміж дзьвюма суседнімі рыскамі адпавядае лічба калёрыяў цяплыні, дадзенае калёрымэтру:

$$K = \frac{mct}{n} \text{ калёрыяў} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (3)$$

Такім чынам мы калібравалі калёрымэтр. Цяпер возьмем іншае цела масай m_1 gr., цяплаёмкасьць якога абазначым, як няведамую, літарай x, ды нагрэем яго да t_1^0 і кінем у той самы калёрымэтр. Абыймо жыжкі ў судзіне B паменшыцца на n_1. Тады можам аблічыць x з раўнаваньня:

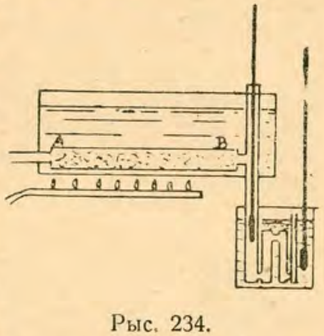
$$m_1 x t_1 = k n_1$$

Скуль:

$$x = k\,\frac{n_1}{m_1\,t_1} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (4)$$

Трубка D бярэцца звычайна валасная, каб найменшыя зьмены абыйма ў B былі ясна відочны. Страты цяплыні ў самай прыладзе няма. Таму прылада гэтая ёсьць адна з найдасканальшых.

138. Цяплаёмкасьць газаў. Трэба разрозьніваць дзьве цяплаёмкасьці газаў: пры нязьменным ціску c_p і пры нязьменным абыйме c_v. Здавалася-бы тэорэтычна, што даведацца цяплаёмкасьць пры нязьменным абыйме c_v дужа просты дасьлед. Возьмем шкляную кулю, напоўнім газам, зважым газ, што ў ёй, нагрэем да нейкае тэмпэратуры t, памерым у калёрымэтры сколькасьць калёрыяў, якую яна аддасьць, і тады лёгка аблічым c_v. Але тут мы спатыкаем практычныя труднасьці, якіх ня можна абыйсьці. Шкляная куля мае вельмі вялікую масу, раўнуючы да зьмешчанага газу, таму блізка ўся цяплыня, адданая ў калёрымэтры, атрымана ад самае судзіны, а толькі вельмі маленкая частка цяплыні атрымана ад газу. Няточнасьці памераў пры гэтым дасьледзе так значна ўплываюць на велічыню цяплаёмкасьці газу, што няма ніякае пэўнасьці аб атрыманых лічбах — навет пры найбольш сумленным і точным выпаўненьні дасьледу.



Рыс. 234.

Велічыня c_v (цяплаёмкасьць газу пры нязьменным абыйме) дастаецца іншымі мэтадамі, аб якіх будзе гутарка пазьней.

Другую цяплаёмкасьць газаў пры нязьменным ціску, c_p, знайсьці шмат лягчэй і вось якім дасьледам. Рыс. 234 паказвае прыладу для мераньня c_p. Газ з нейкага рэзэрвуару з вельмі малай скорасьцю праходзіць цераз трубку AB, зьмешчаную ў гарачай ваньне. У трубцы AB насыпаны апілкі, якія прысьпяшаюць награваньне газу. Трубка AB такая доўгая, што мы пэўны, што газ мае тэмпэратуру ванны. Затым газ пераходзіць у калёрымэтр, гдзе ён аддае частку сваёй цяплыні, ідучы па сагнутай трубцы S, таксама напоўненай апілкамі. З гэтай трубкі газ выходзіць на павэтра з такой тэмпэратурай, якую мае жыжка ў ваньне калёрымэтра. Масу газу мераюць важаньнем рэзэрвуару перад і пасьля дасьледу; атрыманая розьніца дае велічыню масы. Ціск у самым газе астаецца бадай нязьменна роўным атмосфэрнаму, бо газ мае поўную магчымасьць пашырацца ў трубках пры вельмі малой сваей скорасьці.

Мэтады, аб якіх мы тут ня будзем гаварыць, далі магчымасьць азначыць адносіны c_p да c_v. Ніжэйпаданая табліца дае вялічыні c_p i $\frac{c_p}{c_v}$

		Ср	Ср/Сv
Двутлёністы вугаль	$(15^0—100^0)$	0,202	1,31
Павэтра	$(15^0—100^0)$	0,237	1,41
Азот	$(0^0—200^0)$	0,244	1,41
Тлён	$(0^0—200^0)$	0,217	1,40
Вадарод	$(20^0—100^0)$	3.409	1,40

У гэтай табліцы мы павінны зьвярнуць увагу на асабліва высокую цяплаёмкасьць вадароду. Апроч таго важна яшчэ, што адносіны паміж цяплаёмкасьцю пры нязьменным ціску і цяплаёмкасьцю пры нязьменным абыйме для ўсіх газаў маюць больш-менш тую самую велічыню.

ЗАДАЧЫ.

119. Сколькі калёрыяў убіраюць у сябе 5 kg зялеза, калі яно награваецца ад 2^0 да 88^0?

120. Якую тэмпэратуру будзе мець мешаніна з 5 літраў вады пры 25^0 і 8 літраў пры 4^0 C?

121. Сколькі вады пры 100^0 трэба зьмяшаць з вадой пры 10^0, каб дастаць 8 літраў пры 25^0?

122. У 3 kg вады пры 15^0 кідаем 450 gr. зялеза пры 120^0. Якая будзе тэмпэратура, калі наступіць раўнавага цяплыні ў гэтых целах (судзіны ня прымаем пад увагу)?

123. Бронзавая судзіна мае масу 82 gr. і зьмяшчае 600 gr. вады пры 18^0. У яе кінута 125 gr. зялеза пры тэмпэратуры 110^0. Якая будзе тэмпэратура раўнавагі цяплыні?

124. Медная ванна простага калёрымэтра мае масу 455 gr. Знайсьці вадзяны эквівалент яе (г. зн. сколькасьць вады, якая нагрэлася-бы на тую-ж лічбу градусаў тэй самай сколькасьцю цяплыні, як і ванна).

125. Маем калёрымэтр масай 73,4 gr. Пасьля напаўненьня яго вадой пры 11^0 ён важыць 435,5 gr. Даліваем у яго вады пры 100^0, і тады маса яго будзе 522,7 gr., а тэмпэратура мешаніны устанаўліваецца на 28^0. Знайсьці вадзяны эквівалент калёрымэтра.

126. У мядзяны калёрымэтр масай 120 gr. наліта 385,5 gr. сьпірту пры тэмпэратуры 16^0, затым укінута 150 gr. волава пры 100^0. Тэмпэратура устанавілася 29^0. Якая цяплаёмкасьць сьпірту?

127. У 100 gr. вады пры 10^0 даліваюць па крысе́ варатак (100^0). Нарысаваць дыаграму тэмпэратуры мешаніны ў залежнасьці ад сколькасьці даліванае вады.

128. Сколькі цяплыні трэба, каб нагрэць ад 7^0 да 13^0 павэтра ў пакоі, разьмеры якога 6 m×5,5 m×4 m. Ціск баромэтра=752 mm.

АДДЗЕЛ IV. ПЕРАХОД ЦЕЛАЎ З АДНАГО СТАНУ Ў ДРУГІ.

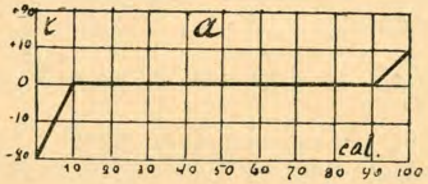
139. Станы целаў. Усім ведама, што вада можа існаваць у-ва ўсіх трох станах: як цьвёрдае цела—у форме лёду, як плыўкое цела—у форме вады і як газавае цела—у форме вадзяное пары. Бывае, што гэтыя тры станы існуюць адначасна і што іх ня трудна навет бачыць у прыродзе адначасна: у часе вялікага марозу над рэчкай раніцай сьцелецца імгла—вадзяная пара, рэчка пакрыта лёдам, а пад ім цячэ вада—жыжка. Агулам, у прыродзе гэтыя тры станы існуюць адначасна пры тэмпэратуры ніжэйшай за 0^0. Навука давяла дасьледамі, што блізка ўсе целы могуць існаваць у гэтых трох станах: парафін, воск, нафталін, мэталі і г. д. Толькі невялікая лічба целаў пераходзіць безпасярэдна з цьвёрдага стану ў газавы. Гэтае зьявішча завецца сублімацыяй. Сублімацыю можна заўважыць і ў вадзе. Змочаную ў вадзе рызінку вывесім на мароз. Яна зараз-жа замерзьне, але цераз нейкі час увесь лёд згіне, і калі яе ўнясем у пакой, дык пераканаемся, што яна сухая.

Целы зьмяняюць свой стан, агулам кажучы, пад уплывам цяплыні. Даданьне цяплыні, г. зн. награваньне, зьмяняе цьвёрды стан целаў у плыўкі, а плыўкі ў газавы. Наадварот, адняцьце цяплыні, г. зн. астуджэньне, зьмяняе газавы стан у плыўкі, а плыўкі—ў цьвёрды.

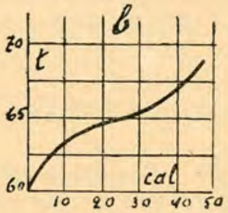
140. Плаўленьне і зацьвярджаньне. Тэмпэратура плаўленьня і зацьвярджаньня. Лёд у тэмпэратуры акружаючае асярэдзіны, прыкл.—15^0 C, мае тэмпэратуру асярэдзіны. Унесены ў хату, ён убірае цяплыню хатняга павэтра, пакуль яго тэмпэратура не павысіцца да 0^0. Тады ён пачынае таяць, г. зн. плавіцца, пераходзіць у плыўкі стан, зьмяняецца ў ваду. Паложым яго ў міску, каб ён знаходзіўся ўвесь час у тэй вадзе, у якую ён зьмяняецца. Паставіўшы ў ваду тэрмомэтр, пабачым, што вада датуль будзе мець тэмпэратуру 0^0, пакуль не растаець апошні кавалак лёду. Тады толькі тэмпэратура вады пачне падымацца. Таючы лёд убірае ў сябе́ цяплыню з акружаючага павэтра, з міскі, у якой ён паложаны, з стала, на якім міска стаіць, з павэтра...

Паложым трохі гіпосульфіту (тіосеркавая соль, што ўжываецца ў фотографіі) у прабірку і будзем награваць у кіпячай вадзе. Тэмпэратура яго будзе павялічвацца, пакуль ня дойдзе да 48^0 С, калі прыпыніцца далейшае павышэньне тэмпэратуры. І толькі калі ўвесь гіпосульфіт расплавіцца, толькі тады тэмпэратура яго пачне павышацца далей.

Гэтыя дасьледы наводзяць думку, што тая цяплыня, якую дастае плавючыся цела, не павышае тэмпэратуры жыжкі, а ўся йдзе на пэратварэньне цьвёрдага цела ў плыўкое. Запраўды, калі спыніцца прыток цяплыні да таючага цела, то і плаўленьне (таяньне) задзержыцца.



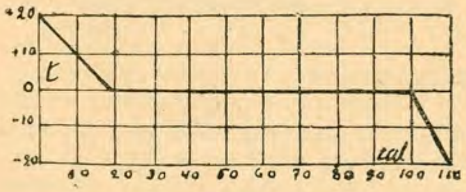
Рыс. 235-а.



Рыс 235-b.

Гэтае зьявішча найлепш прадставім у форме дыаграмы, у якой на восі Y—аў будзем адкладаць тэмпэратуру плавючагася цела, а на восі X—аў сколькасьць увабранае ім цяплыні. Як знайсьці гэтую цяплыню, мы даведаемся далей. І вось, у меру ўбіраньня цяплыні, тэмпэратура цела повышаецца (рыс. 235 а), пакуль ня дойдзе да тэмпэратуры плаўленьня (таяньня). Далей дыаграма пакажа простую лінію, раўналежную да восі X-аў, пакуль цела не ўбярэ ў сябе даволі цяплыні, каб усё яно расплавілася (растаяла). Далей тэмпэратура яго будзе ізноў павышацца.

Іншую дастанем дыаграму, калі будзем награваць вашчыну ў кіпячай вадзе. Рыс. 235-b паказвае, што ў вашчыне няма такое сталае тэмпэратуры ў часе яе плаўленьня. І запраўды, вашчына не пераходзіць, як лёд, з цьвёрдага стану зразу ў плыўкі стан. Яна мякне ўсё болей, пры чым тэмпэратура яе, хоць ня гэтак шпарка, як раней, усёж такі ўвесь час павышаецца.



Рыс. 236.

Заўважана, што выразную тэмпэратуру плаўленьня маюць крышталы.

Адваротнае да плаўленьня (таяньня) зьявішча, зацьвярджаньне, адбываецца, калі плыўкое цела губляе сваю цяплыню. Возьмем ваду ў судзіне і будзем яе астуджаць. Увесь час будзем мерыць тэрмомэтрам тэмпэратуру і адначасна мяшаць ім ваду. Тэмпэратура спадае да 0^0 і там затрымліваецца, а ў вадзе зьяўляюцца крышталы лёду. Перастанем мяшаць, і вось тэрмомэтр усё паказвае 0^0, пакуль уся вада не замерзьне, г. зн. не зацьвярдзее. Затым тэрмомэтр пакажа, што тэмпэратура лёду пачне далей падаць. Калі так сама, як і вышэй, нарысуем дыяграму, то дастанем (рыс. 236) тую самую выразную лінію зацьвярджаньня, якая пакажа, што, пакуль цела не аддало нейкае саўсім азначанае сколькасьці цяплыні, тэмпэратура яго трымаецца на вышыні пункту зацьвярджаньня.

Іншы раз жыжку ўдаецца астудзіць да тэмпэратуры, якая будзе ніжэй за тэмпэратуру яе зацьвярджаньня, пры чым яна астанецца плыўкім целам. Гэтае зьявішча, якое завецца перастуджэньнем, мае месца толькі ў саўсім чыстай жыжцы, і калі яе нішто не ўстрасяне. Прыкл. дэстыляваную ваду можна перастудзіць да—10^0 С, але даволі зусім лёгка ўстрэсьці яе або ўкінуць маленькі крышталік лёду ці сьнегу, і вада пачынае хутка цьвярдзець. Пры гэтым тэмпэратура яе павышаецца да 0^0. Тіосеркавая соль дае такое самае зьявішча. Расплаўленую ў ваньне пры 50^0 С тіосеркавую соль пакідаем дзеля астуджэньня ў пакаёвай тэмпэратуры, якую яна прыме цераз нейкі час, пры гэтым не цьвярдзеючы. Калі ў прабірку з ею кінем крышталік гэтае самае солі, апошні стаецца як-бы асяродкам зацьвярджаньня, якое даволі хутка пашыраецца ў-ва ўсей жыжцы. Тэмпэратура яе пры гэтым падскаківае да 48^0 С, што чуецца рукой.

Пры азначаньні тэмпэратуры зацьвярджаньня дасьледамі трэба пілнавацца, каб не атрымаць зьявішча перастуджэньня, што можа прывесьці да саўсім памылковых вывадаў.

141. Цяплыня плаўленьня. Вышэй мы бачылі, што пры плаўленьні цела ўбірае ў сябе нейкую сколькасьць цяплыні. Гэтая сколькасьць пропорцыянальна да масы цела, гэта значыць, што 2, 3, 4 і г. д. кілёграмы нейкага матэрыялу ўбяруць у сябе ў 2, 3, 4 і г. д. разоў больш цяплыні за 1 kg таго самага матэрыялу. Апроч таго, дасьледы паказваюць, што роўныя масы розных матэрыялаў пры плаўленьні ўбіраюць розныя сколькасьці цяплыні, інакш кажучы, кожны матэрыял мае сваю цяплыню плаўленьня.

Калі разглядаем адваротнае зьявішча, г. зн. зацьвярджаньне, то бачым, што цела, пры тых-жа іншых абставінах, аддае тую самую лічбу калёрыяў, якую яно ўвабрала ў сябе пры плаўленьні.

Цяплынёй плаўленьня называем тую сколькасьць цяплыні, якая патрэбна для пэратварэньня аднаго граму цьвёрдага цела пры тэмпэратуры плаўленьня ў адзін грам плыўкога цела пры тэй самай тэмпэратуры.

Знойдзем цяплыню плаўленьня (таяньня) лёду. У калёрымэтр, вада ў якім мае масу M gr. і тэмпэратуру t^0, кідаем кавалак лёду, асушаны бібулай так, каб на ім ня было вады. Гэты лёд да гэтага павінен ляжаць у хаце, каб мы мелі пэўнасьць, што яго тэмпэратура роуна 0^0. Мяшаючы тэрмомэтрам ваду з лёдам, зьвяртаем увагу на тэмпэратуру мешаніны. Адзначаем найніжэйшую тэмпэратуру, t_1^0. Далей важым калёрымэтр і дастаём новую масу вады і растаяўшага лёду, M_1 gr. Значыць, лёд меў масу $M_1 - M = m$ gr. Абазначыўшы няведамую цяплыню таючага лёду літарай x, разважаем: вада калёрымэтру пры студжэньні ад t да t_1 страціла цяплыні $M(t-t_1)$ калёрыяў. З другога боку, m gr. лёду таючы ўвабралі mx калёрыяў, да таго-ж гэтыя самыя m gr. нагрэліся ад 0^0 да t_1 і гэтак далей яшчэ ўвабралі mt_1 калёрыяў. Цяплыня, якую ўтраціла вада, пайшла на плаўленьне лёду і награваньне яг ; значыць:

$$M\,(t-t_1) = m\cdot x + m\,t_1.$$

Скуль:

$$x = \frac{M(t-t_1) - m\,t_1}{m} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Прыклад.: $M = 600$ gr.; $t = 23{,}5^0$ C; $m = 42{,}2$ gr.; $t_1 = 16{,}75^0$ C

$$x = \frac{600\ (23{,}5-16{,}75) - 42{,}2\ .\ 16{,}75}{42{,}2} = \text{каля } 79{,}2\ \frac{\text{cal}}{\text{gr.}}$$

Такім самым мэтадам знаходзіцца цяплыня плаўленьня і іншых целаў.

Ніжэй дадзена табліца тэмпэратуры і цяплыні плаўленьня некаторых целаў (пры нормальным ціску):

	Тэмпэратура плаўленьня.		Тэмпэратура плаўленьня.	Цяплыня плаўленьня.
Вадарод	—259	Ртуць	—38,8	2.77
Азот	—210,5	Лёд	0	79,2
Сьпірт	—130,5	Воск	69	42
Золата	1064	Серка	120	9
Медзь	1083	Цына	232	14,6
Зялеза	1500	Волава	327	5,6
Ірыд	2360	Срэбра	960	25
Осм	2500	Плятына	1750	27

Зварачаем увагу на высокую цяплыню таяньня лёду, што мае вялікі ўплыў на клімат паасобных месцаў зямное кулі.

142. Зьмены абыйма і ўплыў ціску пры плаўленьні. Лёд выплывае на вярхніну вады. Ён, значыць, мае меншую гушчыню, чым вада: 1 cm^3 вады цьвярдзее ў 1,09 cm^3 лёду. Вада замярзаючы разрывае наймацнейшыя зялезныя судзіны, крышыць скалы і г. д. Дзеля такое вялікае зьмены абыйма пры зацьвярджаньні вады можна паставіць пытаньне, ці вонкавы ціск на замярзаючую ваду ня вызавець зьмен у працэсе замярзаньня і перш за ўсё ў тэмпэратуры таяньня? Дасьледы пацьвярджаюць гэтае разважаньне:

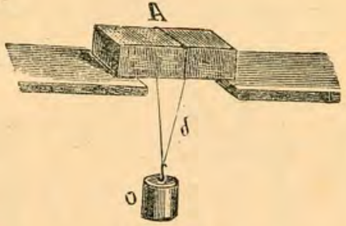
Ціск:	1 Атм.	500 Атм.	1000 Атм.	2000 Атм.
Вада	0^0 „	-4^0 „	$-8{,}5^0$ „	-19^0 „
Серка	120^0 „	130^0 „	143^0 „	166^0 „

З гэтае табліцы мы бачым, што для вады, абыймо якое павялічваецца пры зацьвярджаньні, тэмпература таяньня паніжаецца з павялічэньнем ціску. Ясна, што ціск не дае павялічыцца абыйму цела. Адваротнае зьявішча будзе для цела, якое памяншае сваё абыймо пры зацьвярджаньні (прыкл. серка); там ціск прысьпяшее зацьвярджаньне.

Просты дасьлед пазваляе аб гэтым пераканацца. Цераз плітку лёду перакінем дрот, да якога падвешаны гіркі з абодвух канцоў (рыс. 237). Дрот робіць ціск на лёд, які ў гэтым месцы таець, і дрот уваходзіць у глыб лёду. Вада, астуджаная да тэмпэратуры ніжэй за 0^0, пасьля праходу дроту ізноў замярзае. За нейкі час дрот пройдзе цераз усю плітку, якая астанецца цэлая.

Таяньнем лёду ад ціску тлумачыцца цячэньне гледчэраў у гарах, язда на санях па сьнегу, які ад ціску таець, і тады вада зьмяншае церце.

143. Параваньне і кіпеньне. Агульна ведама зьявішча высыханьня жыжкі: разьліты сьпірт, вада, этэр і г. д. высыхаюць больш або менш хутка, калі-ж пакінем іх у адкрытай судзіне, дык іх сколькасьць зьмяншаецца. Гэтае зьявішча ёсьць параваньне, якому падлягаюць ня толькі жыжкі, але і цьвёрдыя целы (сублімацыя; прыкл. лёд парує!). Вельмі праўдападобна, што паруюць усе целы цьвёрдыя і плыўкія пры ўсякай тэмпэратуры, але параваньне адбываецца толькі на вярхніне цела.



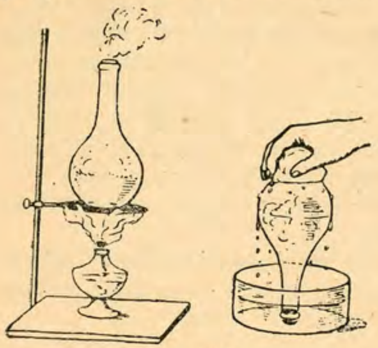
Рыс. 237.

Існуе яшчэ і параваньне ўнутры самае масы цела, калі часткі яго зьмяняюцца ў пару і, як больш лёгкія, энэргічна вырываюцца на вярхніну. Гэтае бурлівае параваньне называецца кіпеньнем.

Заўважана, што кіпеньне, пры іншых аднолькавых абставінах, адбываецца для кожнае жыжкі пры аднэй нязьменнай для гэтае жыжкі ў працягу ўсяго процэсу кіпеньня тэмпэратуры. Гэта значыць, што кіпеньне пачынаецца толькі тады, калі тэмпэратура цела дойдзе да гэтае тэмпэратуры кіпеньня, і ўвесь час, пакуль уся жыжка ня выкіпіць, будзе на гэтай вышыні трымацца. Для вады такой тэмпэратурай ёсьць 100^0, для сьпірту $78^0{,}26$, для этэру 34^087. Гэтыя тэмпэратуры кіпеньня ўсе пералічаныя целы маюць пры нормальным ціску.

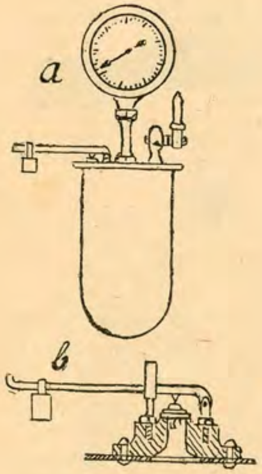
Ужо з таго, што кіпеньне ёсьць параваньне ўнутры жыжкі, і што газ, які там сформаваўся, павінен перамагчы ціск на яго ў жыжцы, вынікае, што вонкавы ціск мае пры кіпеньні вялікую вагу. Можам навет напéрад сказаць, якая залежнасьць існуе паміж параваньнем і ціскам. Чым меншы ціск на жыжку, тым меншую ён стаўляе перашкоду выхаду пары з жыжкі. Павялічэньне ціску павялічвае гэтую процідзейнасьць жыжкі кіпеньню, і, каб выклікаць кіпеньне яе пры павялічаным ціску, трэба павялічыць тэмпэратуру жыжкі.

Вельмі просты дасьлед пацьвярджае гэта (рыс. 238). Нагрэем у бутэльцы ваду да кіпеньня. Цераз некалькі мінутаў кіпеньня, калі ў бутэльцы ня будзе паветра, а толькі пара вады, закаркуем яе і, перавярнуўшы, заўважым, што вада будзе яшчэ нейкі час кіпець. Гэтае кіпеньне павялічваецца, калі астуджаем дно бутэлькі халоднай вадой. Ясна, што пара вады, астуджаючыся, зьмяншае ціск на жыжку, якая і закіпае пры тэмпэратуры ніжэй за 100⁰C. На высокіх гарах тэмпэратура кіпеньня значна ніжэй, чым на роўні мора (ня можна зварыць бульёну, заварыць гарбаты). Гэтым карыстаюцца для аблічэньня вышыні гораў: тэрмомэтрам азначаюць тэмпэратуру кіпеньня вады і па табліцам дастаюць ціск, скуль ужо, раўнуючы да даных мэтэоролёгічных станцыяў, выводзяць вышыню гары.



Рыс. 238.

Возьмем кацёл, гэрмэтычна закрыты з усіх бакоў, і пачнём у ім награваць ваду (рыс. 239). Пружкасьць пары над вадой будзе ўсё павялічвацца, а таму кіпеньне будзе ўвесь час адбывацца пры вышэйшай тэмпэратуры. Кацёл такі завецца **катлом Пэпіна** (Papin) (рыс. 239-a). Каб пружкасьць пары не павялічылася гэтак шмат, што магла-б разарваць кацёл, на ім ставяць прыладу, якая завецца **кляпай забясьпекі** (рыс. 239-b). Гэта добра датарнаваная да адтуліны ў катле кляпа, якая прыціснута вагарам з гіркай. Яна сама адчыняецца, калі ціск пары робіцца вялікшым за ціск ад гіркі.



ыс. 239.Р

Падобныя катлы дастаўляюць пару ў паравыя машыны, аб чым будзе гутарка ніжэй, і пара гэтая мае ціск вялікшы за атмосфэрны.

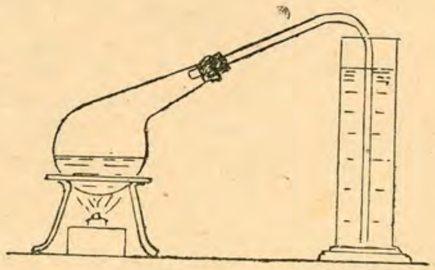
Вось табліца тэмпэратуры кіпеньня вады ў залежнасьці ад ціску:

	4,6	mm.	стоўбіка	ртуці	0^0	2	atm. . . .	$120^0,6$
	9,1	„	„	„	10^0	5	„ . . .	$152^0,2$
	31,5	„	„	„	30^0	10	„ . . .	$180^0,3$
	92	„	„	„	50^0	15,3	„ . . .	200^0
	525	„	„	„	90^0	57,3	„ . . .	270^0
	680	„	„	„	$96^0,92$	102	„ . . .	310^0
	720	„	„	„	$98^0,49$			
1 atm. =	**760**	„	„	„	**100^0**			
	800	„	„	„	$101^0,44$			

Як бачым, тэмпэратура кіпеньня вады зьмяняецца ў шырокіх межах у залежнасьці ад ціску, таму пры ўстанаўленьні сталага пункту ў тэрмомэтрах трэба прыняць пад увагу ціск (760 mm.).

144. Цяплыня параваньня. Награваньне пад сталым ціскам цела, якое мае тэмпэратуру кіпеньня, не павялічвае гэтае тэмпэратуры, а толькі падтрымлівае кіпеньне. Калі мы зьнімем гэтае цела з агню, то кіпеньне блізка зараз-жа спыніцца. Значыць, пры кіпеньні ідзець нейкая затрата цяплыні на параваньне.

Наадварот, калі возьмем пару пры тэмпэратуры 100^0 і будзем адбіраць у яе цяплыню, то яна будзе перахадзіць у жыжку з тэй самай тэмпэратурай 100^0C. Точнымі дасьледамі ўстаноўлена, што адзінка тэй самай масы пры параваньні ўбірае ў сябе гэтулькі цяплыні, скольні аддае яе пры пераходзе ў жыжку. Гэтую цяплыню, якую ўбірае ў сябе адзінка масы цела пры пераходзе ў газавы стан пры дадзеным ціску і дадзенай тэмпэратуры, называюць цяплынёй параваньня.



Рыс. 240.

Даволі простым дасьледам можам знайсьці цяплыню параваньня вады (або іншае жыжкі). Бяром бутэльку з трубкай (рыс. 240). У бутэльцы кіпяцім ваду, пара якое выходзіць цераз трубку. Калі трубка пryме тэмпэратуру 100^0C, то ўставім яе ў цыліндр з вадой, якую мы перад тым зважылі, дастаўшы масу M gr пры t^0C. Пара з бутэлькі пераходзіць у ваду і там зжыжаецца (пераходзе ў жыжку). Вада пры гэтым награваецца да t_1^0. Пасьля дасьледу важым ізноў ваду і дастаём новую масу яе. Адняўшы ад яе масу вады, M, што была перад дасьледам, атрымаем, што маса вадзяное пары,ператварыўшаеся ў жыжку, раўняецца m gr. Абазначым няведамую цяплыню параваньня літарай x; тады маса m gr. страціла mx калёрыяў і, апроч таго, астудзілася з 100^0 да t_1, значыць, яшчэ страціла m $(100—t_1)$ калёрыяў. Гэтую ўсю цяплыню ўвабрала ў сябе маса M, якая атрымала M $(t_1—t)$ калёрыяў; значыць:

$$mx + m(100-t_1) = M(t_1-t)$$

скуль

$$x = \frac{M(t_1-t) - m(100-t_1)}{m}$$

Прыкладам: $M = 400$ gr; $m=3,5$ gr; $t=15,^06$; $t_1=21^0$;

$$x = 538,1\frac{cal}{gr.} \ldots$$

Больш точныя памеры даюць $x = 539$ cal/gr.

Даём табліцу тэмпэратуры кіпеньня пры нормальным ціску і адпаведныя вялічыні цяплыні параваньня для некаторых целаў:

Вадарод	— 252^0,8C	62 cal/gr	Двусерчысты вугаль	+46^0	85 cal/gr
Азот	— 195^0,7 „	48 „	Этылавы сьпірт	+78,$^0_{25}$	205 „
Тлён	— 182^0,9 „	51 „	Вада	+100^0	539 „
Этылавы этэр	+34^0,9 „	90 „	Ртуць	+357^0,$_{25}$	62 „

Трэба адзначыць вельмі высокую цяплыню параваньня вады, што мае вялікі ўплыў на кліматы, зьмягчаючы іх гострасьць.

Памеры цяплыні параваньня пры іншых цісках даюць рэзультаты, якія можна выразіць каротка: меншым ціскам, а, значыць, ніжэйшым тэмпэратурам кіпеньня адпавядаюць вялікшыя цяплыні параваньня, і наадварот. Ніжэй дадзена табліца тэмпэратуры кіпеньня і цяплыні параваньня ў залежнасьці ад ціску для вады:

Ціск	Тэмпэратура кіпеньня	Цяплыня параваньня
0,0063 atm.	0^0 C	595 cal/gr
0,0236 „	20^0 „	584 „
0,202 „	60^0 „	562,$_4$ „
1 „	100^0 „	539 „
4,87 „	150^0 „	506 „
15,89 „	200^0 „	467.$_5$ „
40,9 „	250^0 „	412 „
194,5 „	364^0,$_3$„	0 „

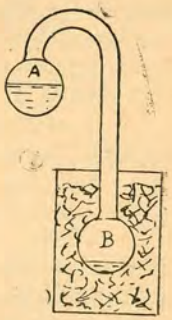
Мы бачым, што пры тэмпэратуры 364,$^0_3$C вада пераходзіць у пару ня ўбіраючы ў сябе саўсім цяплыні. Гэтая тэмпэратура завецца крытычнай. Аб ёй будзе гутарка далей.

Да таго, што сказана вышэй аб параваньні, трэба дадаць, што параваньне адбываецца заўсёды коштам цяплыні, г. зн., што пры параваньні ідзець убіраньне цяплыні звонку або з самае жыжкі. Гарачая вада ў прабірцы, пастаўленая пад клёш паветранае помпы, скуль выпампоўваем паветра, пачне кіпець. Тэрмомэтр, устаўлены ў ваду, пакажа, што тэмпэратура вады ў часе кіпеньня паніжаецца. Выпампоўваньне паветра і пары з-пад клёша паніжае ўвесь час ціск на жыжку, што і падтрымлівае кіпеньне, хоць тэмпэратура жыжкі падае. Калі будзем карыстацца шыбка працуючай помпай, то ў судзіне з кіпячай вадой цераз нейкі час кіпеньня знаходзім кавалак лёду замест кіпячае жыжкі.

Так сама і пры вярхнінным параваньні цела траціць цяплыню. Рука, змочаная вадой, пры высыханьні крэпка астуджаецца. Яшчэ крапчэй пачуцьцё холаду, калі замест вады возьмем этэр або сьпірт. Улетку ваду добра трымаць у непаліваных судзінах, бо тая вада, што прасачваецца цераз наздрынкі судзіны, паруе і астуджае ваду ў судзіне.

Дзьве шкляныя кулі злучаны трубкай, як паказана на рысунку 241, і зьмяшчаюць толькі ваду або яе пару. Перальлём ваду ў кульку A, а кульку B зьмесьцім у шклянку з астуджаючай мешанінай лёду і солі. У кульцы B пара вады зжыжаецца і хутка замярзае. Тым часам у A пачынаецца кіпеньне, бо ціск на ваду значна ўпаў. Пара з A пераходзіць у B і тут зьмяняецца ў лёд. Гэта падтрымлівае кіпеньне ў A, гдзе тэмпэратура сільна падае, пакуль вада ў A так сама не пакрыецца лёдам, бо даплыў цяплыні звонку ня можа пакрыць страты параваньня.

145. Цяплыня расчыненьня. Дужа падобным да плаўленьня па сваім уласьцівасьцям зьяўляецца расчыненьне аднаго цела ў другім. Штодзенная практыка вуча нас, што соль, цукер і інш., расчыняючыся ў вадзе, паніжаюць яе тэмпэратуру. У гэтым зьявішчы цьвёрдае цела: соль, цукер або іншае, зьмяняе свой стан, яно стаецца быццам плыўкім, і ў ім, значыць, ужыта нейкая цяплыня на тое, каб разсунуць часткі (молекулы) адну ад аднае. Гэтым і аб'ясьняецца астуджэньне атрыманае мешаніны. Так, прыкл., расчыненьне ў вадзе солі да насычэньня паніжае тэмпэратуру на $2^1/_2{}^0$ C. Аднак, паміж плаўленьнем і расчыненьнем істнуе вялікая розьніца: плаўленьне можа адбывацца толькі ў точна азначанай для кожнага цела пры дадзеным ціску тэмпэратуры, пры тым цяплыня дастаецца звонку (калі-б бралася з самога цела, то ягоная тэмпэратура падалаб, і плаўленьне зараз-жа спынялася-бы). Расчыненьне можа адбывацца пры ўсякіх тэмпэратурах, а цяплыня дастаўляецца з самае расчыны, якая паніжае сваю тэмпэратуру. У зьвязку з гэтым знаходзіцца факт, што пры павышэньні тэмпэратуры павялічваецца колькасьць расчыненага цела ў насычанай расчыне.



Рыс. 241.

Істнуюць целы, якія пры расчыненьні ў іншым целе даюць павялічэньне тэмпэратуры: прыкл., цынк у серкавай кісьлі. У гэтых прыпадках робіцца дапушчэньне, што побач з фізычным зьявішчам расчыненьня ідзе хімічнае, якое выдзяляе цяплыню. Запраўды, пасьля выпараваньня жыжкі ў нашым прыкладзе не дастанем цынку, а крышталы серкава-цынкавае солі.

Цяплынёй расчыненьня называем цяплыню, патрэбную на расчыненьне 1 gr. цела пры дадзенай тэмпэратуры і ў дадзенай колькасьці расчынца. Расчынец гэта ёсьць жыжка ці іншае цела, якое зьяўляецца галоўнай часткай расчыны і расчыняе ў сабе іншыя целы. Цяплыня расчыненьня тым вялікшая, чым менш густой будзе расчына. Гэта выцякае з таго, што разраджэньне ёсьць далейшае расчыненьне цела, што патрабуе новага расходу цяплыні.

Разгледзім зацьвярджаньне і кіпеньне расчынаў. Калі насычаную расчыну будзем астуджаць, то з яе выдзяляецца расчыненае цела, і сколькасьць яго ў расчыне адпаведна памяншаецца, г. зн. гушчыня расчыны меншае. Калі маем ненасычаную расчыну, то пры студжэньні пачынае цьвярдзець расчынец. Прыкл., марская вада пры студжэньні выдзяляе чысты лёд, г. зн. зьмерзлую чыстую ваду, а не расчыну соляў у вадзе. Выдзяляючы далейшым студжэньнем чысты лёд з гэтае расчыны, можам давясьці яе да насычанага стану. Значыць, расчына, студжаная далей, павінна была-бы выдзяляць і лёд і соль, і запраўды гэта робіцца на практыцы. З расчыны пры далейшым студжэньні выдзяляецца новае цела, якое завецца крыогідрат, мешаніна лёду і солі, пры тым, як пры кожным зацьвярджаньні, тэмпэратура расчыны і цела не памяншаецца, пакуль уся расчына не зацьвярдзее. Гэтае зьявішча мае месца для вады і солі пры тэмпэратуры каля —22^0 С, ніжэй за якую расчына солі ў вадзе, у стане жыжкі, істнаваць ня можа.

Насычаная расчына пры гэтай найніжэйшай для яе тэмпэратуры мае сталую гушчыню, г. зн. у жыжцы зьмяшчаецца саўсім азначаная сколькасьць расчыненага цела,—і вось такая расчына, якая мае як раз гэтую гушчыню, завецца эўтэктычнай (па грэцку: добра папабудаванай, бо яна пры студжэньні дае аднароднае цьвёрдае цела: крыогідрат). Эўтэктычныя расчына солі ў вадзе зьмяшчае на 100 gr. вады каля 32 gr. кухоннае солі.

Тэмпэратура кіпеньня расчынаў вышэй за тэмпэратуру расчынца. Прыкл., насычаная кухоннай соляй вада кіпіць пры 180^0C.

На ўласьцівасьці расчынаў цьвярдзець пры ніжэйшай тэмпэратуры аснована дзейнасьць астуджаючых мешанінаў.

Сьнег, або таўчоны лёд, абсыпаны кухоннай соляй, пачынае таяць і абніжае пры гэтым сваю тэмпэратуру. Калі возьмем гэтыя целы ў такіх адносінах, каб атрымаць эўтэктычную расчыну, то можам вытварыць тэмпэратуру каля—20^0C (тэорэтычна—22^0C). Расчына азотнае кісьлі ў вадзе, налітая на сьнег, паніжае яго тэмпэратуру да—35^0C, хлёрысты кальц і сьнег да—42^0C.

З гэтага мы бачым, што мешаніны маюць ніжэйшую тэмпэратуру плаўленьня, чым кожнае з целаў, што іх складаюць, паасобку. Тое самае заўважаецца і ў сплавах мэталяў. Сплаў Вуда (Wood), складаючыся з 1 часьці кадму (тэмпэратура плаўленьня 320^0C), 1 часьці антымону (т. пл. 231^0,5C), 2 часьцей волава (т. пл. 327^0C) і 4 часьцей бісмуту (т. пл. 269^0C), плавіцца пры 67^0C, г. зн. у гарачай вадзе.

ЗАДАЧЫ.

129. Сколькі трэба калёрыяў, каб растапіць 15 kg лёду пры —20^0C у ваду пры 0^0C?

130. Сколькі трэба ўвясьці вадзяное пары пры 100^0C у 20 kg вады пры 0^0, у якой плавае кавалак лёду ў 5 kg, каб уся мешаніна атрымала тэмпэратуру 20^0C?

131. Сколькі павінны ўвабраць у сябе цяплыні 50 gr вады пры 4^0C, каб ператварыцца ў пару пры 100^0C?

132. Маем шклянку з этэрам і тэрмомэтр пры тэй самай тэмпэратуры. Калі тэрмомэтр уставім у этэр, ён не пакажа зьмены тэмпэратуры. Чаму-ж гэта, калі на кульку тэрмомэтра капнем дзьве-тры каплі этэру, тэрмомэтр пакажа шыбкі ўпадак тэмпэратуры?

133. У 120 gr вады пры 8^0C мы ўвялі пару кіпячага сьпірту, і тэмпэратура мешаніны паказала 19^0C. Сколькі процэнтаў сьпірту зьмяшчае мешаніна? (гл. рыс. 240).

134. Сколькі трэба калёрыяў, каб 15 gr лёду пры—12^0C ператварыліся ў пару пры 150^0C, калі цяплаёмкасьць пары вады пры сталым ціску = 0,46 cal/gr.

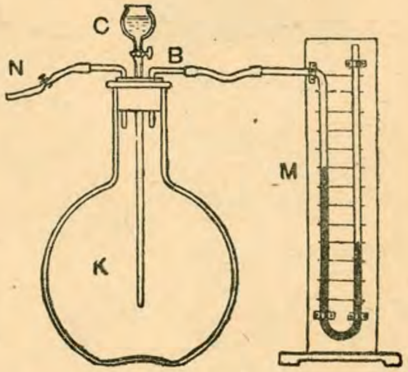
135. Сколькі трэба калёрыяў, каб 40 gr. зацьвярдзеўшае ртуці пры—39^0C ператварыць у ртутную пару пры 357^0,25C, калі цяплыня плаўленьня ртуці = 2,77 cal/gr, а цяплыня параваньня = 62 cal/gr?

136. 20 gr расплаўленага срэбра, маючага тэмпэратуру 960^0C, кінуты ў сьнег пры—5^0C. Сколькі сьнегу растаяла, калі цяплаёмкасьць срэбра = 0,056 cal/gr, а цяплыня плаўленьня срэбра = = 25 cal/gr.

137. 10 kg вады перастуджаны да—5^0. Сколькі вады ператворыцца ў лёд, калі ўстрасянем судзіну, вынуўшы яе з астуджаючае ванны?

АДДЗЕЛ V. УЛАСЬЦІВАСЬЦІ ПАРАЎ.

146. Насычаная і ненасычаная пара. Судзіна K (рыс. 242) мае тры адтуліны: у адну ўстаўлена манамэтрычная трубка B з ртуцьцю, у другую — трубка з лейкай C і кранам, у трэцюю — трубка N. Гэтая апошняя злучаецца з пнэўматычнай помпай. Выпампуем цераз трубку N паветра з судзіны K так, каб ціск яго ў судзіне ня быў вялікшы за некалькі мілімэтраў стоўбіка ртуці. Велічыню ціску ў K мы знаходзім, як розьніцу паміж паказаньнем баромэтру (b) і вышынёй (h) стоўбіка ртуці ў баромэтрычнай трубцы M. У лейку C наліваем нейкую жыжку: прыкл. ваду. Кран пры лейцы зроблены так, што пры кожным павароце ён дае ў судзіну K толькі адну каплю жыжкі. Павернем 1 раз кран; вада ў пустаце зараз-жа абернецца парай.



Рыс. 242.

Падыймаючы трубку А ўверх, павялічваем абыймо насычанае пары, жыжка паруе (рыс. 245—2), і ўсё менш яе астаецца над роўнем ртуці, які ўвесь час стаіць на тэй самай вышыні. Пры нейкім палажэньні трубкі А над ртуцьцю ўжо ня будзе жыжкі (рыс. 245-1). Значыць, уся яна ператварылася ў пару. Калі далей будзем падыймаць трубку А, дык абыймо пары будзе павялічвацца, але няма ўжо жыжкі, якая бы паравала, таму пара перастае насычаць прастор, і разам з тым мы бачым, што стоўбік ртуці ў А павышаецца (рыс. 245—3). Сьведчыць гэта аб тым, што пружкасьць пары памяншаецца. На гэтай самай прыладзе мы можам праверыць закон Бойль-Мар'ёта для ненасычанае пары, і тады даведаемся, што *ненасычаная пара тым болей падыходзе да закону Бойль-Мар'ёта, чым далей знаходзіцца яна ад стану насычэньня дадзенага прастору.*

Рыс. 245.

Спасьцярогі над такімі газамі, якія блізка падыходзяць да закону Бойль-Мар'ёта, як тлён, вадарод, паветра, азот і інш., наводзяць на думку, што і яны ёсьць ненасычаныя пары нейкіх плыўкіх або цьвёрдых матэрыялаў, пры гэтым пары далёкія ад стану насычэньня.

Ненасычаную пару часта называюць *перагрэтай* і вось чаму. Калі ў трубцы А (рыс. 245—1) астаўся толькі сьлед жыжкі пры тэмпэратуры t, і мы нагрэем насычаную пару ў гэтай трубцы, то і гэты сьлед згіне, і ртуць трошкі панізіцца. Гэта сьведчыць, што пара сталася ўжо ненасычанай, яе пружкасьць павялічылася, і яна заняла вялікшае абыймо. І вось, дзеля таго, што пераход пары у ненасычаную адбыўся пад уплывам павышэньня яе тэмпэратуры проці тае, пры якой наступае яе насычэньне, — ненасычаная пара называецца так сама перагрэтаю.

Напрашываецца і адваротны вывад. Калі маем ненасычаную пару, то, астуджаючы, можам яе зрабіць насычанай, а навет ператварыць у жыжку. Дасьледы гэта пацьвярджаюць, як пабачым далей.

149. Параваньне жыжкі ў атмосфэру з іншага газу. Калі ў судзіне А (рыс. 242) няма ані паветра, ані іншага газу, то параваньне ўведзенае жыжкі адбываецца дужа хутка. Калі ў трубку А (рыс. 245) уводзім жыжку, то яна так сама паруе шпарка, бо спатыкае там толькі вельмі нязначныя сьляды параў ртуці. Калі-ж у прыладу, як на рыс. 242, у якой ужо знаходзіцца нейкі газ, увядзём жыжку, то ў гэтым прыпадку яна спатыкае пры параваньні перашкоду ў форме ціску гэтага чужога газу. І запраўды, manомэтр М падымаецца, але павальней, чым пры параваньні ў пустаце. Цераз нейкі час заўважым, што ў судзіне К жыжка пачынае аставацца на дне, і манамэтр М ужо ня рухаецца; значыць, пара насыціла прастор. І вось, калі паглядзім, як павялічылася пружкасьць газаў у К, то ўбачым, што пры $16-17^{0}$C пара вады павялічыла ціск блізка на 15 mm, сьпірту — блізка на 40 mm, этэру — блізка на 400 mm. А гэтыя вялічыні прадстаўляюць як раз пружкасьць насычаных параў гэтых целаў пры тэй самай тэмпэратуры ў пустаце. Значыць, прысутнасьць іншых газаў або параў не зьмяняе істоты параваньня і насычаньня прастору парай. І тут мы спатыкаемся ізноў з законам *Дальтона*, які кажа, што *ціск мешаніны параў або газаў раўняецца суме пружкасьцяў паасобных параў або газаў, складаючых мешаніну*, калі паміж гэтымі целамі ня маюць месца хімічныя рэакцыі.

150. Крытычная тэмпэратура. Мы ўжо бачылі, што насычаная пара лёгка пераходзіць у жыжку. Калі ў трубцы А (рыс. 245) над роўнем ртуці маем толькі сьляды жыжкі, г. зн. калі над жыжкай знаходзіцца насычаная пара, то, памяншаючы яе абыймо апусканьнем трубкі А, можам перавясьці ўсю пару ў жыжку. Таксама перавядзём гэтую пару ў жыжку астуджаньнем. Калі трубку А зьмесьцім у шырокую трубку з астуджаючай жыжкай, то заўважым, што сколькасьць жыжкі над ртуцьцю павялічыцца, а ровень ртуці ў А падымецца.

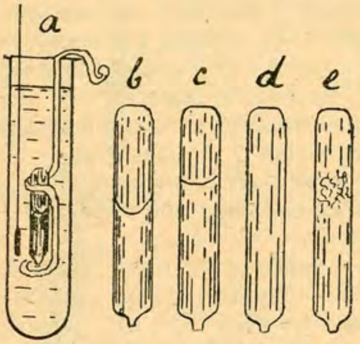
З другога боку, насычаная пара таксама лёгка пераходзіць у ненасычаную, толькі тады трэба або даць ёй цяплыні, або паменшыць вонкавы ціск.

Мы ня бачым такіх процэсаў, каб ненасычаная пара пераходзіла ў жыжку, мінуючы стан насычэньня. Агулам, *пара можа зжыжыцца толькі пераходзячы цераз стан насычэньня.*

Астаецца высьніць, пры якіх абставінах можа ненасычаная пара перахадзіць у насычаную.

Нам ужо ведама залежнасьць паміж тэмпэратурай кіпеньня і вонкавым ціскам на жыжку. Чым больш ціск, тым вышэйшая павінна быць тэмпэратура жыжкі, каб яна закіпела. І наадворот, чым вышэй тэмпэратура, да якое нагрэта жыжка, тым вялікшы павінен быць вонкавы ціск на яе, каб ня даць ёй закіпець. І вось, нас цікавіць, ці ёсьць магчымасьць пры ўсякай, навет найвышэйшай тэмпэратуры узьдзяржаць жыжку ад кіпеньня. Зробім вось які дасьлед.

Шкляную трубку 7—8 cm. даўжынёй і каля 1 cm. дыамэтрам пры таўшчыні сьценак да 2 mm. напоўнім да паловы этэрам і пасьля таго, як падаграваньнем выганім з яе ўсё паветра, запаяем яе канец. Тады ў трубцы будзе толькі жыжка і пара этэру. Зьмесьцім яе ў прабірку з вазэлінавым алеем (рыс. 246-а) і гэтую прабірку будзем награваць. Дасьлед гэты небясьпечны, бо трубка ад унутранага ціску можа разарвацца. Таму прабірку закрываюць бляшанай заслонай, у якой зроблены ўздоўжныя ваконцы. Праз ваконца з аднаго боку пускаюць снапок сьвятла, які выходзіць цераз другое ваконца. Абраз асьвятлёнае трубкі адбіваецца цераз шклы на экране. Што-ж тады мы бачым? Пакуль тэмпэратура нізкая (рыс. 246-b), бачым у трубцы выразную лінію роўня жыжкі. Вышэй за яе рэдкая пара этэру дае сьветлую палоску на восі трубкі; ніжэй за ровень палоска гэтая шмат шырэйшая, бо жыжка гусьцей за пару. Тады награваем алей, награваем і этэр (рыс. 246-c). Лінія роўня жыжкі падыймаецца (жыжка пашыраецца) і стаецца усё раўнейшай, сьветлая палоска над ёю пашыраецца (гушчыня пары павялічваецца), а сьветлая палоска пад роўнем звужаецца (гушчыня жыжкі памяншаецца). Станы газавы і плыўкі быццам зьліжаюцца, уласьцівасьці іх стаюцца ўсё больш і больш аднолькавымі. І ўрэшце ў трубцы на экране гіне лінія роўня жыжкі, палоскі пары і жыжкі зрабіліся аднолькавае шырыні; усё паказвае, што там ёсьць аднароднае цела (рыс. 246-d). За хвілінку перад гэтым зьявішчам на лініі роўня этэру мы бачым выразна кіпеньне (рыс. 246-e). Вось, значыць, мы атрымалі тэмпэратуру, пры якой жыжка і пара ня розьняцца паміж сабой нічым, і ня ведаем навет, як назваць гэтае новае цела: плыўкім, ці газавым? І толькі дзеля таго, што яно ня мае свабоднага роўня, прынята лічыць яго газавым. Пры гэтай тэмпэратуры ніякі вонкавы ціск ня можа перашкодзіць жыжцы кіпець, і яна ўся пераходзіць у пару.



Рыс. 246.

Калі дамо гэтай пары астуджацца, то паўторацца тыя самыя зьявішчы, толькі ў адваротным парадку. У нейкай хвіліне, калі тэмпэратура алею, а значыць і этэру панізіцца да тае, якая была пры кіпеньні жыжкі (рыс. 246-e),—а гэта паказвае тэрмомэтр, — у пары этэру на месцы быўшага роўня жыжкі зьяўляецца імгла, якая клубіцца і паступова разыходзіцца, а на яе месцы вырысоўваецца выразная лінія роўня жыжкі. Над ім сьветлая палоска вузейшая, чым пад роўнем. У меру астуджаньня сьветлыя палоскі ўсё больш розьняцца паміж сабой, і ровень жыжкі ападае і стаецца ізноў увагнутым.

Гэты дасьлед, паўтораны з іншай жыжкай, дае ў істоце сваёй падобныя зьявішчы, ведама, пры іншай, уласьцівай для гэтае жыжкі, тэмпэратуры.

І вось тая тэмпэратура, пры якой чэзнуць граніцы паміж дадзеным плыўкім целам і яго парай, завецца *крытычнай тэмпэратурай* гэтага матэрыялу.

Далей, мы ўжо ведаем, што пружкасьць насычанае пары расьце з тэмпэратурай. Значыць, і пры крытычнай тэмпэратуры яна мае точна вызначаную велічыню. Каліб вонкавы ціск быў меншы за гэтую пружкасьць, то жыжка выпаравала бы раней, чым дайшла бы да крытычнае тэмпэратуры. Ясна з гэтага, што істнуе для жыжкі такжама *крытычны вонкавы ціск*. Гэта ёсьць той мінімальны ціск, пад якім газавае цела пры тэмпэратуры, трошкі ніжэйшай за крытычную, пачынае зжыжацца. Інакш кажучы, гэта ёсьць мінімальны ціск, пад якім жыжка пры тэмпэратуры, трошкі ніжэйшай за крытычную, можа яшчэ захоўваць свой плыўкі стан. Гэты-ж ціск раўняецца пружкасьці насычанае пары пры крытычнай тэмпэратуры.

Точныя памеры, аб дэталях якіх мы гаварыць ня будзем, даюць вось якія вялічыні для крытычнае тэмпэратуры і крытычнага ціску розных целаў:

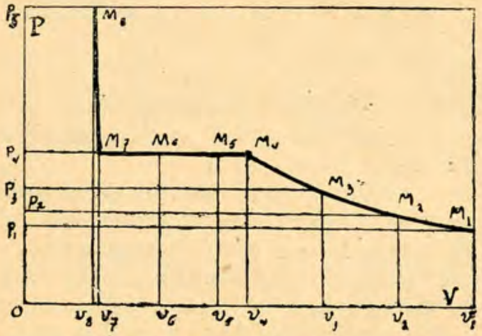
	Крытычная тэмпэратура.	Крытычны ціск.
Вада	+ 364^0,3 C	194,6 atm.
Этылавы этэр . . .	+ 194^0,0	35,6 „
Двутлёністы вугаль .	+ 31^0,4	72,9 „
Тлён	— 118^0,8	50,8 „
Азот	— 145^0,1	33,6 „
Вадарод	— 241^0	19,4 „
Гэль	— 268^0	2,8 „

Як бачым з табліцы, у трубцы з этэрам пры крытычнай тэмпэратуры 194^{0}C ціск насычанае пары быў ня ніжэй за 35,6 atm. Пры далейшым награваньні гэты ціск яшчэ павялічыўся.

Мы бачылі, што, чым вышэй тэмпэратура, тым менш розьняцца паміж сабой жыжка і яе пара, а пры крытычнай тэмпэратуры розьніца паміж імі саўсім гіне. Таму ясна, што цяплыня параваньня, г. зн. тая цяплыня, якая патрэбна, каб плыўкое цела ператварылася ў пару, памяншаецца з павялічэньнем тэмпэратуры, а пры крытычнай тэмпэратуры цяплыня параваньня раўняецца нулю. Гэта і пацьвярджаюць атрыманыя з практыкі вялічыні (гл. табліцу для цяплыні параваньня вады § 144).

І вось мы падыйшлі да вырашэньня пытаньня, якія абставіны неабходны дзеля пераходу ненасычанае пары ў насычаную і затым у жыжку. Насычаная пара вады пры 30^{0}C пераходзіць у жыжку пад ціскам каля $^1/_{25}$ atm, пры 100^{0}C—пад ціскам 1 atm., пры далейшым павялічэньні тэмпэратуры патрэбны ціск шыбка расьце, а пры 365^{0}C ужо ніякі ціск ня можа ператварыць пары ў ваду. Тое самае адносіцца і да другіх газаў. Значыць, для зжыжэньня пары неабходна, каб *тэмпэратура пары была ніжэй за крытычную*. Тады і толькі тады, ужыўшы адпаведнага ціску, мы атрымаем з пары жыжку.

151. Дыаграма ўласьцівасьцяў пары. Возьмем цыліндр з таўкачом, напоўнены ненасычанай парай. Зьмесьцім яго ў абшырную ванну, якая будзе падтрымліваць сталую тэмпэратуру пары ў цыліндры. Няхай гэтая тэмпэратура ў першым дасьледзе будзе t_1. Яе захоўвае пара і жыжка ўвесь час нязьменнай, таму і сам процэс мае назоў *ізотэрмічнага* (грэцкія словы: ізос — аднолькавы, сталы; тэрмос — цяплыня). У цыліндры будзем зьмяншаць абыймо пары і манометрам будзем мерыць ціск яе. Гэтыя вялічыні будзем адкладаць на дыаграме: абыймо пары на восі X-аў, а ціск на восі Y-аў. На рысунку 247 адложым на лініі 0V велічыню пачатнага абыйма ненасычанае пары $= v_1$, якому адпавядае ціск p_1. Гэты ціск адложым на лініі OP. З пункту v_1 правядзём раўналежную да OP, а з пункту p_1 — раўналежную да OV. Пункт іх перасеку M_1 будзе сваімі координатамі $M_1p_1 = v_1$ і $M_1v_1 = p_1$ выражаць стан пары. Пасунем цяпер таўкач так, каб абыймо пары зьменшылася да v_2; тады ціск павялічыцца да p_2. Знойдзем гэты пункт на дыаграме: ён будзе M_2. Паменшым яшчэ абыймо да v_3; дастанем ціск p_3 і пункт стану пары M_3. Злучым пункты M_1, M_2, M_3 і г. д. лініяй; яна і будзе паказваць для кожнае велічыні абыйма дадзенае пары яе пружкасьць пры дадзенай сталай тэмпэратуры.

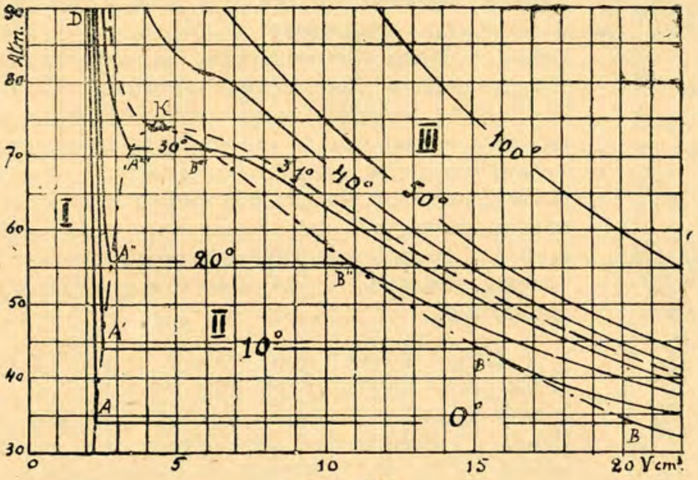


Рыс. 247.

Памяншаючы абыймо далей, мы дойдзем да такога абыйма, пачынаючы ад якога пружкасьць пары ня будзе павялічвацца, значыць, пры v_4, v_5, v_6 пружкасьць будзе ўсё тая самая p_4, і крывая M_1 M_2 M_3 M_4 заменіцца ў простую, раўналежную да восі X-аў. У цыліндры мы заўважым жыжку, сколькасьць якое будзе ўсё павялічвацца разам з тым, як мы будзем памяншаць абыймо пары. Значыць, пара, якая на працягу крывой M_1 M_2 M_3 M_4 была ненасычанай, пачынаючы ад пункту M_4 сталася насычанай, і з яе творыцца жыжка. Сколькасьць жыжкі ўсё павялічваецца, а сколькасьць пары памяншаецца; урэшце, пры нейкім абыйме v_7 мы бачым, што жыжка запоўніла ўсё абыймо пад таўкачом, а пары саўсім няма. Папрабуем далей зьмяншаць абыймо, г. зн. будзем далей сьціскаць жыжку. Мы ўжо ведаем, што жыжкі вельмі трудна паддаюцца сьціску, і, значыць, каб паменшыць абыймо жыжкі на невялікую частку, трэба ўжыць вялікі ціск. Значыць, калі хоць крыху перасунем на дыаграме пункт v_7 улева, для p_5 дастанем пункт вельмі высака. Злучыўшы M_7 з M_8, пабачым, што гэтая лінія пойдзе блізка раўналежна да восі Y-аў, уверх.

Гэтак, мы дасталі для пары нейкага цела пры нязьменнай тэмпэратуры t_1 характэрную лінію: частка яе ад M_1 да M_4 ёсьць лінія, якая паказвае ўласьцівасьці ненасычанае пары, M_4 да M_7—насычанае пары, налева ад M_7—жыжкі. Гэтая лінія завецца *ізотэрмічнай лініяй*, або *ізотэрмай дадзенага цела пры дадзенай тэмпэратуры*.

Зробім дасьлед над газам, які завецца двутлёністым вуглем (CO_2), для тэмпэратур 0^0, 10^0, 20^0, 40^0, 50^0 і 100^0C, а рэзультаты дасьледу нарысуем на дыаграме (рыс. 248). Возьмем 1 літр гэтага газу пры нормальных варунках (0^0C і 760 mm), увядзём яго ў цыліндр, як вышэй, акружым лёдам (значыць, тэмпэратура газу будзе сталая 0^0) і будзем памяншаць яго абыймо. Пры 22 cm^3 абыйма пружкасьць газу будзе 32 atm. Пры 20,2 cm^3 газ ужо пачне зжыжацца, значыць, перахадзіць у насычаны стан, і пружкасьць яго будзе 34,3 atm (пункт B). Пры далейшым зьмяншаньні абыйма ўвесь газ пяройдзе ў жыжку, калі абыймо яго стане роўным 2,2 cm^3 (пункт A на дыаграме). Каб далей сьціснуць атрыманую жыжку, трэба ўжыць вялікі вонкавы ціск, што і паказвае лінія AD. Значыць, адрэзак CB адпавядае ненасычанай пары, адрэзак BA—пара насычаная, адрэзак AD—жыжка, усё пры 0^0C.

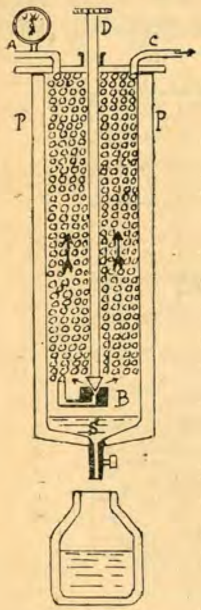


Рыс. 248.

Заместа таючага лёду возьмем ваду, тэмпэратура якое будзе ўвесь час роўна 10^0C, і з тым самым газам паўторым гэты дасьлед. Пружкасьць газу пры ўсіх абыймах паднялася, бо-ж мы і ведаем, што пружкасьць газу павялічваецца пры павялічэньні тэмпэратуры. Таксама вышэй падняўся пункт, у якім пара пераходзіць у насычаны стан (пункт B′), але характар крывое астаўся той самы. Пры 20^0C крывая яшчэ павысіцца (пружкасьць насычанае пары = 56 atm.), захоўваючы свой характар, але пры гэтым мы бачым, што даўжыня адрэзкаў крывое, адпавядаючых насычанай пары, усё памяншаецца. Пры 30^0C гэта ўжо толькі кароткі адрэзак. Пры 31^0 мы ўжо ня можам заўважыць зжыжэньня, маса газу астаецца ўвесь час аднароднай пад усякім ціскам. Простая AB пераходзіць у адзін пункт K, які ёсьць крытычным пунктам для дадзенага газу. Гэтаму пункту адпавядае пружкасьць пары = 73 atm.

Пры тэмпэратурах, вышэйшых за 31^0, крывыя чым далей, тым болей плаўную прымаюць форму і зьбліжаюцца да ізотэрмаў, нарысаваных па законам Бойль-Мар'ёта і Чарльса.

Пункты нашых ізотэрмаў, у якіх ненасычаная пара пераходзіць у стан насычэньня, злучым аднэй крывой $BB'B''B'''K$ і далей злучым пункты ізотэрмаў, гдзе насычаная пара ўся перайшла ў жыжку $KA'''A''A'A$. Зжыжэньне можа мець месца толькі тады, калі пункт дадзенае пары ляжыць ніжэй за гэтую лінію (г. зн. коордынаты v і p перасякаюцца на полі II). За гэтай лініяй налева будзе жыжка, а вышэй за лінію ненасычаны газ.



Рыс. 249.

Для іншых газаў лічбавыя вялічыні коордынатаў будуць, ведама, іншыя, але сам характар ліній і асаблівасьці крытычнае тэмпэратуры астаюцца тыя самыя. Цяпер для нас ясна, што сустракаліся вялікія труднасьці пры зжыжэньні такіх газаў, як паветра, тлён, вадарод, гэль. Раней думалі, што адным ціскам можна ўсякі газ ператварыць у жыжку, і толькі дасьледы англійскага вучонага Андрюса (Andrews) над двутлёністым вуглем паказалі, якую ролю пры зжыжэньні іграе тэмпэратура. Мы ўжо ведаем, што для памянутых трудна зжыжаючыхся газаў крытычная тэмпэратура ляжыць вельмі далёка ад нашае звычайнае.

152. Зжыжэньне газаў. Выклікаючы адпаведна нізкія тэмпэратуры пры вялікім ціску, вучонаму сьвету ўдалося зжыжыць усе гэтак-званыя „трывалыя газы“. Тэмпэратуры, атрыманыя пры гэтым, вельмі нізкія. Гэль, які найтрудней было зжыжыць, патрабуе — 268^0C, гэта значыць толькі на 5^0 вышэй за тэмпэратуру абсолютнага нуля.

Зжыжэньне газаў у лябораторыях унівэрсітэтаў рабілася карыстаючыся параваньнем ужо зжыжаных газаў пры вельмі малым ціску. Пры гэтым пераходзілі ад аднаго газу да другога гэтак. Плыўкі двутлёністы вугаль паруе пад 1 atm. пры тэмпэратуры—79^0. Зжыжаны пры гэтай тэмпэратуры этылен паруе пры 20 mm ртутнага стоўбіка і дае тэмпэратуру—140^0, у якой ужо зжыжаецца паветра пад ціскам 39 atm.,—і гэтак далей.

Гэты і падобныя спосабы дужа трудныя і дарагія. У практыцы ўжываюцца іншыя спосабы. Тут дамо апісаньне прылады Гампсона (Hampson). Рыс. 249 прадстаўляе схэму яе.

Доўгая мядзяная трубка скручана і зьмешчана ў цыліндр з падвойнымі сьценкамі. Трубка з аднаго боку A злучаецца з згушчаючай помпай (компрэсор), а на другім канцы B мае адтуліну, якая можа быць закрыта больш або менш конусам, прымацаваным да дручка D. Цыліндр P, прыкрыты зьверху, мае трубку C, цераз якую можа выхадзіць газ з гэтага цыліндра. Паветра, згушчанае блізка да 200 atm. пружкасьці, ідзе па трубцы A ў мядзяную трубку і выходзіць цераз B, гдзе вонкавы ціск роўны 1 atm. Тут, дзеля раптоўнага спаду ціску, паветра крэпка астуджаецца і, халоднае, абходзіць мядзяную трубку і выходзе цераз C. Паветра ў трубцы астуджаецца ўсё больш, што вызывае далейшае астуджэньне паветра навакола B. Урэшце, тэмпэратура паветра, пры выхадзе з B, падае так нізка, што яно зжыжаецца, і жыжка зьбіраецца ў S. Адсюль ад часу да часу яе спускаюць у сталёвыя рэзэрвуары.

Значыць, гэты спосаб аснованы на астуджаньні пры павялічэньні абыйма і не вымагае ніякага вонкавага астуджаньня, як гэта рабілася раней.

Гэтым спосабам могуць быць зжыжаны і другія газы. Паміж імі вадарод пры нормальнай тэмпэратуры ня можа быць зжыжаны, бо ён пры павялічэньні абыйма не астуджаецца, а награваецца. Але, калі яго астудзіць перад тым да—80^0, то і ён далей будзе сам сябе астуджаць і ўрэшце ператворыцца ў жыжку.

Гэтыя газы ў плыўкім стане энэргічна паруюць пры нормальнай тэмпэратуры. Дзеля перахаваньня іх ужываецца прылада Дюара (Dewar). Гэта—судзіна з падвойнымі сьценкамі, паміж якімі зроблена блізка ідэальная пустата. Апроч таго, усе сьценкі пасрабраны, каб найлепш працівіліся дапліву цяплыні звонку. У гэткай адкрытай судзіне плыўкое паветра можа стаяць некалькі дзён.

Прылада Гампсона для зжыжаньня газаў так сама мае падвойныя сьценкі, каб астуджэньне ішло хутчэй.

Пазнаёмімся з уласьцівасьцямі некалькіх зжыжаных газаў. Найлягчэй было зжыжыць двутлёністы вугаль. Пры пакаёвай (16 - 17^0C) тэмпэратуры ён пад ціскам 55 atm. пераходзе ў жыжку саўсім празрыстую і вельмі рухавую. Ён шырока распаўсюджаны ў гандлю і прадаецца ў сталёвых цыліндрах (балёнах) для тэхнічных мэтаў. Над жыжкай у балёне знаходзіцца насычаная пара яе пад ціскам каля 55 atm. Калі адчыніць кран, то пара двутлёністага вугля будзе з сілай вырывацца з цыліндра. Калі нахілім цыліндр кранам уніз, то з яго будзе выцякаць жыжка. Дзеля таго, што ціск на яе раптоўна паменшыўся з 55 atm. да 1 atm., яна пачне параваць і пры параваньні будзе вельмі сільна астуджаць самую сябе і акружаючыя прадметы. Ад гэтага астуджэньня часьць жыжкі ператворыцца ў цьвёрдае цела, падобнае да сьнегу, тэмпэратура якога будзе — 57^0C. Калі сьнег абальлём этэрам, то астуджэньне з прычыны далейшага параваньня пойдзе далей, і мы дастанем астуджаючую мешаніну з тэмпэратурай —80^0C.

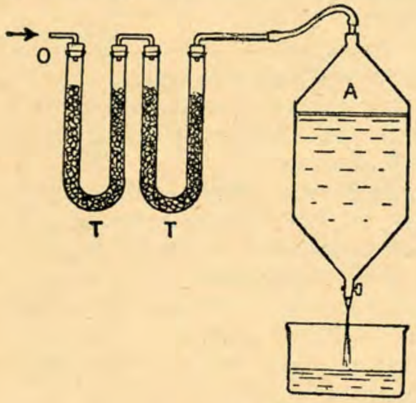
Плыўкое паветра перахоўваецца так сама ў сталёвых цыліндрах. Гушчыня яго трохі вялікшая за гушчыню вады.

Агулам, усе газы пры зжыжэньні пераходзяць у жыжкі, падобныя да ведамых нам. Іншыя толькі з іх маюць спэцыяльную ахварбоўку, прыкл. тлён мае блакітны колер, хоць сам газ бяз колеру.

Блізка ўсе зжыжаныя газы ўдалося давясьці да цьвёрдага стану, адзін толькі гэль дагэтуль не атрыманы ў форме цьвёрдага цела.

Зжыжаныя газы служаць як вельмі энэргічныя астуджаючыя матэрыялы, бо, паруючы, яны астуджаюцца да адпаведнае тэмпэратуры параваньня: для паветра пры нормальным ціску гэта—190°C, для двутлёністага вугля—79°C.

Уласьцівасьці розных целаў пры гэтых тэмпэратурах вельмі зьмяняюцца. Ртуць стаецца такім цьвёрдым мэталем, як зялеза. Каўчук робіцца вельмі крохкім. Краскі цьвярдзеюць і б'юцца на дробныя кавалкі, быццам шкляныя. Вата, замочаная ў плыўкім паветры і пасыпаная вуглем, пры запаліваньні дае эфэктоўны ўзрыў.



Рыс. 250.

З А Д А Ч Ы.

138. У баромэтрычную трубку ўведзены сьпірт і затым вада ў такіх сколькасьцях, што кожная жыжка дала яшчэ невялікі астатак нявыпараванае свае масы. Дасьлед зроблены пры 20°C. На сколькі панізіўся стоўбік ртуці?

139. У баромэтрычную трубку ўведзены пры 20°C этэр так, што ртуць панізілася на 25 cm. Ці пара этэру насычана, і ці на роўні ртуці будзе стаяць плыўкі этэр?

140. Ці можна плыўкое паветра наліць у шкляную бутэльку, закаркаваць і трымаць у пакоі?

АДДЗЕЛ VI. ВІЛЬГОТНАСЬЦЬ ПАВЕТРА.

153. Абсолютная і адносная вільготнасьць паветра. Паветра мае ў сабе пару вады, якая, згодна з законам Дальтона, дае частку ціску атмосфэры. Сколькасьць пары ў паветры залежыць ад прысутнасьці ў дадзеным месцы на зямлі мораў, рэкаў, вазёр, а таксама ад тэмпэратуры, ад вятроў, ад атмосфэрных асадкаў. Сколькасьць гэтая вельмі зьменная велічыня, і дзеля таго, што яна мае вялікую вагу ў жыцьці чалавека, трэба ўмець мерыць яе з належнай точнасьцю.

Абсолютная вільготнасьць паветра мерыцца ў грамах сколькасьцю пары ў 1 m^3 паветра.

Для гэтых памераў ужываецца прылада, як на рыс. 250. Судзіну A, якая называецца асьпіратарам і мае точна памераны зьмест, напаўняюць вадой. Калі ваду будуць з яе выпускаць, то цераз трубкі T будзе ўсасывацца паветра. А ў трубках T, якія завуцца

сушыльнямі, знаходзіцца серчатая кісьля, або якое іншае цела, якое ўбірае ў сябе ваду. Цераз трубкі пройдзе як раз гэтулькі паветра, сколькі выльлецца вады з A, а ў трубках маса жыжкі павялічыцца як раз на тую пару, што была ў паветры, папаўшым у A. Зважыўшы трубкі T перад і пасьля дасьледу і памерыўшы абыймо вады, якая выцякла з A, дастанем абсолютную вільготнасьць паветра.

Гэтую самую прыладу можам выкарыстаць, каб зрабіць памеры абсолютнае вільготнасьці насычанае пары для кожнае тэмпэратуры. Трэба толькі паветра перад тым, чым яно пападзе ў T, прапусьціць цераз падобную трубку формы U з вадой, каб пара была насычаная. Памеры гэтыя, зробленыя з вялікай точнасьцю, далі вось якія рэзультаты:

Сколькасьць у грамах насычанае пары вады ў 1 m^3 паветра:

t°C.	gr.	t°C.	gr.	t°C.	gr.
— 3	4	5	6,8	13	11,3
— 2	4,2	6	7,2	14	12,0
— 1	4,5	7	7,7	15	12,8
0	4,9	8	8,2	16	13,6
1	5,2	9	8,8	17	14,4
2	5,6	10	9,4	18	15,3
3	5,9	11	10,0	19	16,2
4	6,4	12	10,6	20	17,2

Калі прымем пад увагу, што 1 m^3 паветра важыць 1293 gr., то сколькасьць пары, хоць бы і насычанае, у паветры нам здаецца вельмі нязначнай. А тым часам, калі не на аснове асабістых перажываньняў, дык выбражэньнем можам сабе прадставіць, як чуецца чалавек у паветры, насычаным парай: ён будзе ўвесь час мокрым, усе прадметы будуць мокрымі, бо ўсякая найменшая зьмена тэмпэратуры, ці ціску вызывае зжыжэньне (балоцістыя ваколіцы, Прыпяць, Амазонка). Так сама шкодна для чалавека і вільготнасьць, якая не даходзіць да 50% насычанае пары. Найздаравейша для чалавека вільготнасьць, роўная 60 - 70% насычанае пары. З гэтага мы бачым, што абсолютная сколькасьць вадзяное пары ў паветры нас ня цікавіць. Нам важна ведаць адносіны гэтае сколькасьці да вільготнасьці насычанае пары. І вось, адносіны абсолютнае вільготнасьці паветра да ведамае вільготнасьці насычанае пары пры гэтай самай тэмпэратуры называюцца адноснай вільготнасьцю. Гэтая велічыня выражаецца найчасьцей у процэнтах.

154. Памеры адноснае вільготнасьці. Для памераў адноснае вільготнасьці можам карыстацца апісанай (рыс. 250) прыладай і табліцай для абсолютнае вільготнасьці насычанае пары вады. Прыкл., памераная пры 12^{0}C абсолютная вільготнасьць паветра ёсьць 8,4 gr. Адносная вільготнасьць будзе 8,4 : 10,6 = 0,792 = 79,2$^0/_0$.

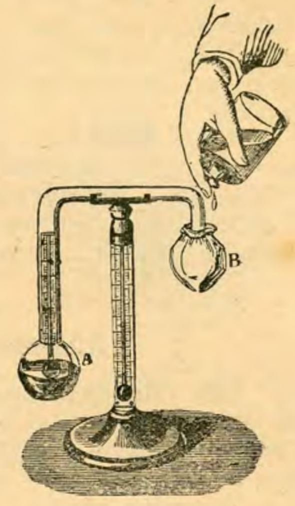
Вільготнасьць паветра лёгка знаходзіцца мэтадам вызначаньня „пункту расы“. Тэорэтычныя падставы гэтага мэтаду вось якія. Цёплая ненасычаная пара пры студжэньні робіцца насычанай і ўрэшце зжыжаецца. Цёплае паветра мае ў нейкім абыйме, прыкл. у пакоі, усюды аднолькавую пружкасьць. Датыкаючыся да халоднага прадмету, частка гэтага паветра астуджаецца, і наступае хвіліна, калі вонкавы ціск на гэтую частку раўняецца пружкасьці насычанае пары ў тэмпэратуры, да якое яно астудзілася. І вось тады пара пачынае зжыжацца, г. зн. на гэтым халодным прадмеце асядаюць каплі вады — раса. Заўважыўшы точна тэмпэратуру цела ў хвіліне, калі зьяўляецца раса, знаходзім з табліц пружкасьць пары, што напаўняе пакой.

Вось табліца пружкасьці насычанае пары:

t^{0}C.	Пружкасьць у mm.	t^{0}C.	Пружкасьць у mm.	t^{0}C.	Пружкасьць у mm.
— 3	3,67	5	6,51	13	11,14
— 2	3,95	6	6,97	14	11,88
— 1	4,25	7	7,47	15	12,67
0	4,57	8	7,99	16	13,51
1	4,91	9	8,55	17	14,40
2	5,27	10	9,14	18	15,33
3	5,66	11	9,77	19	16,32
4	6,07	12	10,43	20	17,36

З гэтае-ж самае табліцы знаходзім пружкасьць, якую мела бы пара, калі-б паветра ў пакоі было насычана парай пры тэмпэратуры, якую нам паказвае другі тэрмомэтр. Прылада на рыс. 251 служыць дзеля гэтых памераў. Дзьве шкляныя кулькі злучаны трубкай. У кульках наліты этэр. У аднэй устаўлены тэрмомэтр, другая абернена рызінкай. Перад дасьледамі этэр пераліваюць у кульку з тэрмомэтрам, а на рызінку капаюць этэр, які зараз жа паруе. Пара этэру ў кульцы астуджаецца, што вызывае параваньне ў кульцы з тэрмомэтрам. Гэтае параваньне паніжае тэмпэратуру этэру і яго пары. Кулька з тэрмомэтрам астуджаецца, і на ёй зьяўляецца раса. У гэтую хвіліну прыкмячаем стан тэрмомэтру, што ў кульцы. Прыкл., тэмпэратура ў пакоі роўна 16^{0}C. **Гігромэтр Даніеля** (Daniell)—так называецца прылада, паказаная на рыс. 251, — адзначыў зьяўленьне расы пры 10^{0}C. Па табліцы знаходзім: насычаная пара пры 10^0 мае пружкасьць 9,14 mm, а пры 16^0 пружкасьць яе роўна 13,51 mm.

Адносная вільготнасьць паветра будзе тады 9,14 : 13,51 = = каля 67,5$^0/_0$.



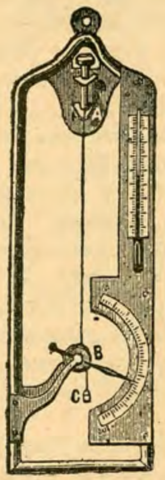
Рыс. 251.

Мы маглі-б карыстацца і табліцай абсолютнае вільготнасьці: пры 10^{0}C ў 1 m^3 паветра будзе 9,4 gr насычанае пары. значыць, гэтулькі пары знаходзіцца ў 1 m^3 паветра ў пакоі, гдзе мы робім дасьлед. Каб насыціць гэтае паветра пры яго тэмпэратуры (16^{0}C), трэба, каб было 13,6 gr. пары. Значыць, адносная вільготнасьць будзе 9,4 : 13,6 = 69$^0/_0$.

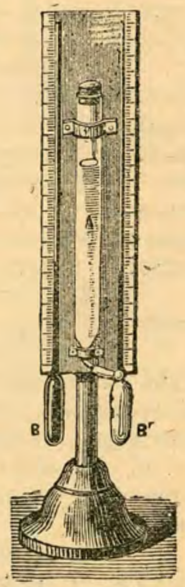
Як бачым, гэтыя дзьве табліцы даюць некаторую розьніцу; аднак, у практыцы гэта ня мае ніякага значэньня.

У гэтым дасьледзе найтрудней улавіць першыя сьляды расы.

Агулам трэба заўважыць, што памеры вільготнасьці даволі скомплікаваныя і таму точна робяцца толькі на мэтэоролёгічных станцыях. Для ўжытку шырокіх масаў (асабліва для сельскіх гаспадароў, якіх цікавіць пытаньне аб вільготнасьці) істнуюць **гігроскопы**. Гэта прылады, якія ня маюць ніякае прэтэнсіі да точнасьці. Да іх належыць гэтак-званы „капуцын“, што пры вялікай вільгаці хаваецца ў будку, або нацягівае каптур на галаву. Рух „капуцыну“ дае струна, якая раскручваецца ад вільгаці, а скручваецца пры сушы.



Рыс. 252.



Рыс. 253.

Больш точны гігроскоп asнованы на падаўжэньні чалавечага воласа ад вільгаці. Вымыты і высушаны волас замацоўваюць адным канцом (рыс. 252) у рамцы, перакідаюць цераз блёк і вешаюць на ім гірку. Да блёку прымацавана стрэлка, якая на шкале паказвае вільготнасьць.

Урэшце, ужываецца **псыхомэтр Аўгуста** (Auguste) (рыс. 253). З двух аднолькавых тэрмомэтраў адзін астуджаецца паруючай вадой. Параваньне вады будзе тым больш, чым сушэй паветра, таму і розьніца паміж паказаньнямі тэрмомэтраў будзе зьмяняцца. З далучаных да кожнага псыхомэтру табліц знаходзім вільготнасьць паветра адпаведна да паказаньняў абодвух тэрмомэтраў.

ЗАДАЧЫ.

141. Чаму шыбы ў вокнах „замярзаюць“, г. зн. пакрываюцца лёдам? Якім спосабам не дапусьціць да гэтага?

142. Гігромэтр Даніеля паказвае пункт расы 11.5^0, а тэрмомэтр дае тэмпэратуру паветра 14,5^0. Якая будзе адносная вільготнасьць?

143. Зьмест асьпіратара — 10 літраў. Яго напаўняюць вадой, злучаюць з сушыльнямі і апаражняюць. Уся вільгаць астаецца ў сушыльнях. Так паўтараюць 10 разоў. Тэмпэратура паветра была 19,4^{0}C. Перад дасьледам сушыльні з кісьляй важылі 122,5 gr, пасьля дасьледу—123,6 gr. Якая адносная вільготнасьць паветра?

АДДЗЕЛ VII. ПЕРАДАЧА ЦЯПЛЫНІ.

155. Праводжаньне і перанос цяплыні. У ранейшых аддзелах мы ня раз казалі аб дзеяньні цяплыні аднаго цела на другое. Цяпер разгледзім бліжэй, як гэты процэс перадачы цяплыні адбываецца паміж целамі і ў самых целах.

Мэталёвы дручок, падаграваны з аднаго канца, перадае цяплыню лёду, у які уткнёны другі яго канец. Аб гэтым мы судзім з таго, што лёд таець. Дручок праводзіць цяплыню, цераз яго праходзіць паток цяплыні, але часткі матэрыі самога дручка астаюцца на сваіх мясцох.

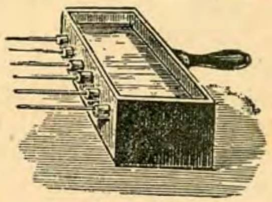
У бутэльку з вадой насыпем драўляных апілак і пачнем ваду награваць. Пабачым, што апілкі будуць з дна—ад месца награваньня падыймацца ўверх, а адтуль—ужо другімі дарогамі — ападаць ізноў на дно. Значыць, у вадзе пад уплывам цяплыні зьяўляюцца патокі ўжо самае матэрыі. Гарачэйшая вада, гушчыня якое зьменшылася, усплывае на вярхніну жыжкі, а халаднейшая ападае на дно. Гэтак сама гарачая печка награвае паветра, якое да яе датыкаецца, і тады нагрэтае паветра падыймаецца ўверх, а ўніз ападае халаднейшае.

У гэтым прыпадку часьціны самога цела пераносяць цяплыню; гэткі род перадачы цяплыні і завецца пераносам цяплыні.

Перанос цяплыні мы на зямлі спасьцерагаем вельмі часта; гэта ёсьць патокі вады ў мо́рах — Гольфштрэм, Куро-Сіво; вятры ў экватарыяльных краінах — пассаты, мусоны, у Сахары—самум; вятры, што веюць у нас з Балтыцкага мора і з глыбі Расейскае раўніцы,— і г. д. На марскіх узьбярэжжах у дзень веець вецер з мора, бо суша гарачэйшая, а ў начы — з сушы, бо мора павальней астуджаецца.

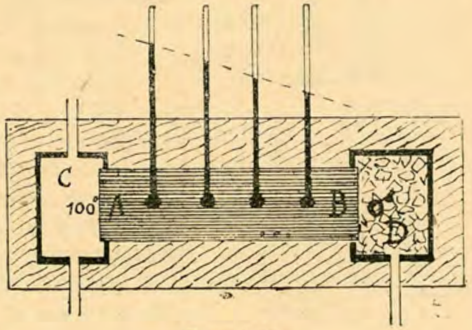
Значыць, мы пазналі тут два спосабы перадачы цяплыні: пераводам і пераносам цяплыні. Задзержымся на першым з іх, бо ён дае магчымасьць высьвятліць некаторыя ўласьцівасьці целаў.

Возьмем прыладу, як на рыс. 254; у гэту судзіну наліваем кіпячае вады. У бочнай сьценцы судзіны ўстаўлены дручкі аднолькавага сячэньня і аднолькавае даўжыні, але з розных матэрыялаў: срэбра, медзі, цынку, зялеза, шкла, дрэва, якія пакрыты тонкім слоем вашчыны. Цяплыня ад варатку пераходзе па дручкох, і мы бачым, што вашчына на дручкох пачынае плавіцца. Найперш расплавіцца яна на срэбным дручку, хутка затым на мядзяным; за гэты-ж самы час на зялезным плаўленьне дойдзе блізка да $^1/_4$ яго даўжыні, а на дзераве плаўленьне толькі пачнецца. Мы бачым, што срэбра лепш праводзіць цяплыню, чым іншыя ўзятыя матэрыялы, а зялеза—лепш за шкло і дзерава. І вось, гэткія розьніцы паміж уласьцівасьцямі цела мы адзначаем, кажучы, што целы маюць розную цяплаправоднасьць. Срэбра мае вялікую, дзерава саўсім малую цяплаправоднасьць.



Рыс. 254.

Дзеля знаходу цяплаправоднасьці нейкага цела зробім вось які дасьлед (рыс. 255). Дручок AB з сьле́джанага матэрыялу ўваходзіць сваімі канцамі ў скрынкі C і D. Цераз скрынку C праходзіць увесь час пара вады пры 100^{0}C. У скрынцы D зьмяшчаецца лёд. Усё абернена благім праваднiком цяплыні, каб мы маглі быць пераканаы, што сьценкі дручка не аддаюць цяплыні акружаючаму паветру. І вось мы бачым, што лёд у D таець. Значыць, цяплыня пераходзіць ад C ў D. Калі ў дручок уставім тэрмомэтры, то заўважым, што цераз нейкі час кожны з іх будзе паказваць нязьменную тэмпэратуру, пакуль цераз C будзе ісьці пара, а ў D будзе лёд. Ясна, што тэмпэратура гэтая будзе тым вышэй, чым бліжэй да C пастаўлены тэрмомэтр. Мы заўважым яшчэ, што паніжэньне тэмпэратуры дручка пропорцыянальна да адлежнасьці ад C. Калі назавём пачатную (ў C) тэмпэратуру літарай t, канчальную (у D) літарай t_1, а ўсю даўжыню дручка—l, то атрымаем, што на адзінку даўжыні прыходзіцца $\frac{t-t_1}{l}$ градусаў цяплыні. Гэтая велічыня завецца спадам тэмпэратуры. Сколькасьць цяплыні, якая перавядзецца дручком з C ў D, будзе пропорцыянальна да спаду тэмпэратуры, да папярэчнага сячэньня дручка S і да часу τ, значыць:



Рыс. 255.

$$Q = K \,.\, \frac{t-t_1}{l} \,.\, S \,.\, \tau \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

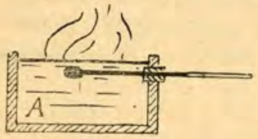
У гэтым раўнаваньні K ёсьць коэфіцыент пропорцыянальнасьці, які залежыць ад уласьцівасьцяў матэрыялу дручка,—значыць, гэта ёсьць як раз цяплаправоднасьць дадзенага цела.

З раўнаваньня (1), памерыўшы цяплыню Q, якая пайшла на таяньне лёду ў D, ведаючы t, t_1, l, s і час τ, за які растаяў гэты лёд, можам знайсьці K. Пры гэтым трэба памятаць, што Q выражаны у калёрыях, t і t_1 у градусах C^0, l - у cm, s—у cm^2, час—у сэкундах.

Ніжэйпаданая табліца дае велічыню цяплаправоднасьці для некалькіх целаў:

				паветра . .	0,00005
срэбра	1,15	лёд	0,005	вадарод (0^0) . . .	0,00032
медзь	1,04	шкло	0,002	вадарод (100^0) .	0,00041
зялеза	0,21	вада	0,0012	дзерава . .	0,0003
ртуць	0,015	нафта (газа) .	0,0004	двутлёністы вугаль	0,00003

Як бачым, цьвёрдыя целы—лепшыя праваднікі цяплыні, чым плыўкія, а плыўкія—лепшыя за газавыя. Паміж апошнімі вялікай цяплаправоднасьцю вызначаецца вадарод. Валакністыя матэрыі, агулам, благія праваднікі, бо паміж валокнамі знаходзіцца паветра і жыжкі (дзерава, футры, бавоўны, шэрсьць). Благія праваднікі цяплыні завуцца ізолятарамі.

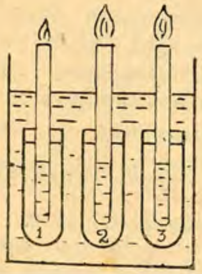


Рыс. 256

Вось пара дасьледаў, паказваючых благую цяплаправоднасьць плыўкіх і газавых целаў (рыс. 256). У судзіну A з вадой устаўляецца тэрмомэтр так, каб кулька яго была пакрыта толькі вельмі тонкім слоем вады. На вадуналіваецца некалькі капель этэру, які запаляюць. Тэрмомэтр блізка саўсім не паказуе павышэньня тэмпэратуры.

Рыс. 257.

У прабірку (рыс. 257) кладуць кусок лёду і замацоўваюць яго так, каб ён ня ўсплываў. Затым наліваюць вады і падаграваюць яе. У верхніх слаёх вада пачне кіпець, а ўнізе будзе лёд.



Рыс. 258.

Тры прабіркі (рыс. 258) з этэрам устаўлены ў закрытыя шклянкі. У першай знаходзіцца паветра, у другой — вадарод пад нормальным ціскам, а ў трэцяй — вадарод пад ціскам, роўным некалькім мілімэтрам стоўбіка ртуці. Зьмесьцім іх разам у гарачую ваду. Этэр пачне шпарчэй параваць пад уплывам цяплыні, якая перадаецца церазгэтыя газы. Запалім яго і пабачым, што полымя над шклянкай з паветрам будзе саўсім малое, раўнуючы да двух другіх (над вадародам), якія будуць блізка аднолькавае велічыні. Гэта паказвае, што цяплаправоднасьць газаў не залежыць ад іх гушчыні; аднак, калі гушчыня іх паменшыцца да малога дробу мілімэтра стоўбіка ртуці, тады цяплаправоднасьць газу вельмі падае.

Благая цяплаправоднасьць газаў тлумачыць вось якое зьявішча. Пушчаная на нагрэтую да-чырвана плітку капля вады паруе ня зразу, а шыпіць і кружыцца, захоўваючы форму кулькі. Гэтая кулька аддзяляецца ад пліткі вадзяной парай, якая ўсьцяж выдзяляецца з вярхніны кулькі і недапускае надта шпаркае перадачы жыжцы цяплыні ад пліткі. У гэткім прыпадку кажуць, што капля знаходзіцца ў сфэроідальным стане. У ліцейнях работнікі паказываюць вось якую штуку. Змачыўшы руку ў вадзе, кладуць яе на хвіліну ў расплаўлены мэталь. Наадварот, у цукроўнях, гдзе вельмі горача і работнікі ходзяць блізка саўсім бяз вопраткі, яны выскаківаюць у траскучы мароз на двор, кідаюцца ў сьнег і ад гэтага не застуджаюцца. Усё гэта аб'ясняецца сфэроідальным станам жыжак пры сутыку з вельмі гарачым целам і благой цяплаправоднасьцю газаў.

На добрай цяплапроводнасьці мэталяў аснована дзейнасьць бясьпечнае лямпы Дэві (Davy). Яна ўжываецца ў капальнях, гдзе выдзяляецца грамучы газ, які пры сутыку з полымем выбухае. Мэталёвая сетка не прапускае полымі, бо яна глытае цяплынію, адводзіць яе і рассявае. Звычайна ўжываецца мядзяная сетка, бо медзь з недарагіх мэталяў мае найвялікшую цяплаправоднасьць.

156. Лучаваньне. Як спосабы перадачы цяплыні, мы пазналі перанос нагрэтых матэрыяльных часьцін і праводжаньне цяплыні самым целам. Абодва гэтыя спосабы аснованы на беспасярэдняй перадачы цяплыні аднэй часьцінай матэрыі іншым, значыць, яны могуць мецьмесца толькі ў самай матэрыі. Тымчасам штодзеннае жыцьцё і дасьледы паказваюць, што перадача цяплыні можа адбывацца і не цераз матэрыю. Калі паставім пад клёш паветранае помпы нагрэтае цела і выпампуем з-пад клёша як мага найлепш паветра, дык цяплыня ўсёж такі будзе перадавацца і самому клёшу, і акружаючым яго целам. Нам добра ведама, што паміж зямлёй і сонцам няма ніякае матэрыі, якая магла-бы перанасіць цяплыню. А тым часам лучы сонца награваюць матэрыю.

Значыць, зьявішча, якое называецца лучаваньнем, служыць перадатчыкам цяплыні паміж целамі.

Штож гэта ёсьць лучаваньне?

Лучаваньне—гэта нешта саўсім асобнае ад цяплыні. Цяплыня можа істнаваць і расхадзіцца толькі ў матэрыі; лучаваньне праходзіць і ў пустаце. Цяплыня ў матэрыі разыходзіцца толькі вельмі паволі. Успомнім дасьлед, калі мэталёвы дручок, які адным канцом зьмешчаны ў полымя (ня ніжэй 500^0, бо гэта прыблізная тэмпэратура чырвонага каленьня), можна даўгі час трымаць у руцэ, пакуль пачуем гарачыню. Лучаваньне-ж разыходзіцца вельмі скора.

Як гэта паказалі спасьцярогі і дасьледы, луч праходзіць адлежнасьць паміж зямлёй і сонцам у працягу каля 8 мінут. А гэтая адлежнасьць — каля 150 міліёнаў кілёмэтраў. Значыць, скорасьць лучаваньня ў пустаце = 300,000 km. у сэкунду.

Як пабачым далей, цяплыня ёсьць адна з формаў энэргіі. Кінэтычная энэргія можа ператварацца ў цяплыню, цяплыня так сама можа перахадзіць у энэргію руху. Наагул, істнуюць розныя формы, у якіх можа выяўляцца энэргія: рух, цяплыня, электрыка, сьвятло, магнэтызм, хімічная энэргія і г. д. Паміж імі асобнае месца займае і лучаваньне, і аднэй з галінаў яго ёсьць сьвятло. Што лучаваньне ёсьць адна з формаў энэргіі, г. зн., што яно можа перахадзіць у іншую форму энэргіі, — аб гэтым мы пераконываемся штодзенна (прыкладам, грэючыся на сонцы).

Мы ўжо ведаем, што ў пустаце лучаваньне йдзе вельмі скора, нічога ня губляючы на сваей сіле; значыць, пустата для лучаваньня ідэальна празрыта. Лучы (прыкл. сонца) праходзяць і цераз паветра, якое нас акружае, і цераз абалонкі ў вокнах і г. д. Аднак, адны целы больш празрыстыя, другія — менш, а істнуюць і зусім непразрыстыя. Да празрыстых належаць газы, да непразрыстых большасьць цьвёрдых целаў, прыкл. мэталі, зямля-суша. Гэтыя непразрыстыя целы часьць лучоў адбіваюць, другая-ж часьць праходзіць у матэрыю (матэрыя ўбірае ў сябе лучы) і ператвараецца ў цяплыню. Празрыстыя целы пры гэтым не награваюцца, бо яны прапускаюць лучы, не задзержываючы нічога. Лучы сонца даходзяць да зямлі, не награваючы паветра; на зямлі яны часткай адбіваюцца і рассяваюцца ў прасторы, як адбітыя лучы, а другая частка іх ператвараецца ў цяплыню і награвае зямлю, якая ўжо перадае гэную цяплыню акружаючаму паветру. Гэтак цяплыня сонца ператвараецца ў лучаваньне, частка якога даходзіць да зямлі і ператвараецца тутака ізноў у цяплыню.

Лучаваньне займець іншую частку курсу фізыкі, таму больш аб ім тут казаць ня будзем.

ЗАДАЧЫ.

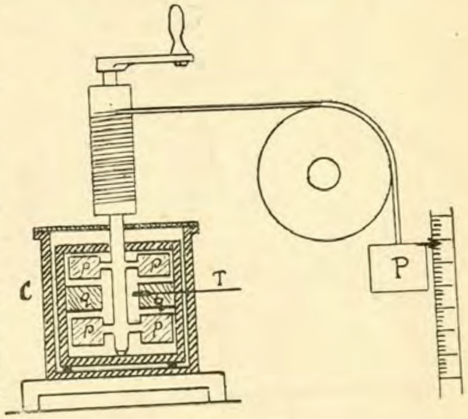
144. Прыймаючы пад увагу розную велічыню цяплаправоднасьці, вытлумачыць, чаму розныя целы, якія маюць аднолькавую тэмпэратуру, прыкл. знаходзячыся даўжэйшы час у тым самым пакоі, або нагрэтай печцы, здаюцца нам неаднолькава цёплымі, калі іх кранем рукой. У якой тэмпэратуры мэталёвыя прадметы здаюцца цяплейшымі, а ў якой халаднейшымі за драўляныя?

145. Вярхніна шклянае шыбы ў вакне прадстаўляе квадрат, бок якога = 45 cm. Таўшчыня шыбы = 3 mm. У хаце тэмпэратура ля шыбы $+ 18^{0}$C, на двары — 10^{0}C. Прымаючы, што тэмпэратура ў хаце і на двары не зьмяняецца, аблічыць, сколькі калёрыяў траціць хата за 1 гадзіну.

146. Квадратная мядзяная плітка, бок якое = 30 cm. і таўшыня = 8 mm., разьдзяляе дзьве судзіны, з якіх адна зьмяшчае лёд, а цераз другую працякае пара кіпячае вады. Сколькі лёду растаець і сколькі пары зжыжыцца за 20 мінут?

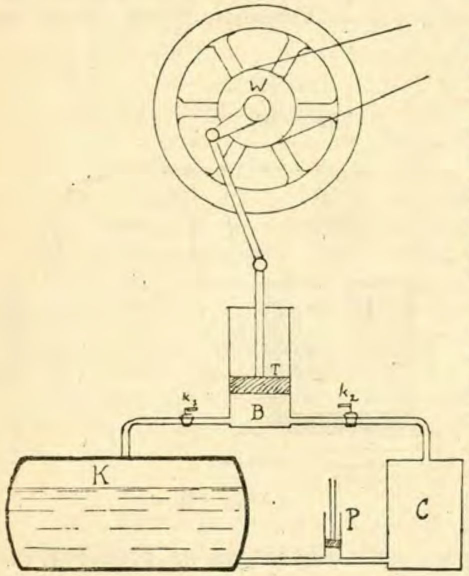
АДДЗЕЛ VIII. АСНОВЫ ТЭРМОДЫНАМІКІ.

157. Дынамічны эквівалент (раўнаважнік) цяплыні. Штодзенныя спасьцярогі вучаць нас, што целы награваюцца ад удару або ад церця. Спрытны каваль патрапіць і бяз вогнішча малатком раскаліць да-чырвана кавалак зялеза. У сьцюжу расьціраем рукі, каб іх абагрэць. Пасьля ўдару робіцца горача руцэ. Вось які просты дасьлед даводзіць гэта. На цэнтрыфугу насадзім закаркаваную мэталёвую трубку, у якой наліта трохі этэру. Трубку бяром абцугамі і зьлёгка заціскаем, каб выклікаць церце. Пусьціўшы цэнтрыфугу ў рух, праз нейкі час пабачым, што пара этэру, які пад уплывам церця нагрэецца, выкіне корак. Усе гэтыя дасьледы пераконываюць нас, што работа можа перахадзіць у цяплыню, і хоць чалавецтва ўжывала ўжо здаўна работы, каб вытварыць цяплыню (дабываньне агню, тручы два кускі дрэва), але толькі ў канцы XVIII сталецьця пагляд гэты выразна абрысаваўся ў думках вучоных. Думка гэтая ясна сформулована ў вельмі важнай працы нямецкага доктара Робэрта Майера (Robert Mayer). Ён пайшоў далей і першы ясна высказаў думку, што паміж сколькасьцю затрачанае работы і атрыманае цяплыні істнуюць сталыя адносіны. Велічыню гэтых адносін знайшоў точна толькі шмат пазьней англійскі прамысловец і фізык Джуль (Joule) і вось з якога дасьледу.



Рыс. 259.

У калёрымэтры C (рыс. 259) пастаўлены перагародкі q, паміж якімі праходзяць лапаткі p млынка, што кружыцца на стоцьнай восі. Гэтая вось прыводзіцца ў рух цяжарам P. Лапаткі p перамагаюць церце ў жыжцы, а перагародкі q недаюць усей масе жыжкі кружыцца разам з лапаткамі, г. зн. яны павялічваюць церце ў жыжцы. Уся работа, якая пойдзе на гэтае церце, ператвараецца ў цяплыню, якая павышае тэмпэратуру жыжкі. Устаўлены ў калёрымэтр тэрмомэтр паказвае прырост тэмпэратуры, з якога лёгка ўжо аблічыць і прырост цяплыні. З другога боку, мы можам аблічыць, сколькі работы пайшло на награваньне жыжкі. Пускаем прыладу ў рух, калі ў судзіне C няма жыжкі, і заўважаем час, за які гіра P ападзе на нейкую вышыню H. Адсюль можам вывясьці велічыню прысьпеху w_1. Гэты прысьпех будзе меншы, чым g, з якім падала-б гірка P, бо ўсякія церці колаў, шнуркоў, восяў і г. д. патрабуюць затраты работы. З гэтых дадзеных можам знайсьці велічыню ўсіх церцяў. Далей пускаем у рух прыладу, напоўненую тэй ці іншай жыжкай (вадой, ртуцьцю), і тады па скорасьці руху гіркі P знаходзім, сколькі работы страчана на ўвесь дасьлед. Дапускаючы, што шкодныя церці ў прыладзе астаюцца тыя самыя ў абодвух прыпадках, мы знаходзім, сколькі работы пайшло на награваньне жыжкі ў калёрымэтры. Дасьледы гэтыя вельмі трудныя, вымагаюць вельмі многа часу і добрых прыладаў. Зроблена іх у лябораторыях многа, і рэзультаты іх даюць саўсім праверану вывад, што для атрыманьня 1 вялікае калёры цяплыні трэба ўжыць 427 Kgm (кілёграммэтраў) работы, або для атрыманьня 1 малое калёры цяплыні трэба ўжыць 4,19 джуляў. Гэтыя вялічыні (427 Kgm/Cal. і 4,19 joule/cal) маюць назоў дынамічнага эквівалента цяплыні.



Рыс. 260.

Работу можна ператварыцьня толькі ў цяплыню, але і ў сьвятло (прыкл. з крэсіва), электрыку і г. д. Таму трэба вышэйсказанае разумець так, што з тае работы, якая ўся пераходзіць у цяплыню, кожныя $4{,}19 \times 10^7$ erg даюць 1 малую калёрыю (cal), або 1 erg дае $0{,}239 \times 10^7$ cal.

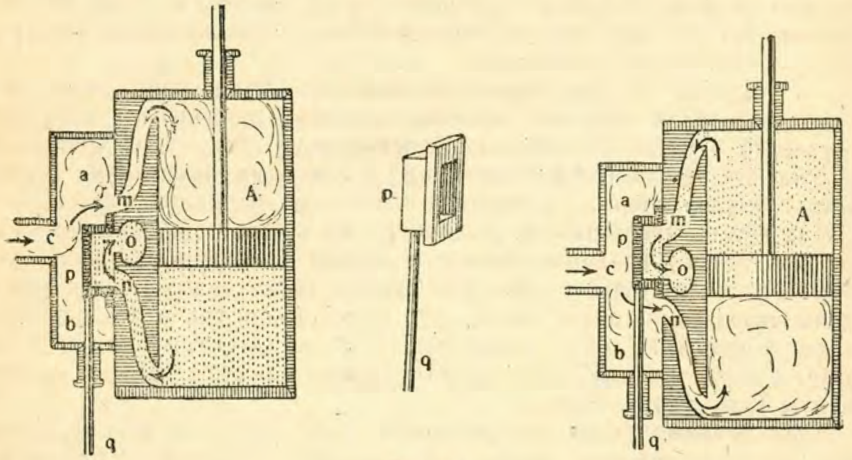
Наадварот, і цяплыня можа ператварацца ў мэханічную работу. Гэта мае месца ў-ва ўсіх цяплавых моторах, а прыкладам служыць паравая машына.

З малой точнасьцю можам самі знайсьці гэты эквівалент вось якім дасьледам. Бяром тэктуровую трубку 1 m. даўжынёй, дыамэтрам 5—6 cm. Насыпаўшы туды каля 500 gr. шроту, або лепш наліўшы каля 300 gr. ртуці, закарковываем абодва канцы яе. Затым разоў 20 пераварачаем трубку то адным, то другім канцом уверх. Ртуць ператварае сваю кінэтычную энэргію паданьня ў цяплыню. Гэтую апошнюю мерым тэрмомэтрам, але з падзелкай прынамсі на ${}^1/_5{}^0$C. Ведаючы, сколькі кінэтычнае энэргіі было ў падаючым целе, і сколькі цяплыні мы дасталі, можам лёгка аблічыць велічыню дынамічнага эквівалента цяплыні.

158. Ператварэньне цяплыні ў работу. Як найвыдатнейшы прыклад цяплавога мотора, разгледзім будову і дзейнасьць паравое машыны. Аснова яе дзейнасьці вось якая (рыс. 260): кацёл K, гдзе паруе вада, злучаны трубой з цыліндрам B. Калі адчынім кран k_1, то пара сваім ціскам падымець таўкач T ўверх. Гэты рух перадаецца

валу і далей машынам, што ад яго працуюць. Зачынім цяпер кран k_1 і адчынім k_2, які стаіць на трубе, што злучае цыліндр з студзільняй C. У гэтай апошняй пара пад дзейнасьцю струі вады, што працякае цераз C, астуджаецца, зжыжаецца і траціць свой ціск. Таму пад дзейнасьцю ціску атмосфэры таўкач T пойдзе ўніз. Тады, зачыніўшы k_2 адчынім ізноў кран k_1, і такім чынам пара з катла будзе рабіць работу. Заместа кранаў, якія адчыняюцца рукой, у паравых машынах ёсьць спэцыяльныя прылады, якім дае рух вал машыны. Паміж імі найбольш характэрыстычны ёсьць паравы каўзун (рыс. 261). Гэта — скрынка, якая коўзае ўздоўж паравога цыліндра і адчыняе для пары пачародна то адзін, то другі канал. Адначасна яна злучае студзільню з тэй часткай цыліндра, гдзе пара ўжо сваё адрабіла.

Разглядаючы работу паравое машыны, зьвернем перш-на-перш увагу на тое, што сколькасьць вады ў катле K ўсё меншае, а ў студзільні C павялічваецца. Агулам, сколькасьць жыжкі не зьмяняецца; мы маглі-б навет перапампаваць яе з студзільні ў кацёл, карыстаючыся помпкай P. Лёгка зразумець, што мы маглі-бы ўзяць іншую жыжку заместа вады і атрымалі-б так сама работу ў гэтай машыне. Значыць, жыжка зьяўляецца тут толькі пасрэднікам. У чым-жа выяўляецца гэтае пасрэдніцтва? А вось у чым. Жыжка ўбірае ў сябе цяплыню ў катле, прыкл. Q Cal., а аддае ў студзільні q Cal. Дасьледы паказваюць, што Q заўсёды больш за q, што розьніца паміж Q і q, г. зн. Q—q, траціцца ў пераходзе з катла ў студзільню, і што коштам гэтае цяплыні ў цыліндры паўстае работа. Точныя памеры паказалі, што і тут з 1 Cal паўстае 427 Kgm, або з 1 cal.—4,19 joule.



Рыс. 261.

159. Першы закон тэрмодынамікі. Гаворачы аб энэргіі кінэтычнай і потэнцыяльнай, мы казалі аб законе захаваньня энэргіі. Тады мы разумелі, што кінэтычная энэргія ператвараецца ў потэнцыяльную і потэнцыяльная ў кінэтычную так, што для падаючага цела сума іх астаецца заўсёды сталай. З таго, што цяпер сказана, мы можам зрабіць вывад, што закон гэты пашыраецца і на цяплыню. Запраўды, з мэханічнае работы творыцца цяплыня так, што кожнай адзінцы атрыманае цяплыні адпавядае саўсім точная сколькасьць адзінак затрачанае на яе работы (1 Cal—427 Kgm, або 1 cal—4,19 joule), і наадварот: кожнай атрыманай адзінцы работы адпавядае точная сколькасьць адзінак ужытае на яе цяплыні (1 erg—$0{,}239 \,.\, 10^{-7}$ cal). Значыць, калі, пашыраючы паняцьце энэргіі, скажам, што энэргіяй завецца запас работы, або таго, што для яе зьяўляецца раўназначным (эквівалентам), то закон захаваньня энэргіі абыйме і цяплыню. І вось мы можам тады мерыць цяплыню эргамі, джулямі, кілёграммэтрамі, г. зн. адзінкамі работы, работу-ж выражаць у калёрыях.

У аддзеле VII мы пазналі лучаваньне. Мы ведаем, што пры астуджаньні целы лучуюць, значыць, цяплавая энэргія ператвараецца ў лучавую, і гэтае ператварэньне адбываецца так, што азначаная сколькасьць цяплыні ператвараецца ў так сама азначаную сколькасьць лучавое энэргіі. Лучаваньне глытаецца непразрыстымі целамі, якія ад гэтага награваюцца. Значыць, і аб лучавой энэргіі можам казаць, як аб раўназначнай рабоце, і можам яе мерыць адзінкамі работы—эргамі, джулямі і г. д. Так сама з часам пазнаем электрыку, і тады даведаемся саўсім точна, што электрычны ток можа ператварацца ў цяплыню, рух, лучаваньне і г. д. (электрычныя моторы, лямпы і г. д.). І гэтая галіна энэргіі ўжывае для сваіх памераў адзінкі работы (эрг, джуль, Kgm).

Як пабачым далей, усе зьявішчы, якімі цікавіцца фізыка, аснованы на ператварэньні аднае формы энэргіі ў другую. Пры гэтым заўсёды, калі адбываецца ператварэньне аднае формы энэргіі ў нейкую другую, велічыня першае і другое роўны: ніякае страты ані зыску ператварэньне гэтае не дае. Найчасьцей здараецца, што адна форма энэргіі ператвараецца не ў нейкую адну іншую, а ў некалькі іншых формаў; тады сума ўсіх новых формаў энэргіі точна раўняецца пачатнай энэргіі.

І вось першы закон тэрмодынамікі, г. зн. тэорыі аб цяплавых зьявішчах, ёсьць як раз закон захаваньня энэргіі, толькі прытарнаваны да цяплавых зьявішчаў. Ён кажа, што цяплыня, як адна з формаў энэргіі, раўназначна (эквівалентна) іншым яе формам.

Увесь час мы кажам аб мераньні энэргіі; выглядае так, быццам мы можам мерыць усю яе. Тымчасам ужо раней, калі была гутарка аб потэнцыяльнай энэргіі, мы павінны былі зьвярнуць увагу, што для потэнцыяльнай энэргіі мы можам мерыць толькі прырост яе. Калі кажам, што цела ў 10 kg, паднятае прыкл. з зямлі на 2 m, мае потэнцыяльную энэргію 20 Kgm, то разумеем толькі прырост яе, раўнуючы з тэй энэргіяй, якую яно мела, ляжучы на зямлі. Аб абсолютнай велічыні энэргіі, якая знаходзіцца ў целе, мы ня можам навет судзіць.

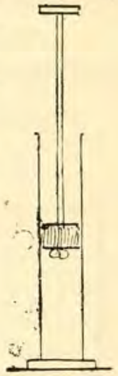
Тое самае можна заўважыць і ў цяплыні. Кожная ўвабраная калёрыя падыймае энэргію цела на $4{,}19 \times 10^{7}$ эргаў; кожная страчаная калёрыя памяншае яе на тую самую велічыню. Аднак, які ўвесь запас змагазынаванае работы ў целе, мы аблічыць і ведаць ня можам, бо ня ведаем такога стану цела, у якім бы яно саўсім ня мела цяплыні, і навет ня можам сабе выбразіць яго.

160. Унутраная энэргія целаў. Калі дэформуем цела, прыкладам, ціскам, які робім на яго, то мы робім работу, і энэргія, ужытая на яе, ня гінець, а павялічвае энэргію самога цела. Гэты прырост энэргіі цела можа вярнуць, варочаючыся да пачатнага абыйма.

Возьмем цыліндр, у якім ходзіць таўкач (рыс. 262). Да таўкача прымацавана губка. Калі шыбка ўсунем таўкач у цыліндр, то тэмпэратура паветра падыймецца, вытвораная цяплыня не пасьпее перадацца цыліндру і запаліць губку. Дапусьцім, што мы ўжылі L эргаў работы на тое, каб сьціснуць паветра ў цыліндры. Цяплыню, якая пры гэтым вытварылася, можам памерыць калёрымэтрам і дастанем Q калёрыяў. Гэтая велічыня Q, памножаная на дынамічны коэфіцыент цяплыні A, дасьць нам ужо работу, якую цераз газ перадалі ў калёрымэтр. Усе дасьледы давялі, што L ня бывае ніколі менш за AQ, г. зн.:

$$L \geqq AQ.$$

І вось, мы далі газу ў цыліндры L адзінак энэргіі, а ўзялі ў яго AQ адзінак. Калі L = AQ, то ўся дадзеная энэргія будзе ўзята, унутраная энэргія газу, паміма яго згушчэньня, не павялічылася. Калі L больш за AQ, то, значыць, газ затрымаў у сабе L—AQ адзінак энэргіі, і ўнутраная энэргія павялічылася як раз на гэтую велічыню.



Рыс. 262.

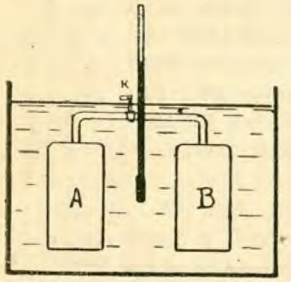
Так, як і паветра, награваецца пры згушчэньні большасьць газаў і іншых целаў. Аднак, ёсьць целы, якія пры згушчэньні астуджаюцца. Да іх належыць вада пры тэмпэратуры ніжэй за 4^{0}C. Каб згушчоную ваду вярнуць да пачатнае тэмпэратуры, трэба ёй даць яшчэ нейкую сколькасьць цяплыні. Значыць, вада, пераходзячы ў больш згушчоны стан, убірае ў сябе і работу, якая ўжыта на згушчэньне, і яшчэ цяплыню. Значыць, яе ўнутраная энэргія тады павялічваецца. Зьмяняючы сваю молекулярную будову, целы могуць магазынаваць у сабе ўнутры энэргію, якая з гэтае прычыны і завецца ўнутранай.

Так, вада, ўвабраўшы вялікую сколькасьць цяплыні, замянілася ў пару і мае вялікі запас унутранае энэргіі, які і можа аддаць. Дынаміт так сама мае вялікую ўнутраную энэргію, якая выяўляецца пры ўзрыве.

У вышэй паданым дасьледзе, пры вельмі шыбкім руху таўкача, цяплыня, якая вытварылася пры сьцісканьні паветра, не пасьпявае перадацца самому цыліндру, а ўся астаецца ў сьціснутым целе, і ад гэтага запаліваецца губка. Процэс, у якім цела захоўвае сваю цяплыню, ня ўбіраючы ў сябе і не аддаючы цяплыні вонкі, завецца адыабатычным.

Падобныя адыабатычныя процэсы мы спасьцерагаем у атмосфэры. Нагрэўшаеся ад зямлі паветра падыймаецца ўверх і, пашыраючыся, астуджаецца. Таму ў верхніх слаёх сваіх паветра вельмі сьцюдзёнае. Калі з паветрам падыймаецца вадзяная пара, то яна зжыжаецца, творыць хмары і ападае дажджом, сьнегам або градам на зямлю. Тое самае сьцюдзёнае паветра з верхніх слаёў, ападаючы ўніз, згушчаецца і крэпка награваецца (прыкл., ветры з гор у даліны заўсёды вельмі гарачыя).

161. Унутраная энэргія газаў C_v і C_p. Ведаем ужо, што пры адыабатычным згушчэньні газу тэмпэратура яго павялічваецца. Нас цікавіць цяпер, ці ўся работа, ужытая на згушчэньне, пайшла на падняцьце тэмпэратуры, ці можа частка яе ператварылася ў унутраную энэргію газу. Дасьледы, у якіх мералі і работу, ужытую на згушчэньне газу, і цяплыню, якая выявілася ў газе, паказваюць, што цяплавая энэргія, якая разьвілася пасьля згушчэньня газу, раўняецца рабоце, ужытай на згушчэньне. Абазначыўшы зробленую работу літарай L, а цяплавую энэргію, адабраную ў газу калёрымэтрам, цераз AQ, гдзе A—дынамічны коэфіцыент цяплыні, а Q—сколькасьць калёрыяў,—мы можам напісаць: $L=AQ$. Тут мы бачым, што ў газе не асталося нічога з тае энэргіі, якая пайшла на згушчэньне яго, калі яго тэмпэратура ў часе процэсу не зьмянілася. Закон, выкрыты Джулем, кажа, што энэргія газу не зьмяняецца, калі згушчэньне яго ідзець пры сталай (нязьменнай) тэмпэратуры. Дасьлед Джуля быў вось які. У калёрымэтр (рыс. 263) зьмешчаны дзьве судзіны, A і B, з якіх A напоўнена паветрам пры ціску каля 20 atm, а B—пустая. Судзіны злучаны трубкай з кранам. Калі адчынім кран, газ пашырыцца на абедзьве судзіны A+B; пры гэтым тэрмомэтр, устаўлены ў калёрымэтры, не пакажа ніякае зьмены тэмпэратуры вады, а гэта значыць, што газ ані страціў, ані ўвабраў у сябе ніякае энэргіі; інакш кажучы, энэргія ў яго асталася тая самая, як і перад дасьледам. Трэба толькі заўважыць, што газ гэты ніякае вонкавае работы пры сваім пашырэньні не зрабіў.

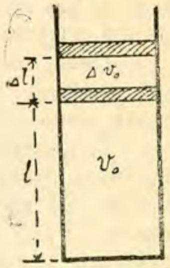


Рыс. 263.

Дзіўным можа здацца, што згушчоны да некалькіх дзесяткоў атмосфэраў газ не зьмяшчае ніякае дадатковае энэргіі. Запраўды, ён-жа можа зрабіць вялікую работу, прыкл. можа падняць таўкач у цыліндры, гдзе ён згушчоны. Гэта не пярэчыць закону захаваньня энэргіі. Бо калі газ пашыраецца адыабатычна, выпаўняючы пры гэтым работу, ён крэпка астуджаецца, г. зн. траціць цяплыню ў сколькасьці, раўназначнай зробленай рабоце: калі ён пашыраецца паволі, тэмпэратура яго можа аставацца нязьменнай, бо ён убірае ў сябе цяплыню з акружаючае асярэдзіны.

Трэба адзначыць, што закон Джуля так сама, як закон Бойль-Мар‘ёта, не саўсім точна адпавядае зьявішчам у рэальных газах, якія звычайна трохі астуджаюцца пры адыабатычным пашырэньні. Ад гэтага адступае вадарод, які пры пашырэньні пры нормальных тэмпэратурах трохі награваецца і, толькі астуджаны да — 80^0C, захоўваецца, як іншыя газы, г. зн. трохі астуджаецца.

Закон Джуля выясьняе ведамую нам уласьцівасьць газаў, што цяплаёмкасьць газаў пры сталым абыйме (C_v) менш цяплаёмкасьці пры сталым ціску (C_p). Запраўды, калі газ убірае ў сябе цяплавую энэргію пры сталым абыйме, уся яна ідзе на павышэньне яго тэмпэратуры. Пры сталым ціску газ пашыраючыся перамагае яшчэ ціск p, пад якім знаходзіцца,—значыць, робіць работу, якая вымагае затраты энэргіі. З гэтага выцякае, што награваньне газу пры сталым ціску вымагае на гэтулькі болей цяплыні, чым пры сталым абыйме, сколькі адпавядае вонкавай рабоце, зробленай газам пры пашырэньні. Возьмем цыліндр, напоўнены пад таўкачом паветрам, якое мы награваем (рыс. 264). Калі награваньне будзе адбывацца пры сталым абыйме, то адзінка масы газу ўбярэ ў сябе C_v адзінак цяплыні, калі тэмпэратура газу падымецца на 1^0C. Дзеля павышэньня тэмпэратуры газу пад сталым ціскам на 1^0C адзінка масы газу ўбярэ ў сябе C_p адзінак цяплыні. Розьніца паміж C_p і C_v, г. зн. $C_p—C_v$, ёсьць цяплыня, якая пайшла на работу перамаганьня вонкавага ціску газу, і выразіцца ў адзінках работы цераз $A(C_p—C_v)$. Калі маса газу, узятага дзеля дасьледу, будзе m gr, то ўся ўвабраная і ўжытая на пашырэньне газу цяплавая энэргія будзе: $Am(C_p—C_v)$.



Рыс. 264.

З другога боку, калі ціск газу, p, дзее на вярхніну таўкача S, то ўся сіла, якая дзее на таўкач, будзе pS. Гэтая сіла пры пашырэньні газу прайшла нейкую дарогу Δl (г. зн. прырост адлежнасьці таўкача ад дна цыліндра). Значыць, работа, якую яна зрабіла, раўняецца $pS\Delta l$. Алеж $S\Delta l$ ёсьць прырост абыйма газу пры павышэньні яго тэмпэратуры на 1^0C, які, па закону Шарля, раўняецца $\frac{1}{273}v_0$, гдзе v_0 ёсьць пачатнае абыймо газу. Значыць, работа дзеля павялічэньня абыйма будзе $\frac{pv_0}{273}$. Гэтая работа раўняецца тэй частцы ўвабранае газам цяплявое энэргіі, якая пайшла на пашырэньне абыйма яго,—значыць:

$$Am(C_p—C_v) = \frac{pv_0}{273} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1).$$

Узяўшы нейкую сколькасьць газу, m gr, пры ведамым ціску p і памерыўшы яго абыймо v_0, мы маглі-б з гэтага раўнаваньня аблічыць A, каліб маглі памерыць C, і C_v. Першую з гэтых вялічынь мы можам лёгка знайсьці, але знаход другое вельмі трудны, блізка немагчымы. Гэтай дарогай ішоў Майер у сваіх дасьледах дзеля абліченьня A, але атрымаў вельмі няточныя рэзультаты. Джуль прыдумаў іншы, ужо нам ведамы, спосаб знаходу A і, карыстаючыся раўнаваньнем (1), знайшоў C_v.

162. Другі закон тэрмодынамікі. Першы закон тэрмодынамікі кажа, што энэргія ня гінець і не паўстае з нічога. Калі, значыць, нейкая форма энэргіі гінець, то заместа яе паўстае новая форма энэргіі, раўназначная першай. І вось узьнімаецца пытаньне, ці заўсёды адна форма энэргіі можа перахадзіць у іншую, ці для гэтага патрэбны нейкія спэцыяльныя варункі.

Цела, якое мае потэнцыяльную энэргію, прыкл. ляжыць на нейкай вышыні, можа ператварыць яе ў кінэтычную толькі тады, калі будзе мець куды ўпасьці.

Газ, згушчоны ў цыліндры, можа выпаўніць работу, прыкл. перасунуць таўкач, калі асярэдзіна, у якой знаходзіцца цыліндр, будзе рабіць на другі бок таўкача меншы ціск, г. зн., калі ёсьць такое месца, куды ён мае магчымасьць пашырыцца. Калі гэткага месца няма, то газ ня можа зрабіць работы. Для згушчонага газу мы лёгка можам выбраць у акружаючай яго асярэдзіне адпаведны ціск, каб газ мог зрабіць работу. Чым газ болей разрэджаны, тым трудней выкарыстаць яго энэргію.

Мы бачым, значыць, што пры выкарыстаньні энэргіі газу ня толькі мае вагу *колькасьць* яе ў газе, але яшчэ і яе *якасьць*. У гэтым прыпадку аб яе *якасьці* становіць розьніца ціску паміж ёю і акружаючай асярэдзінай, розьніца, якую мы можам назваць *напружаньнем энэргіі*.

Калі цяпер зьвернемся да работы паравое машыны (рыс. 260), то і там пабачым, што, калі студзільня будзе мець тую самую тэмпэратуру, як і кацёл, ніякае работы пара з катла ня зробіць. Чым меншая будзе розьніца паміж тэмпэратурамі катла і студзільні, тым менш цяплавое энэргіі ператворыцца ў работу ў машыне.

Коэфіцыентам ужытковае работы ўсякае машыны завуцца адносіны ўжытковае энэргіі да ўсяе дадзенае машыне энэргіі. Калі цераз Q_1 абазначым усю энэргію пары ў паравым катле, а цераз Q_2—тую яе частку, якая гінець у студзільні, то коэфіцыент ужытковае работы w будзе:

$$w = \frac{Q_1 — Q_2}{Q_1} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2).$$

Вышэйшая фізыка даводзіць, што ў гэтым раўнаваньні адносіны паміж Q_1 і Q_2 можна замяніць адносінамі паміж абсолютнымі тэмпэратурамі тых самых целаў. Калі абазначым абсолютную тэмпэратуру катла цераз T_1 і абсолютную тэмпэратуру студзільні цераз T_2, дык раўнаваньне (2) атрымае вось які від:

$$w = \frac{T_1 — T_2}{T_1} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad \cdot \cdot \cdot (3).$$

Коэфіцыент ужытковае работы цяплавога мотора выражаецца адносінамі розьніцы абсолютных тэмпэратур дастаўленае і аддадзенае цяплыні да дастаўленае цяплыні (Закон Карно—Carnot 1824). Прыкладам, калі тэмпэратура пары ў катле пад ціскам 5 atm. роўна 150°C, а ў студзільні 40°C, то $T_1 = 423^0$ і $T_2 = 312^0$, і тады $w = \frac{423 — 312}{423} = \frac{111}{423} =$ каля 26%.

З гэтага раўнаваньня бачым, што, калі розьніцы ў тэмпэратурах дастаўленай і аддадзенай няма, то коэфіцыент ужытковае работы = 0, г. зн. мотор ня робіць ніякае вонкавае работы.

Лёгка цяпер зразумець, што неабходным варункам працы цяплавога мотора зьяўляецца розьніца тэмпэратур,—інакш кажучы, мотор можа рабіць работу толькі тады, калі ёсьць адпаведная студзільня. Агулам, цяплавая энэргія можа ператварацца ў мэханічную, калі ў дадзенай сыстэме целаў існуе розьніца тэмпэратураў, г. зн. калі існуе нейкае *цяплавое напружаньне*. Калі сыстэма целаў уся мае аднолькавую тэмпэратуру, ніякая мэханічная работа ня можа быць атрымана з цяплавое энэргіі. Гэта і ёсьць *другі закон тэрмодынамікі* (закон Кляузіўса = Clausius).

Гэты закон, як пабачым у далейшых аддзелах фізыкі, мае вагу для ўсякіх формаў энэргіі.

163. Рассяваньне энэргіі. Perpetuum mobile другога роду. Прыглядзіўшыся да зьявішчаў прыроды, мы прымушаны сьцьвердзіць імкненьне энэргіі да зраўнаньня ўсіх напружаньняў. Цела, якое знаходзіцца высока, падае ўніз, калі толькі будзе выбрана ў яго падпора. Потэнцыяльная энэргія яго пераходзіць у кінэтычную, і ў хвіліне, калі яно, падаючы, задзержуецца новай перашкодай, кінэтычная энэргія ператвараецца ў гук, цяплыню і іншае, што рассяваецца ў акружаючай асярэдзіне. У злучаных судзінах ціск выроўніваецца. Паміж целамі, якія маюць розныя тэмпэратуры, адбываецца пераход цяплыні ад гарачэйшых да халаднейшых, пакуль не наступіць зраўняньне тэмпэратураў. Адваротнага зьявішча, г. зн. пераходу энэргіі з халаднейшых у цяплейшыя целы, павялічаньня напружаньня энэргіі, якое адбывалася-бы само сабой, у прыродзе не заўважана. І вось мы бачым, што ў прыродзе адбываецца *рассяваньне энэргіі*, занікае розьніца напружаньняў, г. зн. гінуць тыя абставіны, якія па 2-му закону тэрмодынамікі зьяўляюцца неабходнымі для ператварэньня аднае́ формы энэргіі ў другую. Энэргія пры гэтым ня траціць нічога з свае сколькасьці, яна траціць толькі сваю вартасьць.

Другі закон тэрмодынамікі вучыць, што нельга збудаваць мотора, калі няма розьніцы ў напружаньні энэргіі паміж целамі, з якіх складаецца нейкая сыстэма. Калі-б гэты закон ня быў справядліві, мы маглі-б карыстацца хоць бы цяплавой энэргіяй, якая знаходзіцца ў вялізарных запасах на зямлі, прыкл. у вадзе ў акеанах, у паветры. З гэтых крыніц мы маглі б чарпаць гэтулькі энэргіі, сколькі-б хацелі. Але вось II закон выясьняе, што энэргіяй гэтай мы маглі-б карыстацца, калі-б знайшлі ці пабудавалі адпаведныя студзільні. Аднак, яны каштавалі-бы вельмі дорага і затым не акупаліся бы. Восьжа, як не магчымы мотор, які-б тварыў энэргію з нічога (гэта ўжо ведамае нам perpetuum mobile першага роду), бо гэта пярэчыць I-му закону тэрмодынамікі,—так сама не магчымы мотор, які-б пярэчыў II-му закону, г. зн. мотор, што даваў бы работу, карастаючыся цяплавой энэргіяй целаў, ня злучаных з адпаведнымі студзільнямі. Гэты няістнуючы мотор названы perpetuum mobile другога роду. Ані першага, ані другога роду perpetuum mobile ня могуць быць зьдзейсьнены.

ЗАДАЧЫ.

147. Каб ачысьціць вопратку ад стэарынавай плямы, націраюць месца з плямай кавалкам сухое ваты. Вытлумачыць гэтае зьявішча.

148. Сколькі работы трэба ўжыць, каб растапіць церцем 1 kg лёду пры 0^0?

149. Кавалак волава падае з 15 m. вышыні; $g = 981$ cm/sec^2. На сколькі градусаў падымецца яго тэмпэратура, калі ўся кінэтычная энэргія ператворыцца ў цяплыню?

150. Якую скорасьць трэба надаць валавянай кулі пры 15^0, каб яна расплавілася пасьля ўдару аб нярухомую апору?

151. Аблічыць прырост энэргіі 1 літра паветра, калі яго нагрэем ад 0^0 да 100^0, і

a) калі не зьмяняем яго абыйма,

b) калі не зьмяняем яго ціску ($g = 981$ cm/sec^2).

152. Мотор, маючы спраўнасьць 10 паравых каней, мяшае 50 kg вады ў працягу 20 мінут. Прымаючы, што ўся работа мотора пайшла на перамогу церця вады, аблічыць прырост тэмпэратуры вады.

153. Цягнік важыць 1000 тонн і йдзе па рэльсах на працягу 1 km. Коэфіцыент церця = 0,001. Аблічыць вытвараную ад церця цяплыню.

154. Пры 20^0 марозу ў вогнішчы на адкрытым паветры згарэла 20 kg дроў. Тэмпэратура полымі 1000^0, кожны кілёграм дроў выдзяляе пры гарэньні 4000 Cal. Сколькі энэргіі рассеялася ў паветры?

155. Газавы мотор, спраўнасьцю 5 HP, зужывае 1,10 kg газу за гадзіну. Знайсьці коэфіцыент яго ўжытковае работы, калі ведама, што 1 kg. газу пры гарэньні дае 6000 Cal.

156. Паравая машына ў 144 HP мае коэфіцыент ужытковае работы $16^0/_0$. Сколькі вугальля зужые яна, калі ведама, што 1 kg. вугальля дае 7500 Cal?

АДДЗЕЛ IX. КРЫНІЦЫ ЭНЭРГІІ.

164. Энэргія, даступная чалавеку. Зямля кружыцца навакола сонца. Зямля кружыцца навакола сваей восі. Сонца прыцягае яе з вялікай сілай да сябе. Але ўсе гэтыя формы энэргіі не даступны для беспасярэдняга выкарыстаньня чалавеку.

Зямля, як ведама, мае запасы ўнутранае энэргіі. Гэта ў першы чарод унутраная цяплыня зямлі, якая выяўляецца на вярхніне зямлі ў форме выбухаў вульканаў, трасеньня зямлі, гарачых крыніцаў і г. д. Аднак, усе гэтыя праявы даюць вельмі малую велічыню энэргіі і пакуль-што не зьяўляюцца сур‘ёзнай крыніцай энэргіі для чалавека.

Далей маем хімічную энэргію матэрыялаў, якія знаходзяцца ў верхніх слаёх зямное кары і даступны чалавеку. Гэтая энэргія так сама блізка ўся выкарыстана, бо мінэралы, якія ў значнай большасьці складаюць зямную кару, ня маюць ужо хімічнае зроднасьці. Выняткам з гэтага зьяўляюцца пласты каменнага вугальля, нафта (газа) і г. д., якія і прадстаўляюць галоўныя крыніцы энэргіі для промыслаў. Аднак, энэргія гэтая не зьяўляецца пачатным запасам энэргіі самае зямное кулі, а становіць рэзультат яе геолёгічнага разьвіцьця і замагазынавалася з вонкавае крыніцы, якую пазнаем ніжэй.

Значыць, у самай зямлі, ня прымаючы пад увагу агранічанага запасу капальнага паліва,—ня маем такіх запасаў, якіх бы хапіла на доўгі час і якія былі-б лёгка даступны чалавеку.

Дзеля выпаўняньня розных работ ужываем фізычнае энэргіі: людзёў і жывёлы, ветру (вятракі, судны), патокаў вады (вадзяныя колы, турбіны, марскія патокі), цяплавых мотораў (паравыя машыны, газавыя моторы, электрычныя моторы і г. д.). Ніводзін з гэтых мотораў ня творыць энэргіі, але аддае работу замест ўвабранае звонку энэргіі. Жывыя моторы дастаюць энэргію ў форме корму: расьцінны і жывінны (мясны) корм супольна з тлёнам з паветра і вадой. Корм дае организму энэргію, якая організмам ператвараецца ў работу і цяплыню. Точныя памеры ўстанавалі, што работа, зробленая за нейкі час організмам, раўняецца хімічнай энэргіі корму, увабранага за гэты самы час, калі адлічым хімічную энэргію адпадкаў, выкінутых з організму, рассеяную вонках цяплыню і тую энэргію, якую організм прысвоіў сабе, вытвараючы мускулы, косьці і г. д.

Калі заўважым, што жывінны корм, якім мы карыстаемся, ядучы мяса, так сама вытвары́ўся з расьціннага, дык прыдзем да вываду, што хімічная энэргія, якая корміць усе жывёлы, ёсьць корм расьцінны. Жыцьцё жывёлы знаходзіцца ў поўнай залежнасьці ад расьціннага сьвету, расьціны-ж могуць разьвівацца бяз жывёлаў. Скуль-жа чарпаюць энэргію расьціны? Матэрыял, з якога складаецца іх організм, расьціны бяруць з зямлі і атмосфэры (двутлёністы вугаль, вада, мінэральныя злучэньні і г. д.). Замена гэтых бедных энэргіяй целаў у пажыўныя злучэньні павінна адбывацца пры падмозе энэргіі, узятае звонку расьціннага сьвету—тым болей, што ў самых расьцінаў спатыкаем жыцьцёвыя праявы, якія могуць быць названы работай, прыкл. падыманьне ўверх вялікіх масаў жыжкі, вырастаньне і г. д. Вось-жа, навука дайшла да пераканаеньня, што гэтай вонковай энэргіяй зьяўляецца энэргія лучаваньня сонца. Расьціны ўжываюць яе на тое, каб перарабіць негаручыя і непажыўныя матэрыялы ў гаручыя і пажыўныя, каб выпаўніць хімічныя работы, як расклад вады і двутлёністага вугля, як аддзяленьне тлёну ад вугля, вадароду ад тлёну, хоць гэтыя злучэньні вельмі трывалыя. Таму кажам, што запасы каменнага вугальля і іншых органічных целаў, якія даюць нам энэргію, зьмяшчаюць у сабе энэргію, замагазынаваную ў іх сонцам у працягу мінулых вякоў.

Такім чынам, у сонечным лучаваньні знаходзім мы тую вонкавую крыніцу энэргіі, якая корміць жывёлу, награвае цяплавыя моторы,—агулам, робіць работу на зямлі. Гэтак сама і другія віды энэргіі, якія даюць работу, маюць сваёй крыніцай сонца. Вецер ёсьць вынік розьніцы тэмпэратуры і вільгаці, выкліканае лучаваньнем сонца. Сонечнае лучаваньне вызывае так сама параваньне водаў, энэргія лучоў пэратвараецца ў затаёную цяплыню параваньня. Зжыжэньне гэтых масаў пары ў вышэйшых слаёх атмосфэры дае нам вялікую потэнцыяльную энэргію, замагазынавую ў водах, што цякуць па вярхніне зямное кулі. Гэтую энэргію мы і выкарыстываем у вадзяных моторах.

Запасы ўласнае энэргіі зямлі, якія маглі бы быць выкарыстаны дзеля атрыманьня работы, вельмі малыя, а ўсё органічнае жыцьцё, мэтэоролёгічныя, кліматычныя і другія зьявішчы залежаць амаль ня выключна ад сонечнае энэргіі, якая даходзіць да зямлі ў форме лучаваньня. Часьць яе глытаецца вярхніной зямлі,—і вось гэтая частка пэратвараецца ў іншыя формы энэргіі, даючы магчымасьць істнаваньня органічнага жыцьця на зямлі. Другая частка адбіваецца ад вярхніны зямлі ў тэй самай форме лучаваньня і назаўсёды пакідае зямлю, каб рассеяцца ў прасторы.

Скуль жа бярэцца энэргія сонца, якое так багата надзяляе ёю зямлю і ўвесь сьвет? Пачынаючы ад гістарычных часоў, дагэтуль не заўважана ніякага меншаньня энэргіі гэтае крыніцы. Поўнага вырашэньня гэтага пытаньня яшчэ не найшлі. Істнуе гіпотэза, што мэтэоры, дробныя нябесныя целы, падаючы ў вялікім ліку на сонца, падтрымліваюць яго тэмпэратуру сваёй кінэтычнай энэргіяй. Гэльмгольц (Helmholz) зьвярнуў увагу, што сонца, сціскаючыся на вельмі малую велічыню з прычыны астыганьня, само сябе корміць гравітацыйнай энэргіяй. У апошніх часох адкрыцьце раду, элемэнту, які няўстанна выдзяляе цяплыню коштам уласнае атомнае энэргіі, паказала новую крыніцу цяплыні, з якое карыстаецца і сонца, і пры ім зямля.

ЗЬМЕСТ.

Заўважаныя абмылкі,

якія належыць паправіць перад чытаньнем.

Замест слова „водар“ для газа H ужываць усюды „вадарод“.

Ніжэйпаданыя словы пісаць вось як: пропорцыянальны, пропорцыянальнасьць, коэфіцыент, велічыня (множны лік: вялічыні).

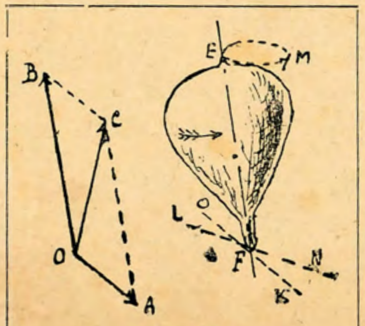
Стар.	27	рыс. 31	замест	c_{n-1}	павінна быць	c_n
„	27	радок 1 зьнізу	„	c_{n-1}	„ „	c_n
„	50	„ 4 зьверху	„	cm/sec	„ „	cm/sec².
„	74	„ 10 „	„	f_1	„ „	f
„	90	„ 21 зьнізу	„	ar	„ „	αr
„	107	„ 9 „	„	інэрцыі	„ „	сілы.
„	112	„ 5 „	„	упругасьцю	„ „	пружкасьцю.
„	113	„ 9 „	„	$\frac{P}{S_1}$	„ „	$\frac{p}{S_1}$
„	127	„ 18 „	„	$d = \frac{m-m_1}{m-m_2}$	„ „	$d = \frac{m-m_2}{m-m_1}$
„	144	на рыс. 191-с апошні вэктар скорасьці павінен мець велічыню v_2'				
„	165	радок 15 зьнізу	замест	0, 00097	павінна быць	0,00097
„	165	„ 15 „	„	2,00018180	„ „	0,00018180
„	193	„ 9 „	„	сталася	„ „	сталая

Крыніцы, якімі карыстаўся аўтор:

S. Kalinowski. Fizyka. 1921 г.
A. Witkowski i K. Zakrzewski. Zarys fizyki. II wyd. 1921 г.
Рейс. Основы физики. 1902.
I. Ieništa. Fyzika pro vyšši gymnazia. 1911.
K. Sporzyński. Fizyka. V wyd. 1919.
K. Sporzyński. Krótki wykład fizyki. III wyd.
С. Ковалевскі. Учебник физики. 5 изд. 1899 г.
К. Краевич. Учебник физики. XII изд. 1895 г.
„Hütte“. Справочная книга VIII изд. 1912.
„Technik“, opracowany według „Hütte“. 1905—1907.
В. К. Лебедзинскій. Элементарное ученіе об энергіи. 1904.
Inż. K. Šakenio. Fizika. 1920.
Poincaré. Evolution de la physique moderne.

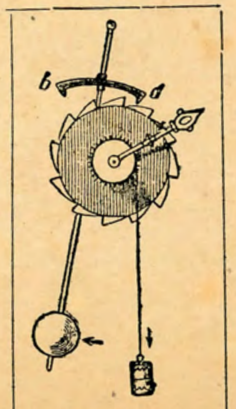
Ніжэйпаданыя рысункі выразаць і наклеіць на адпаведных мяйсцох замест зьмешчаных у тэксце:

На стар. 92.



Рыс. 111.

На стар. 106.



Рыс. 129.

Inż. A. Nekanda-Trepka. Fizyka.

Drukarnia „Wydawnictwo Wileńskie" B. Kleckina, M.-Stefańska 23.