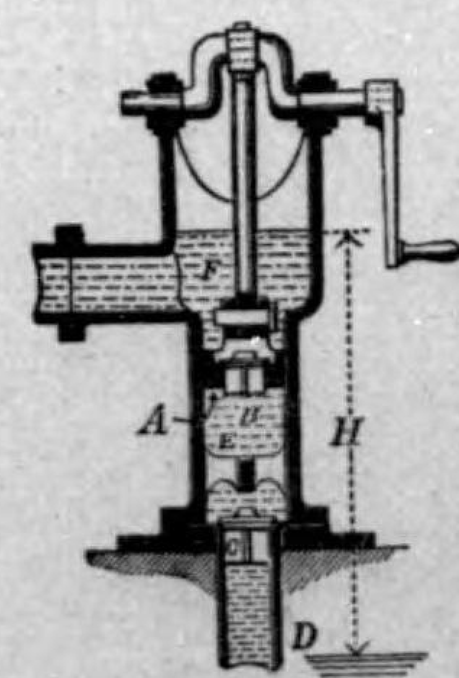
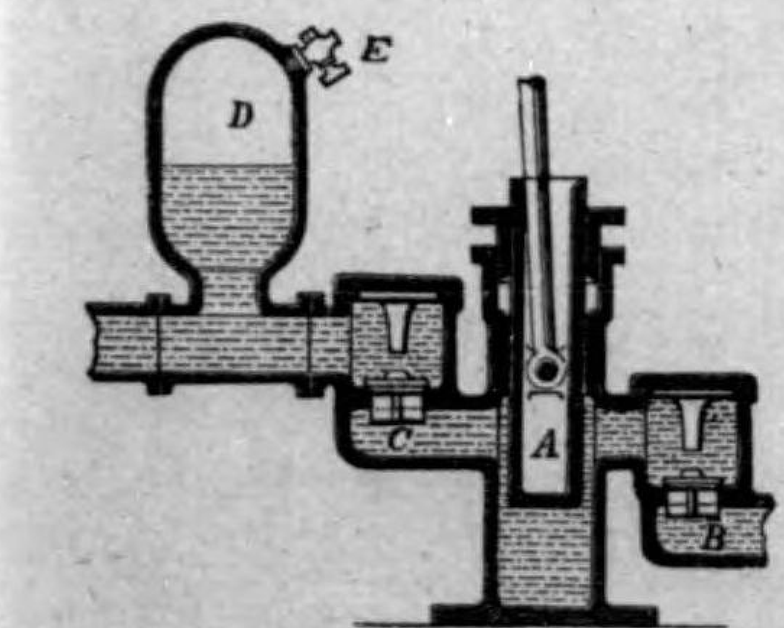
あげるに深さ一〇メートル位までは第六六圖の様な吸ひあげポンプを用ゐる。ピストンAとその下とに上へ開く瓣BとCとがある。ピストンを上げ下げすると、始めは空ポンプの作用でDの空氣を排出する。水は外の空氣の壓力のためにDの管を昇り終に瓣を通りFより外へ出る様になる。押しあげポンプ（第六七圖）はもつと高い處へ水をあげることができる。プランヂアAをあげると、水はRの瓣を排して入り、これを押し下げると水はCの瓣から押し出される。Dは空氣室といふものである。Cの瓣から出る水をみな左方の導管に送らうとすると、非常に大な抵



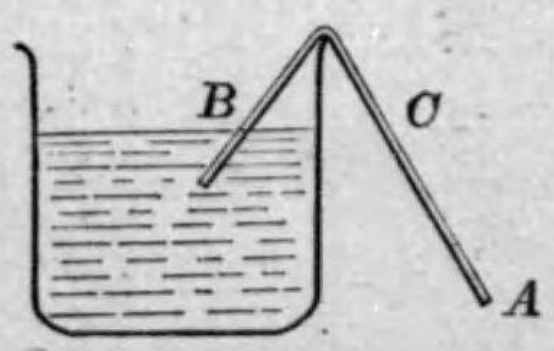
第六六圖



第六七圖

抗を受けるけれども、Dがあるために、この水の一部分は導管にゆき他の一部分はDの中の空氣を壓縮する。Aのプランヂアの上がる間は、Cからは水が出て來ぬから、Dの壓縮空氣が水を導管に送る。EはDの中の空氣がなくなつたとき再び入れるためのカランである。防火用ポンプはみな押しあげポンプである。

**六八　サイホン．**　兩脚の長さの違つてゐる曲つた管ACB（第六八圖）に液體を充たし、Aの口を押さへながら短い方の脚Bを圖の様に液體の中に入れ、Aを放すと、水はAの口より流れ出る。まづAを塞いで液體の釣りあつてゐるときを考へるに、液體の面Bでの壓力は外の空氣の壓力で、A脚中のこれと同水平面の點Cの壓力も同様でなければならぬ。然るにAを開くと、Aの壓力もやはり空氣の壓力だけだからCAの液體は釣り



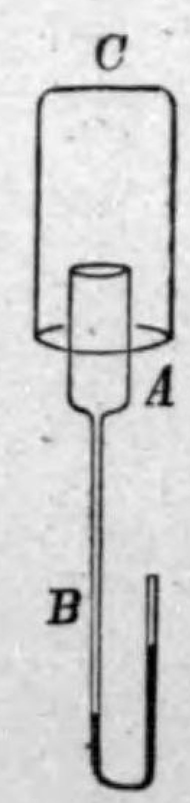
第六八圖

あふことができず、$A$の液體はみな$A$の口から流れでる。從つて管の上部にできる空處にはトリチェリーの實驗と同理で$B$脚から液體が昇る。

問題。サイホンにはどんな長い管でも用ゐられるか。

**六九　氣體の瀰散。**　二つの同樣な瓶の一つには水素をいれ、他には炭酸ガスをいれ、水素の瓶を炭酸ガスの上に伏せると、暫時の後には水素の半分は下の瓶に下り炭酸ガスの半分は上の瓶にゆき、炭酸ガスは水素の二二倍ほど重いのにかかはらず兩方の瓶の中は一樣な混合物となる。この現象を氣體のびさん(瀰散)といふ。　各の氣體のちらかるのは、他の瓶が眞空であるのと同樣でただ少しおそいだけの違ひである。それだから、同一の場所に二種の氣體があると、各の氣體はその密度に相當する壓力を示す。これらの現象は、氣體の分子が自由な運動をしてゐるといふことでよく説明ができる。　空氣の中で酸素は窒素より重いのにどんな上の方でも同樣な割合になつてゐるのも瀰散の理による。

もし水素の瓶と炭酸ガスの瓶との間に細孔の澤山ある板(たとへば素燒の土器)の堺があると、兩種の氣體のこの堺を通りこす速さはその密度の平方根に逆比例し、(その氣體だけの)壓力の平方根に比例する。　素燒の器$A$(第六九圖)に曲つたガラス管$B$をつけ、この管に色のついた水を入れ、水素を入れたガラス器$C$を$A$の上に覆ふと、管中に水素のはいるのは空氣の出るのより速いために、管中の水は下がる。ガラス器を取除くと、素燒の器の中にはいつた水素の外へ出るために管中の水は再び昇る。



第六九圖

**七〇　氣體の吸收。**　多數の液體は氣體を吸收する。その度

合は、兩方の物質の性質によつて非常なちがひがある。それぞれの液體は一定の温度では、壓力の如何にかかはらず、一定の立積の氣體を吸收する。氣體の密度は壓力に比例するから、その吸收される氣體の全量は壓力に比例する。壓力を減ずると、液體が餘分に吸收してをつた氣體は出て來る。ラム子ビールなどこの例である。固體も氣體を吸收する。パラヂウムはその立積の五〇〇倍から一〇〇〇倍の水素を吸收する。新しく熱した炭はその立積の九〇倍ほどのアンモニアを吸收する。左に水とアルコールと木炭とが吸收する數種の氣體の立積とこれらの液體または固體の立積との比を示す。

| | アンモニア | 二酸化硫黄 | 硫化水素 | 二酸化炭素 | 一酸化炭素 | 酸素 | 窒素 | 空氣 | 水素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水 | 七二七 | 四三·六 | 三·二 | 一·〇 | 〇·〇二四 | 〇·〇三〇 | 〇·〇一五 | 〇·〇一八 | 〇·〇一九 |
| アルコール | — | 一四四·六 | 九·五 | 三·二 | 〇·二〇四 | 〇·二八四 | 〇·一三一 | — | 〇·〇六七 |
| 木炭 | 九〇 | 六五 | 五五 | 三五 | 九·四 | 九·二 | 七·五 | — | 一·七五 |

# 第三編　力學と物性との下

## 第七章　エ子ルギー

**七一　仕事。**　力を受けてをる物體乙が動くときは、この力を出してをる物體甲が、乙にしごと(仕事)をしてをるといふ。また、單にこの力が乙に仕事をしてをるともいふ。普通語の仕事といふことは、狹い意味ではつまりこのことである。たとへば、人足が荷車を引くのや米をつくのは、みな仕事である。終日荷車を引張つてをつても、それが少しも動かなければ、人足は仕事をしたとはいへぬ。

仕事の量は、仕事をする力の大さに比例し、力の方向に物體の動いた距離に比例する。一ダインの力が、その方向に、物體を一サンチメートルだけ動かしたときの仕事は、仕事のCGS法の絕對單位でこれを**エルグ**といふ。$f$ダインの力が、その方向に物體

合は、兩方の物質の性質によつて非常なちがひがある。それぞれの液體は一定の溫度では、壓力の如何にかかはらず、一定の立積の氣體を吸收する。氣體の密度は壓力に比例するから、その吸收される氣體の全量は壓力に比例する。壓力を減ずると、液體が餘分に吸收してをつた氣體は出て來る。ラム子ビールなどこの例である。

固體も氣體を吸收する。パラヂウムはその立積の五〇〇倍から一〇〇〇倍の水素を吸收する。新しく熱した炭はその立積の九〇倍ほどのアンモニアを吸收する。左に水とアルコールと木炭とが吸收する數種の氣體の立積とこれらの液體または固體の立積との比を示す。

| | アンモニア | 二酸化硫黄 | 硫化水素 | 二酸化炭素 | 一酸化炭素 | 酸素 | 窒素 | 空氣 | 水素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水 | 七二七 | 四三・六 | 三・二 | 一・〇 | 〇・〇二四 | 〇・〇三〇 | 〇・〇一五 | 〇・〇一八 | 〇・〇一九 |
| アルコール | — | 一四四・六 | 九・五 | 三・二 | 〇・二〇四 | 〇・二八四 | 〇・一三一 | — | 〇・〇六七 |
| 木炭 | 九〇 | 六五 | 五五 | 三五 | 九・四 | 九・二 | 七・五 | — | 一・七五 |

# 第三編　力學と物性との下

## 第七章　エ子ルギー

**七一　仕事。**　力を受けてをる物體乙が動くときは、この力を出してをる物體甲が、乙にしごと(仕事)をしてをるといふ。また、單にこの力が乙に仕事をしてをるともいふ。普通語の仕事といふことは、狹い意味ではつまりこのことである。たとへば、人足が荷車を引くのや米をつくのは、みな仕事である。終日荷車を引張つてをつても、それが少しも動かなければ、人足は仕事をしたとはいへぬ。

仕事の量は、仕事をする力の大さに比例し、力の方向に物體の動いた距離に比例する。一ダインの力が、その方向に、物體を一サンチメートルだけ動かしたときの仕事は、仕事のCGS法の絶對單位でこれを**エルグ**といふ。$f$ダインの力が、その方向に物體

を $l$ サンチメートルだけ動かしたときの仕事を、$w$ エルグとすると、

$$w = fl$$

である。また一グラムの力が一サンチメートル動かしたときの仕事を一グラムサンチメートルといひ、一キログラムの力が一メートルだけ動かしたときの仕事を一キログラムメートルといふ。グラム、キログラムは力の引力單位であるから、これらの仕事の單位も引力單位といふ。

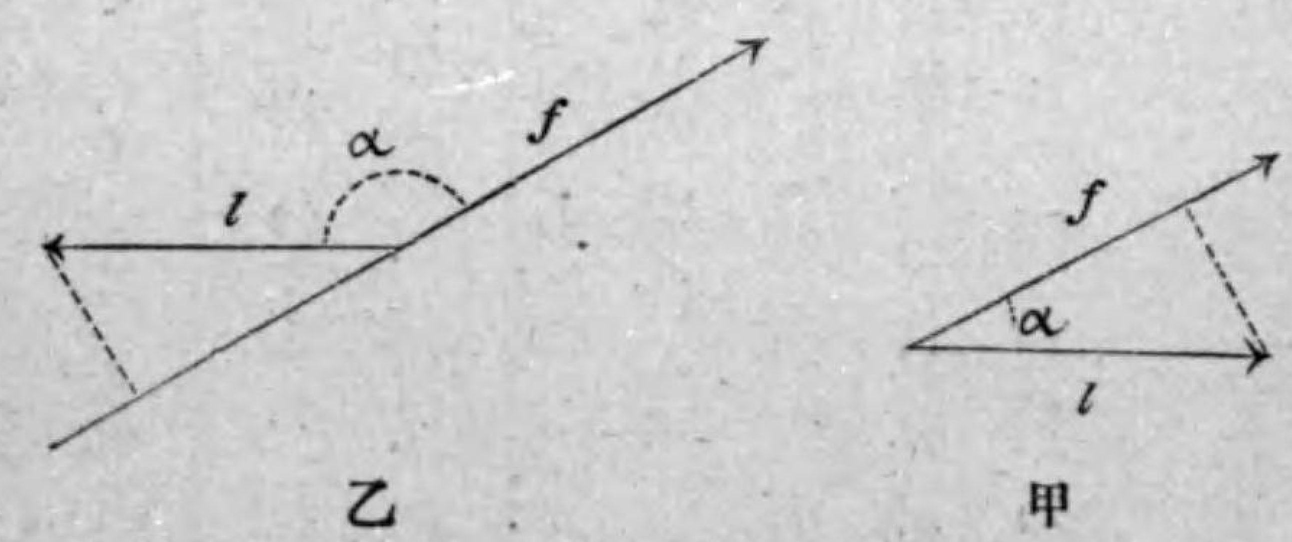
次にいろいろな仕事の單位と、エルグで計つたその價とを示す。

| | | エルグ |
|---|---|---|
| 絶對單位 | | |
| チャオル | | 10,000,000 |
| メガレルグ | | 1,000,000 |
| フートパウンダル | | 四二一,三九〇 |
| 引力單位 | | エルグ |
| グラムサンチメートル | およそ | 九八〇 |
| キログラムメートル | およそ | 九八,000,000 |
| リットル氣壓 | およそ | 一,〇一三,000,000 |
| フートパウンド | およそ | 一三,五五〇,000 |
| フートトン | およそ | 三〇,三五二,000,000 |

物體は必しも力の方向に動くとはきまらぬ。机の上の物體に糸をつけ、斜に上方に引くと、物體は机の面に傍うて動く。また動いてゐる物體に、その運動の方向でない向きに、力を加へたときも、力のむきと運動の向きとは一致せぬ。これらの場合では、動きかたを、力の向きとこれに垂直な向きとに分けて、その力の方向に動いた距離と力の大きさとで、仕事を計る。物體の實際動いた $l$ サンチメートルの道の向きと $f$ ダインの力の向きとの間の角を $\alpha$ とすると、(第七〇圖甲) 仕事 $w$ エルグは

$$w = fl\cos\alpha$$

となる。また同圖乙の樣に $\alpha$ が鈍角の場合には、$\cos\alpha$ は負數だから、$fl\cos\alpha$ も負數となる。このときは、$f$ といふ力を出す物體甲が、乙にした仕事は負號で、この物體甲は乙に正の仕事をせられたといふ。




第七〇圖

**問題一。** 二〇リットルの水(二〇キログラムある)を、五メートルの深さの井戸から汲みあげるには、いくらの仕事がいるか。

答。一〇〇キログラムメートル。

**問題二。** 空氣の壓力の下で、一リットルの氣體が發生したときに、この氣體のした仕事はいくらか。(この仕事を一リットル氣壓ともいふ。)

答。一、〇三四、〇〇〇グラムサンチメートル。一・〇一三($10^9$)エルグ。

**問題三。** 六トン(六〇〇〇キログラム)の荷車を、四〇分の一の勾配の鐵道に傍うて、五〇〇メートル押しあげるにはいくらの仕事がいるか。

答。七五、〇〇〇キログラムメートル。

**問題四。** **三九** 第三三圖の樣なぜんまいまたははねを五サンチメートルだけ引っはるには二〇、〇〇〇エルグの仕事を要する。これを一〇サンチメートル引っはるにはいくらの仕事を要するか。

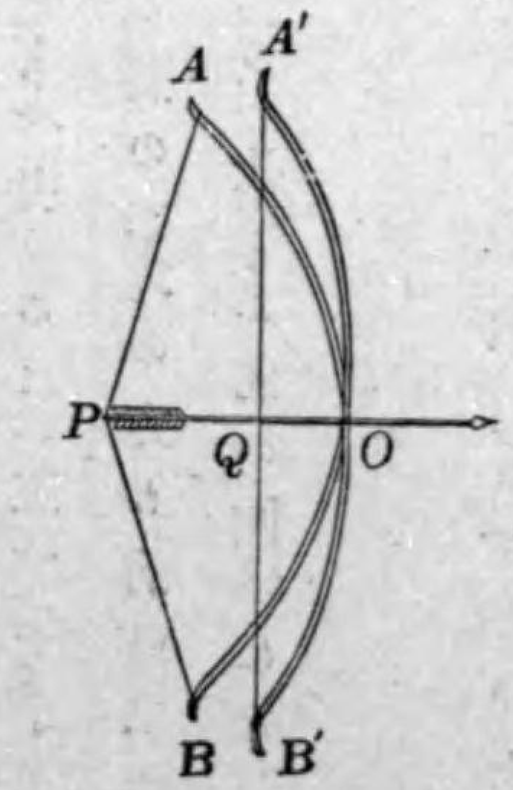
答。フックの定律により、一〇サンチメートル引っはるには五サンチメートルのときの二倍の力がいる。從つて引っはる間の平均の力も前の二倍である。また引っはる距離も二倍であるから、仕事は前の四倍になるわけで、八〇、〇〇〇エルグである。

## 七二　エネルギー。

甲の物體が乙の物體を、$f$ ダインの力で $l$ サンチメートルだけ押し退けると、甲は乙に $fl$ エルグの正の仕事をする。そのとき運動の第三の定律により、乙もまた $f$ ダインの力で甲を押してをるけれども、乙は $l$ サンチメートルだけ退くのだから、乙は甲に $-fl$ エルグの仕事をする。甲の物體も乙の物體も、この仕事の

前と後とでは、その動きかた形等で多少その有様を變へてゐる。この、甲に生じた變化を回復するには、必、他から甲に仕事をしなければならぬ。乙に生じた變化を回復するには、多分乙は他の物體に仕事をすることができる。

たとへば、甲の物體を第七一圖の様に引き絞つた弓とし、乙の物體をこれに番へた矢とする。この矢を放つとき、弓の弦が矢を押す力を平均 $f$ ダインとし、$PQ$ の距離を $l$ サンチメートルとすると、弓は矢に $fl$ エルグの仕事をする。弓は、この仕事をすると、$AOBP$ の形から $A'OB'Q$ の形に變はる。この變化を回復するには、他から弓に仕事をしてこれを引かなくてはならぬ。矢は、甲の弓から仕事を受けた結果として、即自ら $-fl$ エルグの仕事をした結果として、靜止の有様から運動の有様に變はつた。この矢は、再び靜止の有様に戻るまでには、他のものに仕事をすることができる。たとへば、的に當つて、多少の抵抗を受けながら物質を押しやることができる。この様なことから、一般に物體が、正の仕事をすると一種の性質を失ひ、負の仕事をすると同様の性質を得ると考へることができる。この正または負の仕事によつて、減りまたは殖える性質を**エ子ルギー**といふ。即、ある物體に他から仕事をすると、そのエ子ルギーは殖え、物體が他のものに仕事をすると、そのエ子ルギーは減る。この様に、エ子ルギーの増減は仕事によるから、その量は仕事の單位で計る。



第七一圖

## 七三　エ子ルギーの不滅の原理。

作用と反作用との理により、前節の例の甲が乙を押す力と乙が甲を押す力とは等しいから、甲と乙とのした正負の仕事の大さは互に等しく、甲に減つたエ子ルギーは乙に殖えたエ子ルギーと等量である。それだから、エ子ルギー

は單に甲から乙に移つたので、甲乙兩物體のエ子ルギーの總量には變はりはない。

前節の例の矢の樣に貟の仕事をした物體は、一般にまた自身に仕事ができる樣になるから、こんな場合では物體にエ子ルギーが殖えると仕事をする能が殖える。それで、エ子ルギーは仕事をする能であるといふ定義もある。しかし、この定義は當らぬ場合がある。たとへば、弓に番へた矢の先きがすぐ巻き藁に接してゐると、矢は直に巻き藁の中に止まり、矢も巻き藁も直に他の物體に仕事をする能はない。この場合にもなほ矢または巻き藁にエ子ルギーが殖えたといふことはできる。なぜといふに、矢にはその貟の仕事の結果としてある變化が起こる。熱ができたり、音が發したり、電氣が起こつたりする。これらの結果はみなそれぞれ測ることができて、一定の量の仕事の結果としては、熱なり音なり電氣なり常に一定の量を生ずる。これらはみなそれぞれエ子ルギーの一種類でこの書の後後に說明してある。これらの形のエ子ルギーをみな計量すると、**宇宙に存在するエ子ルギーの總量は一定不變のものである。**これをエ子ルギー不滅の原理といふ。

**七四　運動のエ子ルギー。**　七二の例の矢の樣に物體の運動を起こしまたはその動き方を增すには、必、他から仕事をしなければならぬ。また動いてゐる物體は、その速さが減じまたはなくなるまでには他の物體に仕事をすることができるから、その物體は一種のエ子ルギーを持つてゐる。このエ子ルギーを**運動のエ子ルギー**といふ。運動のエ子ルギーはこの運動を起こしただけの仕事の量で計る。

毎秒 $c$ サンチメートルの速さで動いてゐる $m$ グラムの彈丸の運動のエ子ルギーを計算しよう。銃身の中で火藥の燃燒でできるガスがこの彈丸を押す力を平均 $f$ ダインとすると、この彈丸の加速度毎秒毎秒 $a$

銃身の中でガスが彈丸を押す力は、實際一様ではなく、從つて落體の規則ははまらぬ。

と、落ちる物體と同じ關係で、

$$c^2 = 2al = 2\frac{f}{m}l \quad \therefore \quad fl = \frac{mc^2}{2}$$

となる。それだから、この彈丸に運動を起こすため要した仕事の量は $fl$ 卽 $\frac{mc^2}{2}$ エルグで、これがこの物體の持つてゐる運動のエネルギーの量である。この運動を起こしたときの $f$ や $l$ は知れんでも、物體の質量と速さとが知れさへすればこの量はきまつてゐる。

また、$m$ グラムの彈丸が毎秒 $c$ サンチメートルの速さで動いてゐると、この彈丸は止まるまでには、いつでも $\frac{mc^2}{2}$ エルグだけの仕事をすることができる。この彈丸が、ある物體に達して $f'$ ダインの抵抗力を受けると、彈丸はこの抵抗力の方向、卽、運動と反對の方向に毎秒毎秒 $a'$ $(f'/m)$ サンチメートルの加速度を受ける。彈丸が、この抵抗物に達して

から止まるまでに進む距離を、$l'$ サンチメートルとすると、前の様に

$$c^2 = 2a'l' = 2\frac{f'}{m}l' \quad \therefore \quad \frac{mc^2}{2} = f'l'$$

となる。それで、彈丸が抵抗物を押す力は、抵抗力 $f'$ と等しく且反對の方向だから、彈丸は止まるまでに $l'$ サンチメートルの間この抵抗物を $f'$ ダインの力で押しのけて、$f'l'$ 卽 $\frac{mc^2}{2}$ エルグの仕事をする。

**問題一．** 七〇〇〇キログラムの鐵道荷車が、レールの上を毎秒八〇サンチメートルの速さで動いてゐる。この荷車の運動のエネルギーはいくエルグあるか。これをキログラムメートルで計るといくらか。

答。二・二四〔10〇〕エルグ。　二二九キログラムメートル。

**問題二。** 前題の荷車を人足が三〇キログラムの力で止めようとする。いくメートルの内に成功するか。

答。七・六メートル。

**問題三．** 毎秒一メートルの速さで動いてゐる五〇〇グラムの金槌にはいくら

の運動のエ子ルギーがあるか。

答。 二,五〇〇,〇〇〇エルグ。

**問題四。** この金槌が釘を〇,五サンチメートルだけ打ち込んだとすると、金づちは平均いくらの力で釘を押したことになる。

答。 五,〇〇〇,〇〇〇ダイン即五一〇〇グラム。

**七五 位置のエ子ルギー。** 七二の弓の様な物體に、その形または位置の變化を起こすには、他から仕事をしなければならぬ。この物體はその變化の囘復する間に他へ仕事をすることができるから一種のエ子ルギーをもつてをる。このエ子ルギーを**位置のエ子ルギー**といふ。

前例の弓は、$A'OB'Q$の形から$AOBP$の形に引き絞るには、平均$f$ダインの力で$l$サンチメートルだけ引かなくてはならぬから、$fl$エルグの仕事が必要だし、またこの弓は、同じく$fl$だけの仕事を他の物體即矢にすることができるから、この引き絞つた弓の位置のエ子ルギーは$fl$エルグである。

$m$グラムの物體を、抵い處$A$から高い處$B$に揚げるに、加速度を與へない樣にすると、その重さ$mg$ダインだけの力がいる。$AB$の間を鉛直に計つた距離を$l$サンチメートルとすると、この物體を揚げるに要する仕事は$mgl$エルグである。$B$から$A$へ落ちるときも、加速度がなければ、この物體は始終その重さ$mg$ダインの力で、他の物體を押して$mgl$エルグの仕事をすることができる。だから、物體の$B$の位置では$A$の位置でより位置のエ子ルギーが$mgl$エルグだけ多い。$A$が$B$の眞下でなく落ちる道が斜であつても、重さの方向は常に縦だから、仕事の定義により$l$はいつでも縦に計らなくてはならぬ。$A$での位置のエ子ルギーは、$A$より下の點$O$でのより多く、また$O$でのはそれよりなほ下の點でのよりは多い。それで物體の位置のエ子ルギーは絕對的にはきまらぬ。ただ地面とか海面とか便宜上隨意に選

んだ零の位置に比べてそれよりいくら多いといふことがきまるだけである。

高い處にある水や壓縮した氣體などは、位置のエ子ルギーを持つてゐる。

**問題一．** ある時計を卷くのに、四〇〇〇グラムサンチメートルの能率（四サンチメートルの幅の鍵の兩端に一ギログラムの力の働く能率）で六廻轉を要するなら、この卷いた時計の位置のエネルギーはいくらか。

答。　一五〇、八〇〇グラムサンチメートル。

**問題二。** この時計を、一メートルだけ卷きあげられる重りで運轉するには、その重りの質量をいくらにすべきか。

答。　一・五〇八キログラム。

## 七六　エ子ルギーの變はりゆく例。

㋑物體の位置のエ子ルギーが全く同一物體の運動のエ子ルギーに變はることもある。$m$グラムの物體が、少しも抵抗なしに、即、他の物體に少しも仕事をせずにBからAまで$l$サンチメートルだけ落下したとき、その始めと終りとの速さをそれぞれ毎秒$c_0$ $c$サンチメートルとすると一四により

$$c^2 - c_0^2 = 2gl$$

で、この兩項に$\frac{m}{2}$を乘ずると、

$$\frac{mc^2}{2} - \frac{mc_0^2}{2} = mgl$$

となる。この方程式の第一項はBからAまでの運動のエ子ルギーの增加で、第二項はその間の位置のエ子ルギーの減少である。始めBでの速さ$c_0$が零なら、

$$\frac{mc_0^2}{2} = mgl$$

である。

㋺また逆に運動のエ子ルギーの減少が、全く位置のエ子ルギーになることもある。前例の$m$グラムの物體を毎秒$c_0$サンチメートルの速さで抛げ上げたとき、その速さが$c$になるまでに昇つた距離を$l$サンチメートルとすると、（これは前の式で$l$の符號が變はつたと見ても同じことであ

る)。

$$c_0^2 - c^2 = 2gl$$

で

$$\frac{mc_0^2}{2} - \frac{mc^2}{2} = mgl$$

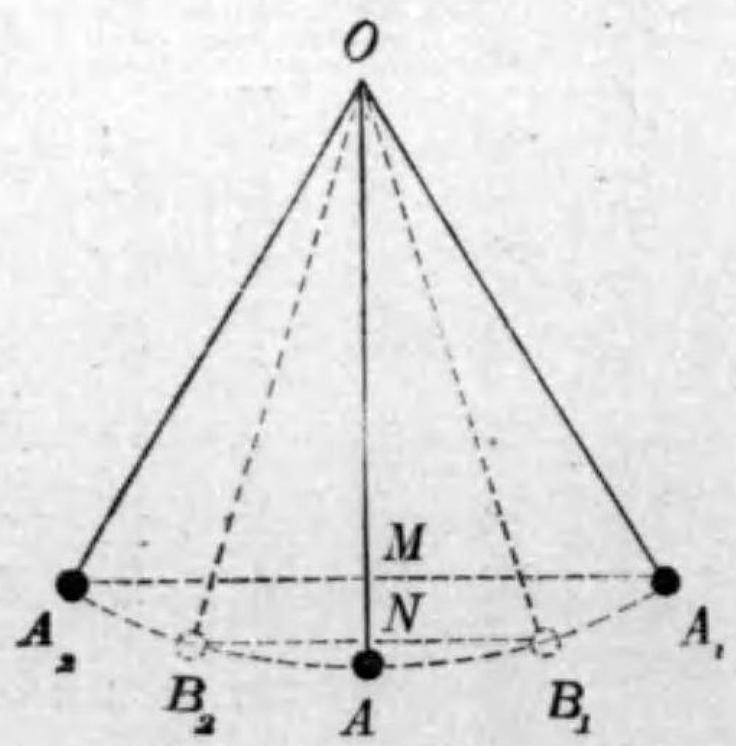
だから、運動のエネルギーの減少は全く位置のエネルギーの增加となる。

速さ $c$ が全く消滅するまでに昇る距離を $l_1$ サンチメートルとすると、

$$c_0^2 = 2gl_1 \qquad \frac{mc_0^2}{2} = mgl_1$$

で、エネルギーは、全く位置のになる。　同一の水平面內では位置のエネルギーは同じであるから、前の二例で $A$ は $B$ の眞下でなくてもこれらの關係がある。　たとへば、$B$ から $A$ へ、滑かな斜面または曲面に傍うて、物體の滑る場合にも前式は應用ができる。

(は) 振動のエネルギーの變化を第七二圖の單一振子で說明しよう。　$m$ グラムの球は $A_1 B_1 A B_2 A B_2 A$ といふ様に振動する。球の位置のエネルギーは、$A$ で最小いから $A$ での價を零とすると、$A_1$ と $A_2$ とでは $mgAM$ エルグ $B_1$ と $B_2$ とでは $mgAN$ エルグである。　また運動のエネルギーは $A_1$ $A_2$ では零で、$A$ で最大である。　それだから、この振動のエネルギーは、始め $A_1$ では位置のみであるのが段段減り、この減つただけは運動のエネルギーとなり、$A$ では運動のみとなり、それからまた運動のは段段減つて位置のが段段殖え、$A_2$ では再び位置ののみとなり、また $A$ に戻るにも同様な變化をなし、振動の續く間これを繰りかへす。　三九の第三三圖の様なぜんまいやばねの先に重りを付けたものの、振動の場合にもそのエネルギーは振子のときと同。




第七二圖

様な變化をなす。

(に) 物體が他に仕事をしながらそのエネルギーの一部はその物體の中で變はつてゆくこともある。(い)の例の様に高い處にある $m$ グラムの物體が自由に落下して毎秒毎秒 $g$ サンチメートルの加速度を得るときは、この物體が $l$ サンチメートルだけ落ちると、その位置のエネルギー $mgl$ はみなその物體自身の運動のエネルギーとなつて他には少しも仕事をせぬ。然るにこの物體が抵抗物を押しながら落ちるときは、その加速度は、必 $g$ よりは少い。この加速度を毎秒毎秒 $a$ サンチメートルとし抵抗物を押す力を $f$ ダインとすると、抵抗力もまた $f$ ダインで、加速度 $a$ を起こす力は $mg - f$ ダインである。それだから、

$$mg - f = ma \quad \therefore \quad f = m(g - a)$$

となり、この物體が $l$ サンチメートルだけ落ちる間に、抵抗物にした仕事は

$$fl = m(g - a)l = mgl - mal$$

エルグである。また物體の速さは毎秒毎秒 $a$ サンチメートルの割合で殖えるから、

$$c^2 - c_0^2 = 2al$$

で、この物體が $l$ サンチメートル落ちる間に殖えた運動のエネルギーは

$$\frac{mc^2}{2} - \frac{mc_0^2}{2} = mal$$

エルグである。右の仕事と運動のエネルギーとの和は $mgl$ だから、この物體の位置のエネルギーの一部分はその物體の運動のエネルギーとなり、他の部分は抵抗物に對してした仕事となつたのである。

實際の振子は空氣の抵抗などに對して絶えず仕事をしてゐるから、その運動と位置とのエネルギーの和、即振動のエネルギーは段段小くなつて振子は終に靜止する様になる。

問題一。絲の長さ二〇サンチメートルの單一振子がある。これを鉛直から六〇度だけ一方に引きよせ、靜に離すと、その球の最大の速さはいくらになるか。

答。毎秒一四〇サンチメートル。

問題二。四〇分の一の勾配の鐵道を、毎秒八〇〇サンチメートルの速さで昇つてゆく列車がある。その機關車が突然、引くことのできぬ樣になつたとすると、この列車は停止するまでになほいくら昇るか（摩擦はないものとする）。

答。一三一メートル。

問題三。毎秒五〇メートルの速さで飛んでをる鳶は、少しも羽はたきを用ゐずに、どのくらゐ舞ひあがることができるか。

答。一二八メートル。

問題四。**三九**第三三圖乙のはねの先に一六グラムの重りを附け、一サンチメートルだけ引きよせて離すと、重りの振動の最大の速さは毎秒二〇サンチメートルである。(い)その振動のエネルギーはいくらか。(ろ)この重りを二サンチメートル引きよせて離すと、振動のエネルギーと最大の速さとはいくらになるか。重りを四グラムにし、(は)一サンチメートルまたは(に)二サンチメートル引きよせると、これらの量はいくらになるか。

答。(い)三二〇〇エルグ。(ろ)一二八〇〇エルグ。毎秒四〇サンチメートル。(は)三二〇〇エルグ。毎秒四〇サンチメートル。(に)一二八〇〇エルグ。毎秒八〇サンチメートル。

## 七七　仕事の結果。

力が物體に働いてその速さを増すときには、運動のエネルギーができ、速さは增さずしてある他の力がこの力と釣りあふときは、位置のエネルギーまたは他のエネルギーが殖える。この抵抗する力に二つの種類がある。彈力やまたは地球や磁石の引力の樣に、物體の一定の位置ではその動きかたに關係なく向きも大きさもきまつてをる力と、摩擦力ねばりなどの樣にいつでも運動の向きに反對に働く力とがある。第一種の力に對してした仕事の結果は位

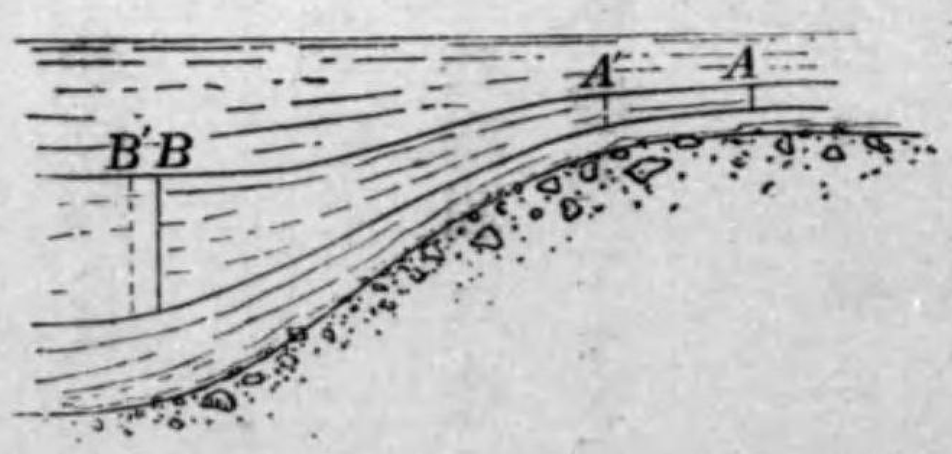
置のエネルギーとなり、第二種の力に對してした仕事の結果は熱などのエネルギーとなる。たとへば、$m$グラムの物體を$f$ダインの力で$l$サンチメートルだけ引きあげ毎秒$c$サンチメートルの速さを起こしたとする。物體の重さを$mg$ダインとし、空氣の抵抗やその裝置の摩擦力などを$f_1$ダインとし、實際加速度を起こした力を$f_0$ダインとすると、

$$f = f_0 + mg + f_1$$

である。$f$のした仕事の$fl$エルグの中で、$f_0 l$エルグはこの物體の運動のエネルギー$\frac{mc}{2}$になり、$mgl$エルグはその位置のエネルギーの增加となり、$f_1 l$は全く熱となる。ゴム線を引き伸ばすときの抵抗力の多分は第一種の彈力だから、その仕事は多く位置のエネルギーとなり、少しは熱ともなる。泥の塊を壓すときの抵抗力は全く第二種の力で、その仕事はみな熱となる。この熱などの樣なエネルギーに對して、前の運動のエネルギーと位置のエネルギーとを力學的のエネルギーといふ。

この節に論ずる關係は水に渦のないときに限る。角などがある水路に、水中に渦ができてこの關係はあたらぬ樣になる。

七八 **一樣に流れる液體。** 河流などで水嵩の變動のないときには、水その物はたへず入り變はつても流れの有樣は少しも變はらぬ。かういふ**一樣な流れ**では、同一の場所に來た水の分子はいつも同じ道を通る。この道になる線をりゆーせん(流線)といふ。澤山な流線で圍んでなる管の樣な場所をりゆーかん(流管)といふ。この管の中の液體はどこまでもその中を流れる。ある流管の中の(第七三圖)$A$から$B$までの水に、極短かい$t$秒時間に起こるエネルギーの變動を考へて見よう。$A$での水の速さを毎秒$c_0$サンチメートルとし、管の切口の面積を$s_0$平方サンチメートルとし、壓力を毎平方サンチメートル$p_0$ダインとし、ある水平面からこの




第七三圖

點までの高さを$h$サンチメートルとする。$B$でのこれらの量を$c$ $s$ $p$ $h$とし、水の密度を$\rho$とする。極短い$t$秒時間には、$A$の水は$A'$にゆき$B$のは$B'$にゆくとすると、

$$AA' = c_0t \qquad BB' = ct$$

で、$A$から$B$までの水は$A'B'$に動く。この$t$秒時間に他からこの$AB$だけの水にした仕事はこの水のエネルギーの増加でなくてはならぬ。

まづこの仕事を勘定する。この管の傍面の壓力は運動の方向に垂直だから、仕事はせぬ。$A$の切口の全壓力は$p_0s_0$ダインで$AA'$は$c_0t$サンチメートルだから、この壓力が$AB$の水にした仕事は$p_0s_0c_0t$エルグである。同理で$B$の處の壓力が$B$より先きの水にした仕事は$psct$エルグで、卽、先きの水が$AB$の部分に仕た仕事は$-psct$エルグである。また水の嵩は變はらぬから、$AA'$の立積$s_0c_0t$は$BB'$の立積$sct$に等しく、$s_0c_0$は$sc$に等しいから、$sc$を$v$とすると、これら正負の仕事の和は

$$p_0s_0c_0t - psct = vt(p_0 - p)$$

エルグである。

次に、$t$秒時間に$AB$の水にできるエネルギーの増加を勘定する。始めの有様で$A'$から$B$までの水と、$t$秒時間の後の$A'$から$B$までの水とは、物質は入り代つてをつてもその動きかたは全く同一であるから、そのエネルギーも勿論同一である。それだから、$AB$が$A'B'$に動くとそのエネルギーの變化は$BB'$のエネルギーと$AA'$のエネルギーとの差である。$BB'$と$AA'$との水の立積はいづれも$vt$立方サンチメートルで、その質量は$vt\rho$グラムだから、その運動のエネルギーの増加は

$$\frac{vt\rho c^2}{2} - \frac{vt\rho c_0^2}{2} = vt\rho\left(\frac{c^2}{2} - \frac{c_0^2}{2}\right)$$

エルグでその位置のエネルギーの増加は

$$vt\rho g(h-h_0)$$

エルグである。これら二項の和は$t$秒時間に$AB$の水の得たエネルギーで前に勘定した仕事に等しくなければならぬから、

$$vt\rho\left(\frac{c^2}{2}-\frac{c_0^2}{2}\right)+vt\rho g(h-h_0)=vt(p_0-p)$$

$$\therefore\quad \frac{p}{\rho}+\frac{c^2}{2}+gh=\frac{p_0}{\rho}+\frac{c_0^2}{2}+gh_0$$

となる。

$A$をこの管の中のきまつた原點とし、$B$を管の中のいろいろの點とすると、右の方程式の右測は定數である。$A$を水面で速さのない點とすると、$p_0$は大氣の壓力$P$で、この式は

$$\frac{p-P}{\rho}+\frac{c^2}{2}+gh=gh_0$$

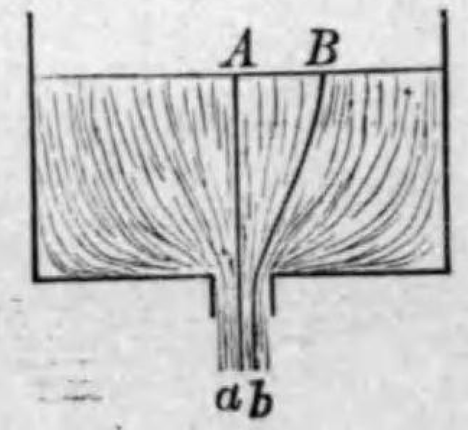
$$\therefore\quad \frac{p-P}{\rho}+\frac{c^2}{2}=g(h_0-h)=gH$$

となつて、表面にあつた一グラムの質量が$H$サンチメートルの深さに達したとき、その失つた位置のエネルギー$gH$エルグの變化を示す。この點$B$での壓力も大氣の壓力$P$なら、このエネルギーはみな運動のエネルギーとなり、水の速さ毎秒$c$サンチメートルは

$$\frac{c^2}{2}=gH\quad\therefore\quad c=\sqrt{2gH}$$

で$H$サンチメートルの高さから自由に落ちた物體の速さと同じである。

液體の盈ちた大な桶（第七四圖）の小い孔から液體の流れ出る場合には、その表面の變はりも遲いからまづ一樣な流れと見做すことができる。流線はみな圖の$Aa$ $Bb$の樣に表面の、速さの零の處に始まり、流出口の壓力$P$の處を通つてなるから、流出の速さは前式の通りである。



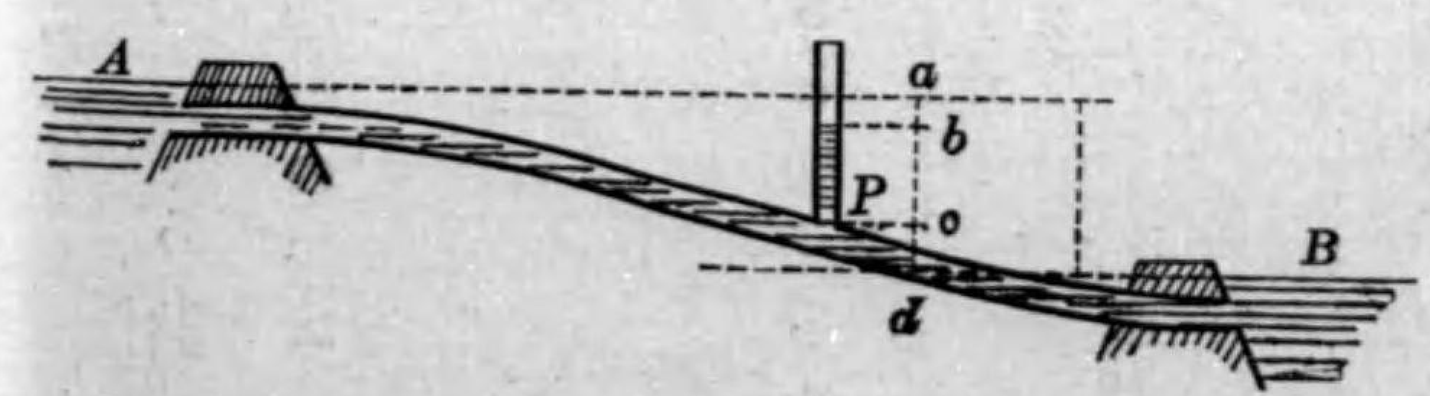
第七四圖

またこの點 $B$ での速さ $c$ が零なら、一グラム毎の液體の失つた位置のエネルギー $gH$ エルグはみな壓力のために生ずる一種の位置のエネルギー $\frac{p-P}{\rho}$ エルグとなつてゐる。もし液體のこの部分が桶の壁の傍にあるなら、壁に孔をあけると、このエネルギーは直ちに運動のエネルギーともなり、また他に仕事をすることもできる。水の場合にこの壓力に相當する高さ卽 $\frac{p-P}{\rho g}$ を工業家は**らくさ**(**落差**)といふ。

第七五圖は、高い處にある水溜 $A$ から低い處にある水溜 $B$ へ、管で引いてある水が一樣に流れてゐる場合を示す。$B$ の表面を高さの基點とすると、この圖によつて

$$\frac{p-P}{\rho}+\frac{c^2}{2}+gh=gh_0$$

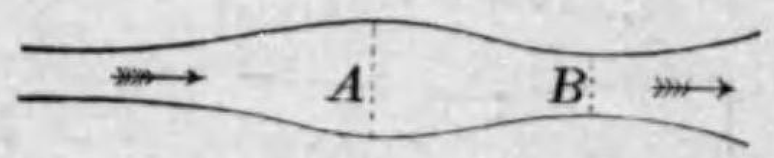
の式の各項の意味が明瞭に分かる。$gh_0$ は $A$ の表面にある一グラムの水の位置のエネルギーである。この水が管に傍うて $P$ 點に達すると、そのエネルギーの一部分はなほ重力に對する位置のエネルギー $gh$ で、他の一部分は壓力に對する位置のエネルギー $\frac{p-P}{\rho}$ となり、殘りの一部分は運動のエネルギー $\frac{c^2}{2}$ となる。$P$ に圖の如く枝管をつけ、その小口を精密に流線に平行にすると、この管の中の液體の高さは、この小口での壓力を示す。それで圖の $cd$ は殘餘の位置のエネルギーに相當し、$bc$ は右の壓力に相當し、$ab$ は運動のエネルギー $\frac{c^2}{2}$ に相當する。$p=P$ のときは、簡單な流出の場合である。



第七五圖

**七九　太さの不同な管の中の壓力。**　水が第七六圖の樣に太さの不同な管を流れるには、同じ時間に $A$ の切口を横切る量も $B$ の切口を横切る量も等しいから、$A$ の處では流れは緩やかで $B$ の處では急である。前節の式

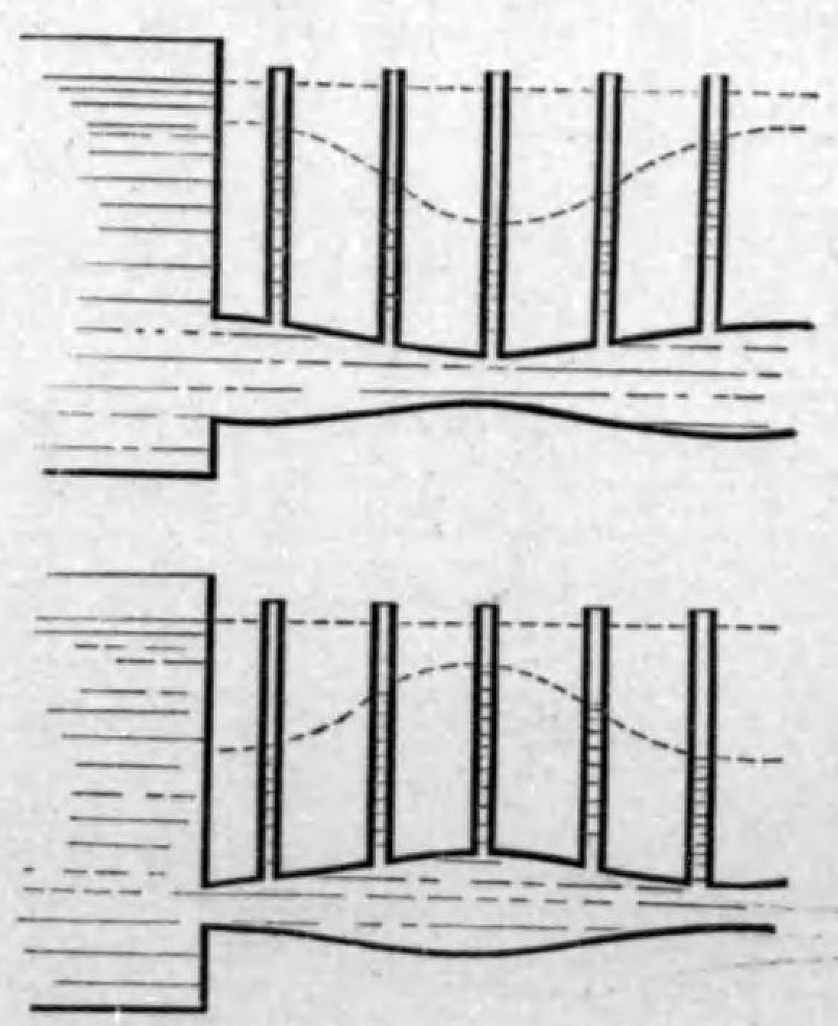
$$\frac{p-P}{\rho}+\frac{c^2}{2}+gh=\text{定數}$$



第七六圖

によると、水平な管の中では $h$ は不變だから、$c$ の大な處では $p$ は小く、$c$ の小い處では $p$ が大い筈である。第七七圖甲乙の樣にくびれや擴がりのある水平な管に、壓力を示す枝管をたて、これに水を流すと、壓力は、くびれた處では小く擴がつた處では大いことが分かる。

この關係は下の推理からも知れる。水が水平な管の太いところから細いところにゆくと、速さは殖えるから加速度の方向に力が働かなければならぬ。この加速度を起こす力は單に壓力の差であるから、前方卽ち細い處の壓力は後方卽太い處の壓力より小い筈である。逆に細い處から太い處に動くときは、



甲

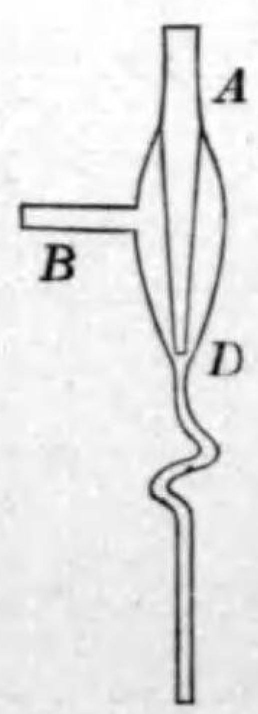
乙

第七七圖

速さは減るから前方の壓力は後方の壓力よりは大いわけである。

前項の理を應用して、第七八圖の樣な噴水ポンプを作る。$A$ 管に高壓力の水を送ると、$B$ に續く水溜から水を高いところに押しあげることができる。$A$ から來る水は、管の最細い處 $D$ で非常な速さになり。從つてその壓力も極めて小くなる。$B$ から來る水も、そのために大な速さを得、再び管の太い部分に達するときはかなり大な壓力になり水溜よりも高い處に水を押しあげる。第七九圖は同理に原づいて空氣を排出するに用ゐるブンセンポンプである。$A$ を水道のカランに續けると、空氣を $B$ の口から吸ひこみ水と共に下へ吐き出す。


第七八圖




第七九圖

**問題。** 液體が、二枚の平行な板の間で一點から周圍に輻射するとき、この點からの距離 $r_1$ $r_2$ では、液體の壓力はどういふ關係になるか。

答。 これらの點での速さをそれぞれ $c_1$ $c_2$ とすると、

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{r_1}{r_2}.$$

である。 また壓力をそれぞれ $p_1$ $p$ とすると、

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} + gh = \frac{p_2}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + gh$$

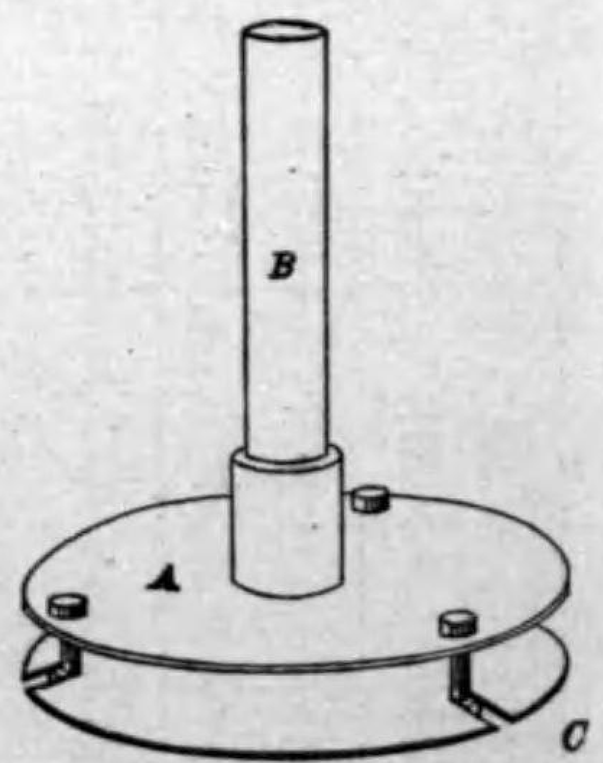
であつて、$p_1$ $p_2$ の關係は次の樣になる。

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho c_1^2}{2}\left(\frac{r_1^2}{r_2^2} - 1\right)$$

**八〇　一樣に流れる氣體。** 氣體の場合には七八の式はおよそ

$$\frac{3.4p}{\rho} + \frac{c^2}{2} + gh = \text{定數}$$

となつて $p$ に係數のあるだけの違ひである。 $h$ の不變な場合には、やはり $c$ の小い處で $p$ は大く $c$ の大い處で $p$ は小い。 これを證明する實驗がある。 第八〇圖の $A$ の圓い板の眞中に孔があつて、これに $B$ の管がついてゐる。 $A$ の下には、$C$ の厚紙が三本の棒で上下にのみ動ける樣に止めてある。 $B$ の管を吹くと $C$ は $A$ に吸ひつく。 これは前節の問題と同じ理で $A$ $C$ 間の壓力は外の壓力よりは小いので $C$ はその下面の壓力のために $A$ の方に動く。 普通の霧吹きも同じ理由で説明ができる。



第八〇圖

砲彈のエネルギー。 一八八七年にフランスで大砲の長さを増す計畫を始めた。 それまでは大がい三〇口徑と極まつてゐつた。 イギリスでは一八九四年まで三〇口徑を用ゐ、ロシアではなほ二三年後までこの長さのを注文した。 イギリスで四〇口徑の始めて出來たのは一九〇一年で四五口徑の一二インチ

砲は一九〇三年にはまだ一つも出來あがらなかつた。いまでは各國とも重砲には四〇—四五口徑、輕砲には四五—五〇口徑を用ゐることにほほ一致してゐる樣に見える。新式砲のエネルギーは、舊式の三〇口徑のの殆ど二倍である。これは次の表で知れる。

| 砲 | | 口徑六インチ 彈丸一〇〇ポンド | | 口徑一二インチ 彈丸八五〇ポンド | |
|---|---|---|---|---|---|
| 長さ（口徑の倍數） | | 三〇 | 五〇 | 三〇 | 四五 |
| 速さ（毎秒フィート） | 砲口では | 二〇〇〇 | 二九〇〇 | 二〇〇〇 | 二八〇〇 |
| | 三〇〇〇ヤードでは | 一三三五 | 一八七〇 | 一六三〇 | 二三〇〇 |
| エネルギー（フートトン） | 砲口では | 二七七七 | 五八四〇 | 二四、七一〇 | 四五、三一〇 |
| | 三〇〇〇ヤードでは | 一二三七 | 二四二八 | 一五、六八〇 | 三一、二一〇 |
| 彈帽なしの彈丸の穿貫力（インチ） | 砲口で　鍛鐵 | 一三・八 | 二四・二 | 二八・五 | 四七・三 |
| | 砲口で　クルップ鋼 | 五・五 | 一〇・五 | 一三・五 | 二五・〇 |
| | 三〇〇〇ヤード　鍛鐵 | 七・六 | 一三・五 | 二一・〇 | 三五・〇 |
| | 三〇〇〇ヤード　クルップ鋼 | 三・五 | 五・三 | 八・五 | 一六・〇 |

現今の二〇トン八・五インチ砲の穿貫力は舊式四〇トン一二インチ砲のと等しい。しかも同時間に前者は後者の四倍だけ發射することが出來るので、同一の重量では新式の砲は舊式のの八倍の勢力がある譯である。

現今世界で最大な砲は合衆國にある。口徑は一六インチ、重量は一二六トン、長さは五九フィート即ち四二口徑である。彈丸の重量は二三〇〇ポンド火藥はナイトロセルロース六四〇ポンドを要する、火藥の燃燒で出來るガスの壓力は毎平方インチ一七・二トンで、砲口での彈丸の速度は毎秒二三〇六フィート、そのエネルギーは八四、八八〇フートトンである。その穿貫力は三〇〇〇ヤードの距離で二〇インチのクルップ鋼板を貫くだらうといふことであるけれども、この樣な鋼板はないからこれは實際ためしたことではない。しかし、この砲と同一の費用で一二インチ砲は二門備へることが出來、しかも一六インチ砲を一回發射する間に一二インチ砲は四回發射することが出來るから、この巨砲はあまり實用的ではない。

クルップ式または他の甲鐵でも、現今用ゐるものはみな最上のニッケルクロームの鋼鐵で、その表面の部分だけは炭素の成分が多くて極堅く、内部は極破れにくい性質にしてある。その防禦の效は、二倍の厚さの鍜鐵の板

と殆ど同樣である。厚さ一二インチのクルップ甲鐵を貫く彈丸の要件と、その距離とを左に擧ける。

| 彈丸の重量（ポンド） | 大砲の口徑（インチ） | 砲口での速さ（毎秒フィート） | 彈帽附の彈丸の一二インチ板を貫く距離（ヤード） |
|---|---|---|---|
| 八五〇 | 一二 | 二八〇〇<br>二四〇〇 | 六五〇〇<br>四五〇〇 |
| 五〇〇 | 一〇 | 二八〇〇<br>二四〇〇 | 四五〇〇<br>二五〇〇 |
| 三八〇 | 九・二 | 二八〇〇<br>二四〇〇 | 三〇〇〇<br>一五〇〇 |

この表の第三段砲口での速さ二八〇〇は當時据付ける砲に相當し、二四〇〇は五年前までに据付けた砲に相當する。

以上砲彈の話は、主に、彈丸の速さやエネルギーとその空氣の抵抗に對する仕事や甲鐵を貫くときの仕事などに關する計算問題の材料として插入しておいた。

## 第八章　機械

**八一　きかい。**　通常きかいといふものに二つの大別がある。第一はその一部分の一定の動きかたによつて他の部分に任意の動きかたを起こすこと、またはその諸部分に働く力を釣りあはせることを目的とする。その動くときに仕事があつても、それは單に附帶のことで、その目的ではない。この種のきかいには通常**器械**の文字をあてる。時計　計數器　星學器械　測量器械　縮圖器械　天秤　晴雨計　自記氣象器械　動力計などこの例である。第二は他からエネルギーを受けて有用な仕事をすることを主な目的とする。それには通常**機械**の文字をあてる。その分類は**一〇〇**に示す。次節以後は主にこの種の機械について述べる。

**八二　機械の原素。**　つい。　機械の各の部分をげんそ（原

機械の原素は また機素とも いふ。

ろくろ細工の樣な面を廻轉面といふ。

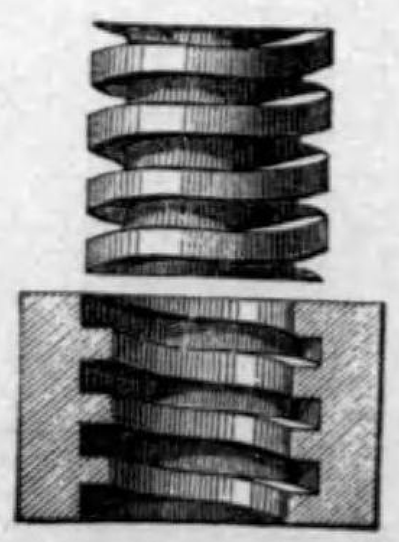
素)といふ。一の原素は、必他の原素と接してつい(對)を作る。原素は剛體であることもあれば、また綱や液體の樣に形の變はるものであることもある。剛體の原素は多くの場合では、面で接して對を作る。この面が動きながら絶えず接してゐるには左の三種の內でなくてはならぬ。

(い)對の原素が同じ道をゆき戻りする場合には、壔狀の面を用ゐる。この對をすべりついといふ。

(ろ)對の一つの原素が他に對して廻轉するときには、廻轉面を用ゐる。これをまはりついといふ。

(は)對の一つの原素が他に對して廻りながらその軸のむきに進むときは、ねぢ形の面を用ゐる。これをねぢついといふ。

紙を直角三角形に截り、この紙を圓壔に帖りつけるに直角の一邊が圓壔の軸に平行になる樣にし、この紙を殘らず圓壔に巻きつけると、紙の斜邊は圓壔の傍面の上に一種の曲線を作る。この曲線に傍うて一樣な溝を掘ると、ねぢができる。このねぢの丁度はいる樣な中空な物體を**めねぢ**といひ、これに對して前のねぢを**をねぢ**といふ。第八一圖の樣なをねぢとめねぢとは一の**ねぢ對**である。めねぢに對して、をねぢを一廻轉するとき、その進む長さをこのねぢの**あゆみ**といふ。普通のねぢではその軸のむきに計つたやまの間隔がこのあゆみである。



第八一圖

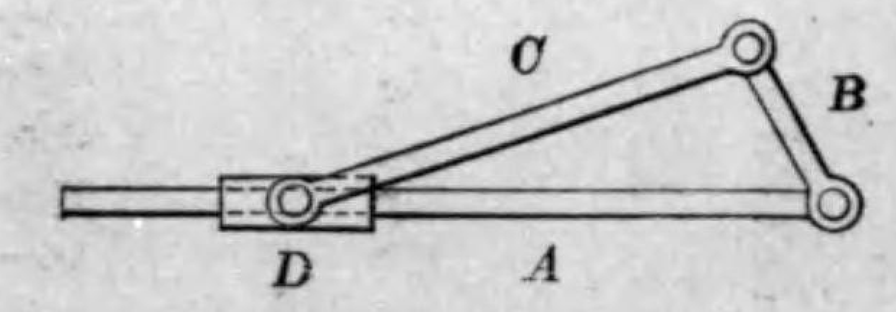
右の三種の對は機械に最普通に用ゐるので、これを**なみの對**といひ、他のものを**高等の對**といふ。

**八三 運動學的連鎖。** 機械の各原素は、ある種類の對で他の原素と連なり、**運動學的連鎖**を作る。大な機械の一局部や簡單な機械は、この連鎖である。

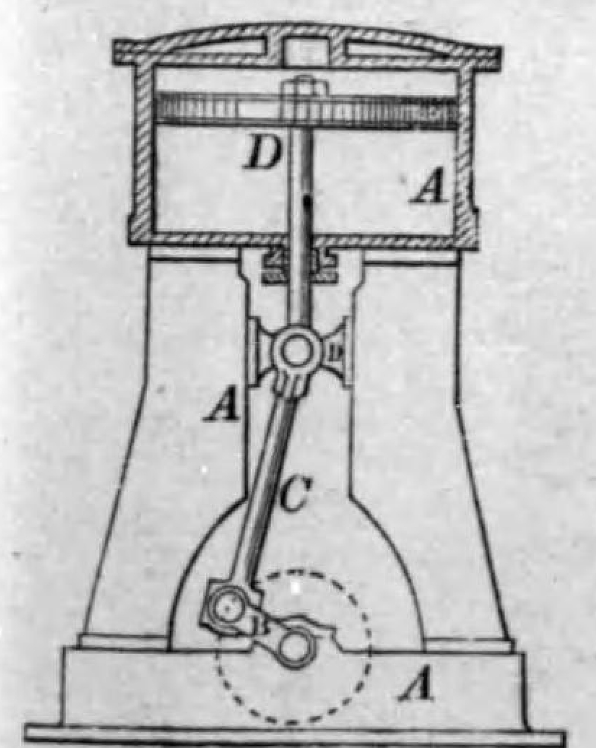
ハラムテとは機械の固定〃してある部分のことである。

**八四　クランク滑り連鎖。**　連鎖の最簡單な一〃例はクランクすべり連鎖である。$ABCD$（第八二圖）の四つの原素が、三つのまはり對と一つの滑り對とで、連鎖になつてゐる。この各の原素をそれぞれ適當な形にし、どれか一つの原素を固定して**ハラムテ**とすると、いろいろちがつた機械ができる。

$A$が固定してハラムテとなるときは、第八三圖の樣に普通の蒸汽機關の場合となる。$D$の**ピ〃ストン**や**ピストン棒**の往復運動が、$C$の**つがひ棒**によつて、$B$の**クランク**の廻轉運動となる。クランクとピストン棒とが一直線になつてゐると、その後の動きかたはふきまりである。この點を**思案點**といふ。

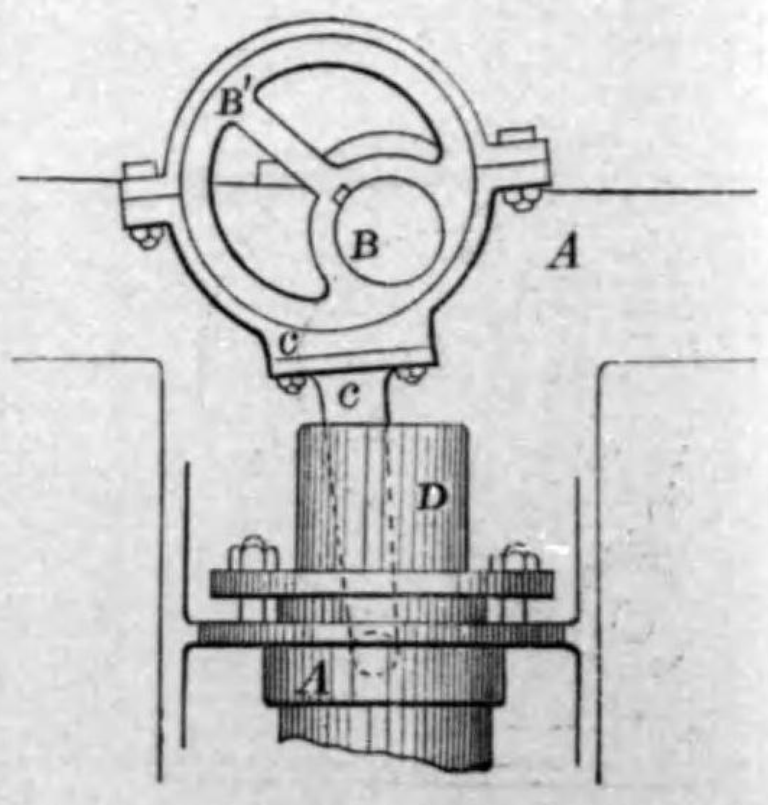



第八二圖




第八三圖

通常はづみぐるまの運動量によつ〃て、この點を通りすぎる。またこの裝置は、廻轉運動によつて往復運動を起〃こすにも用ゐる。蒸汽機關の**滑り辨**を動かすひがらわ（一三六）はその一例である。また第八四圖は舶用機關についてゐるポンプで$B$の軸は$A$のハラムテを貫いて廻轉する。ひがらわ$B'$はピンで$B$の軸に固定してある。$C$は$B'$のまはりをまはつて$D$に上下の往復運動を起こす。



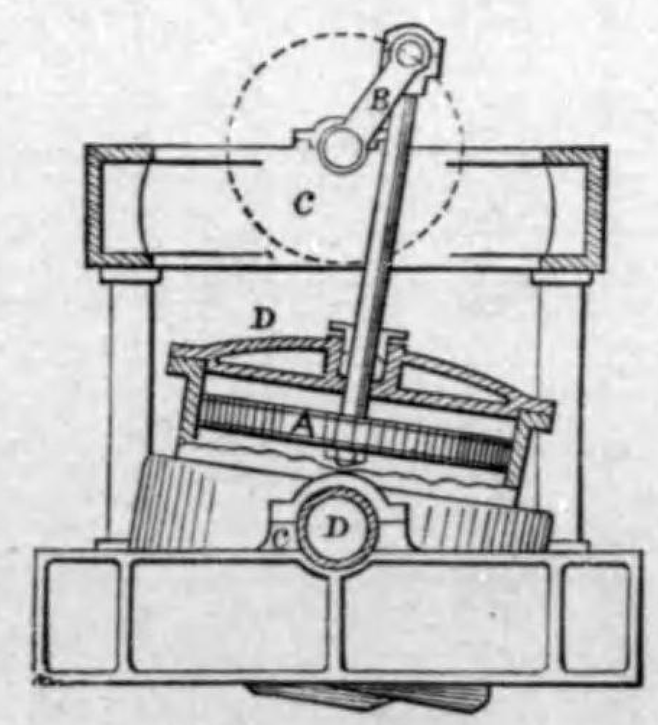

第八四圖

長さ$l$サンチメートルのクランクが一樣な角速度で毎分$n$廻轉すると、ピストンのしよーてい（衝程）$s$は$2l$サンチメートルである。一分時間に**クランクピン**は$2\pi ln$即$\pi sn$だけ動き、ピストンは$2sn$だけ動くから、それらの平均の速さの割合は

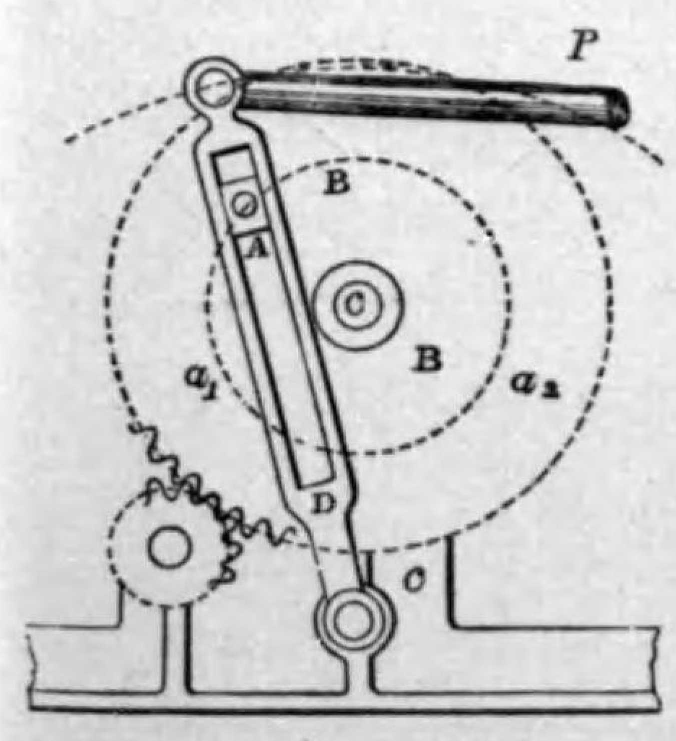
$$\frac{c_0}{c} = \frac{\pi s n}{2 s n} = \frac{\pi}{2}$$

である。

同じ連鎖の$C$を固定してハラムテとすると、二種の應用がある。第八五圖の**つつふり**（箭搖）**蒸汽機關**では、$B$は廻轉し、$A$は振動しながら$D$の中を滑り、$D$は廻轉的に振動する。第一一九圖の水壓機關も同じ連鎖の應用である。同樣な關係で單にその諸部の形をかへると第八六圖の**はやもどりの裝置**となる。機械の往復運動をする部分を、一方には速く一方には遲く動



第八五圖

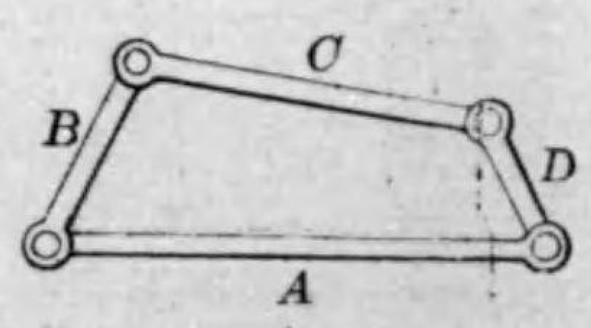


第八六圖

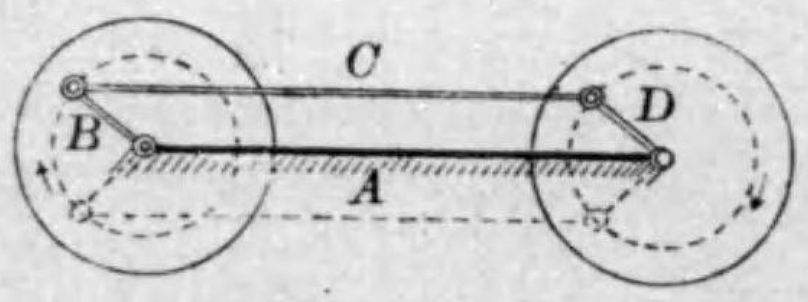


かさうとするとき、$D$の上端をその部分$P$につけ$B$に一樣な廻轉運動を與へると、$A$が$a_1$から$a_2$まで上方の圓孤を書く間に$P$は靜かに進み、$a_2$から$a_1$まで下方の圓孤を書く間にはやく戻る。

**八五　四つ棒連鎖。**　これは$A$ $B$ $C$ $D$（第八七圖）の四本の棒を四つのまはり對で連ねたものである。**機關車**の前後兩輪に同樣な廻轉を起こす裝置（第八八圖）はその一例である。$A$は機關車の車體、$B$と$D$とのクランクは兩輪の一部で、同じ長さで平行である。蒸汽機關のピストン棒は$A$の棒と同一直線の上にあつて、その一端は、$D$の外端とつがひ棒で連ねてある。ピストンの往復運動によつて$D$が廻轉すると、$B$も同樣に廻轉する。機關車の兩輪



第八七圖

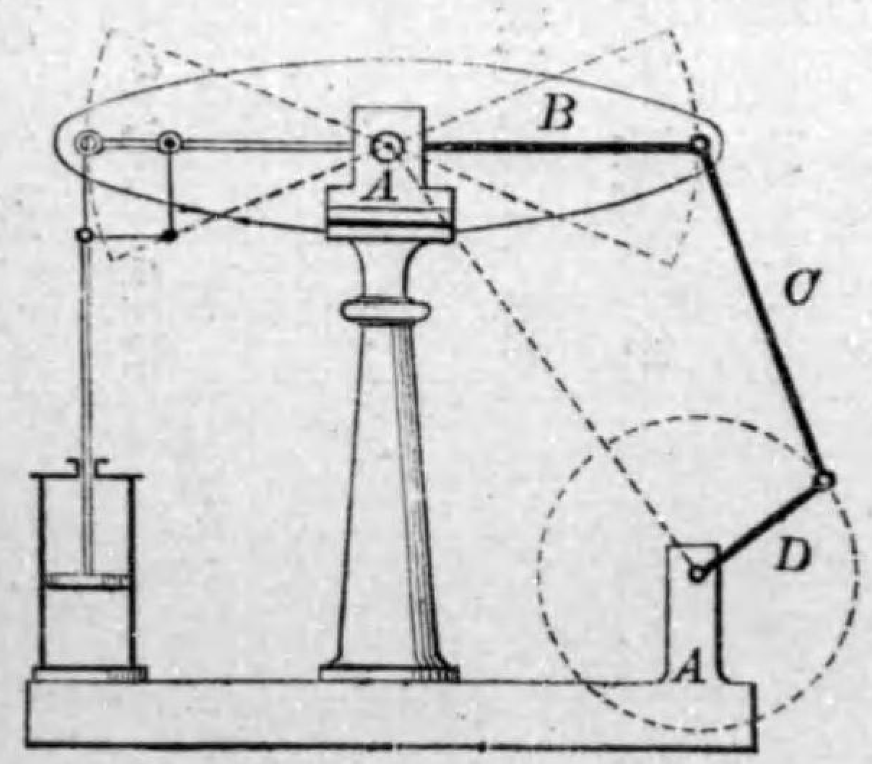


第八八圖

はその軸とともに一體をなし、他の側にあるクランクは、圖に點線で示してある樣にBDと丁度直角をなす。その前にもまた蒸汽機關のシリンドルがあるので、一方のクランクが思案點にあるとき他は充分な作用をなす。

上皿桿秤（**三八**）もこの連鎖の一例である。

第八九圖の**天秤機關**では固定してゐるハラムテAとクランクDとつがひ棒Cと棹Bとで四つ棒連鎖ができてゐる。この場合の樣にBとDとの長さが等しくないと短い方のクランクDは廻轉しても長い方のてこBは振動する。



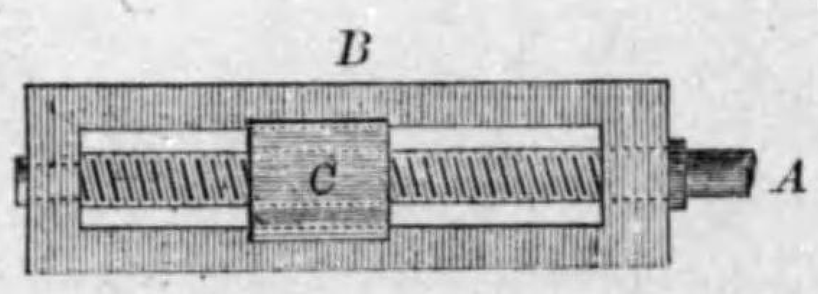

第八九圖

**問題。**　ある機關車の原動車輪（**九六**）の直徑は一五〇サンチメートルである。この機關車の速さが毎時六〇キロメートルのとき、㋑その毎分の廻轉數と㋺その角速度とはいくらか。㋩ピストンの衝程を六〇サンチメートルとすると、その平均の速さはいくらか。

答。㋑二一二・二廻轉。㋺毎秒二二・二ラヂアン。㋩毎秒四二四・四サンチメートル。

## 八六　ねぢ連鎖。

第九〇圖はまはり對と滑り對とねぢ對との簡單な連鎖である。これは精密な觀測をする器械などに澤山な應用がある。



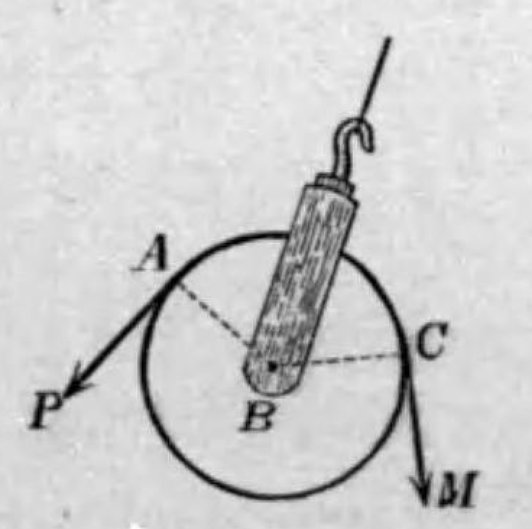

第九〇圖

**問題。**　ある船の推進器（水中で廻轉して船を進めるねぢ）のあゆみは七・二メートルで、その廻轉數は毎分七〇である。㋑この船の速さはいくノットか（一海里は一八五三メートルとする）。㋺衝程を一・二メートルとするとピストンの速さは平均いくらか。

答。㋑一六・三ノット。㋺毎秒二八〇サンチメートル。

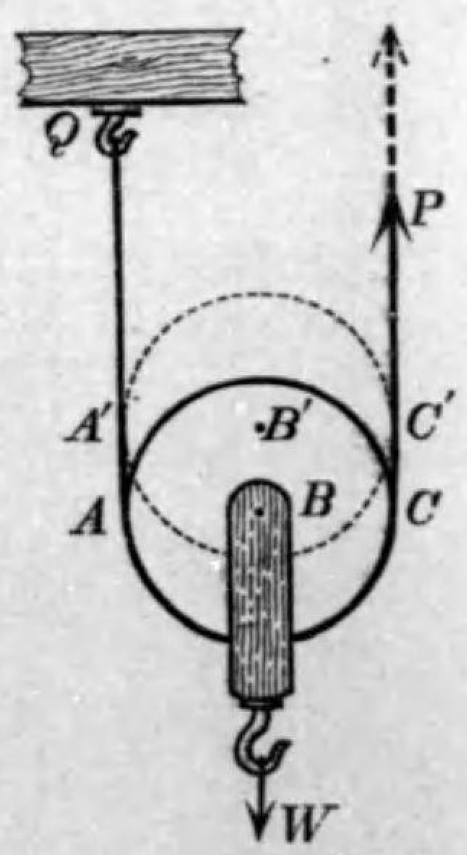
**八七 高等の對。** 對の一方の原素が剛體でないとき、または對が並の場合の樣に單に面と面との擦れ合ひでないときは、對が高等であるといふ。 高等の對は、並の對を結びつけ共に連鎖を作る。

屈曲は自在で長さの變はらぬ原素を**張力原素**といふ。 たとへば、綱で二點を繋ぐと、その綱に張力のある間は二點の距離は不變であるから、綱が直線であるうちはこの原素は剛體と少しも變はらぬ。 綱がある剛體の曲つた面に掛つてゐるとき、その一端がある速さで動くと、他の端も同じ速さで動く。 この剛體は通常圓壔形でその軸のまはりに廻はる樣になつてゐる（第九一圖）。 これを**プリ**または**かつしや**（滑車）といふ。



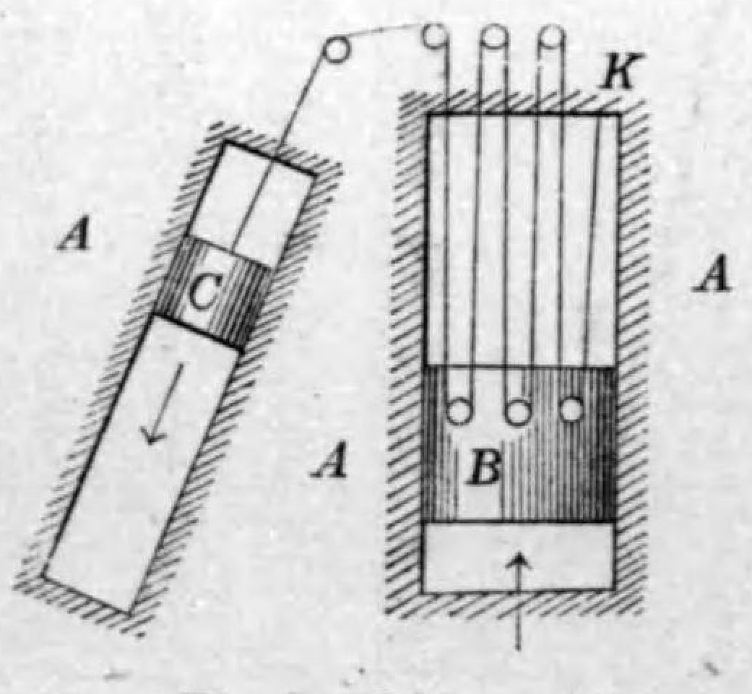
第九一圖

プリはまた第九二圖の樣にしても用ゐる。 綱の一端$Q$は固定し、$QA$ $CP$は平行である。 $P$をある速さ$2c$で上方へ引くと、$B$は$c$だけの速さで上方に動く。 もし、$Q$がある速さ$c'$で降り、$B$が$c$で昇るなら、$P$は$2c+c'$で昇らなければならぬ。 即、$P$の昇る速さと$Q$の降る速さとがそれぞれ$c_1$ $c_2$なら、$B$は$\frac{c_1-c_2}{2}$の速さで昇る。



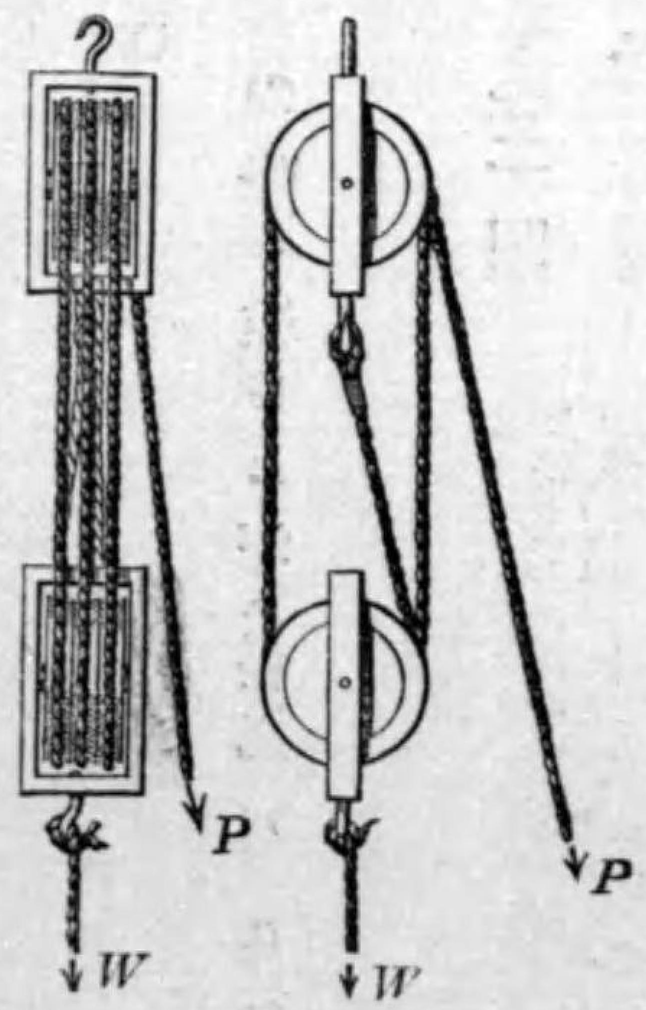
第九二圖

**八八 簡單なプリ連鎖。** 第九三圖で、$B$と$C$とは$A$のハラムテと滑り對になつてゐる。 一本の綱が、$A$と$B$とにつけてあるいくつものプリにかかり、その兩端は$K$と$C$とにつけてある。 $B$にゆく綱はみな$B$の滑る方向に平行で、$C$にゆく



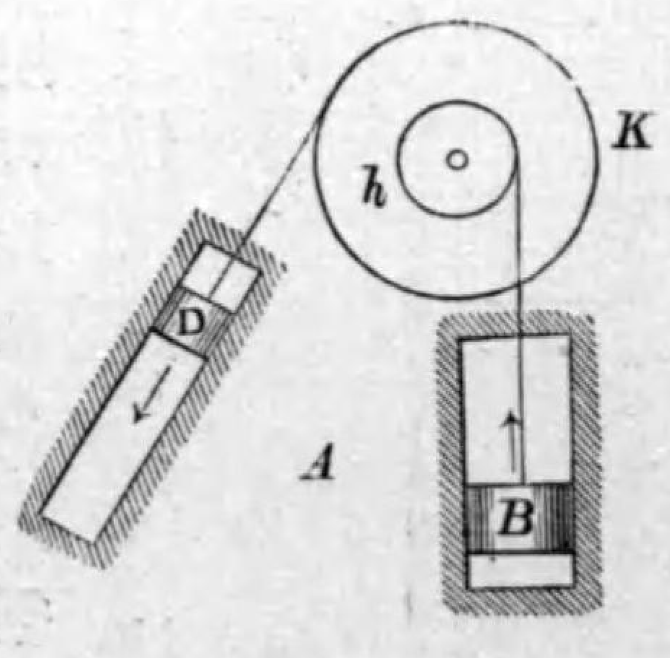
第九三圖

綱も$C$の滑る方向に平行である。前節によると、$B$の速さ$c$の二倍は$B$のプリにかかつてゐる綱の兩側の速さの差であるから、綱の各部の速さは、右から數へて$0$　$2c$　$2c$　$4c$　$4c$　$6c$である。この最後の速さが卽$C$の速さだから、$B$についてゐるプリの數を$n$とすると、$B$と$C$との速さの比は$2n$である。この連鎖の實用的のものをせみといふ。第九四圖にその一例を示す。$A$の原素は缺けてゐるけれども、このせみで重い物體を擧げるとすると、その重さ$W$と綱をひく力$P$との方向で、$B$と$C$との動くむきがきまる。かういふ場合には**連鎖**は**不完全**で力がこれを補つてゐるといふ。



第九四圖

**八九　ろくろ。**　前節の場合では綱はプリの表面で滑つても滑らんでも動きかたには少しも變はりはない。しかし、綱のつけてある圓壔が廻轉して綱を巻きつけ、荷物などを引き揚げる装置では綱は少しも滑つてはならぬから、これは別種の連鎖である。　通常ろくろと稱する装置は第九五圖の樣にこの連鎖を二つ組み合せたものである。　その完全な形では、$AB$　$AD$は滑り對で、$D$についてゐる綱は大輪を少し廻つて$K$で固着し、$B$についてゐる綱は小輪を少し廻つて$h$で固着し、いづれの綱も廻轉軸に垂直である。　またこの兩輪は一つの剛體で、$A$とまはり對をなしてゐる。$B$と$D$との速さは兩輪の半徑に比例する。



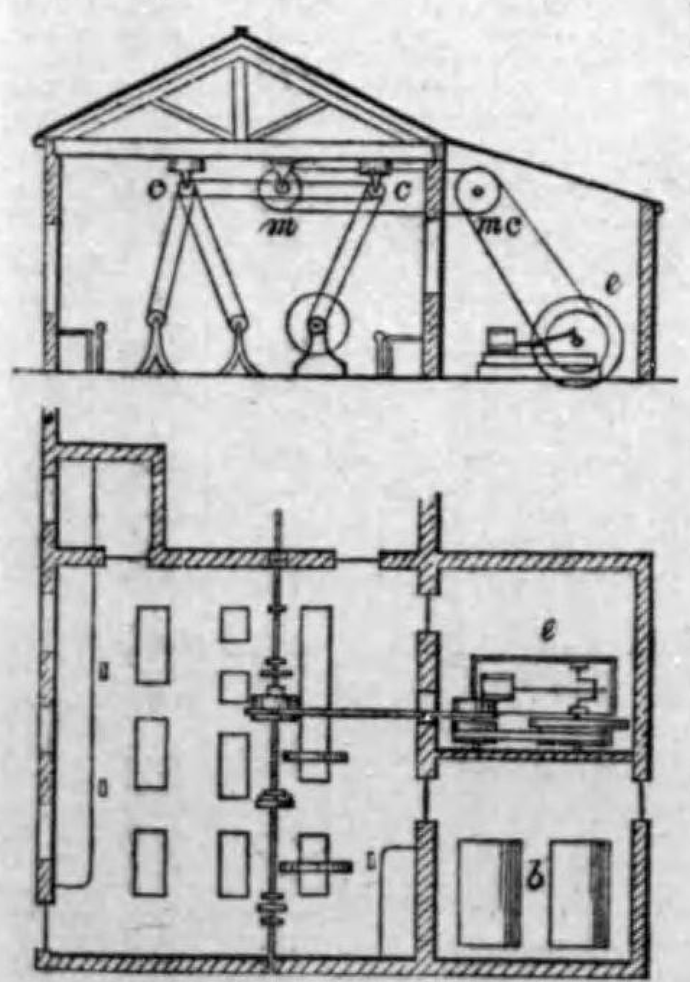
第九五圖

**九〇　摩擦力で補つたプリ連鎖。**　二つのまはり對と輪形の綱

調革はまた帯革ともいふ。

とで一つの連鎖ができる。　二本の平行なぢく(軸)についてゐるしらべぐるま(調車)にしらべかは(調革)をかけたものは最重要な實例である。　調車と調革とがもし滑るなら、その動きかたに一定の關係がないからこの對は不完全であるけれども、調革を適當にしめ摩擦の力で滑らぬ様に補ふと、二つの調車の角速度の比はその半徑に逆比例する。　しかし調革は必多少(百分の二位)は滑るので、速さに精密な關係を要する場合にはこの連鎖は用ゐられぬ。

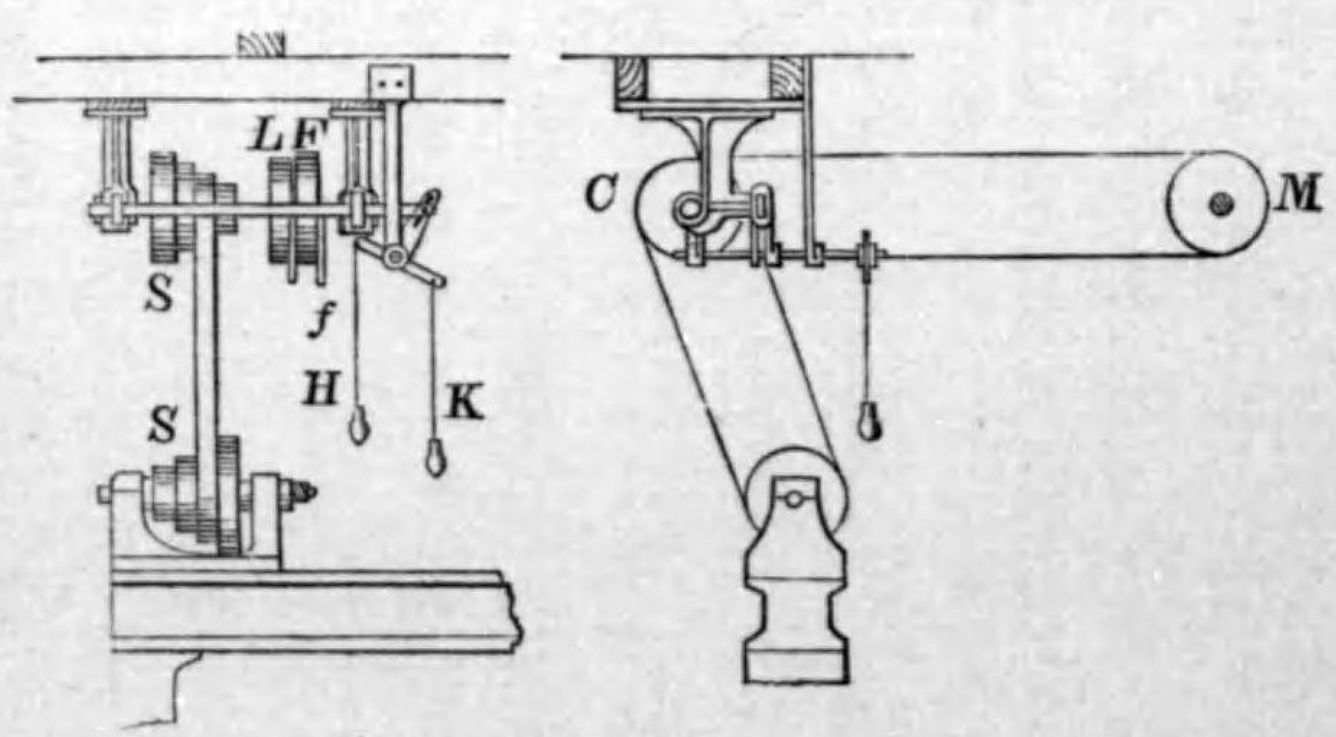
この連鎖は機械の一局部のみならず、工場内でエネルギーの分配に用ゐるから、少し委しく說明しよう。　第九六圖は小い工場の平面圖と縱面圖とである。　蒸汽機關 $e$ は調革で




第九六圖

まづふくぢく(副軸) $mc$ を廻轉し、また調革によつてしゅぢく(主軸) $m$ を廻轉する。　主軸はまた $c$ $c$ の副軸によつていろいろの機械を運轉する。軸はすべて兩端と中間の處處とにあるぢくうけ(軸受)で差えてある。

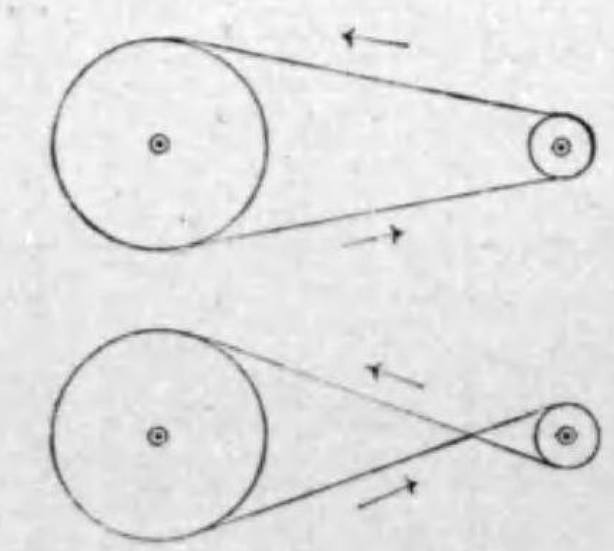
第九七圖で $M$ は主軸 $C$ は副軸である。　調車 $L$ は $C$ の副軸に固定し、$F$ は固定せぬ。　$f$ の股は $M$ $C$ にかかつてゐる調革を挾む。　この圖の位置では、主軸 $M$ の廻轉に關はらず、下の機械は靜止してゐる。　$H$ を引くと、$f$ の股は調革を $L$ に移し、下の機械は動き始める。　同圖の $S$ $S$ は



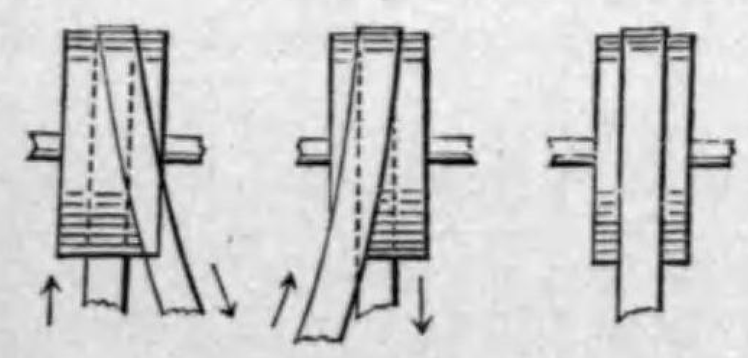

第九七圖

だんぐるま(段車)である。　調革を他の段に移轉すると、いろいろ異つた速さの割合で、下の機械に廻轉を傳へることができる。

調革は第九八圖の様に、なみの(甲)とたすきがけの(乙)と二通りの掛け様がある。　なみのでは二つの調車は同じ方向に廻轉し、たすきがけのでは反對の方向に廻轉する。　調革は調車に入るときには必第九九圖甲の様に直角でなければならぬ。　乙の様に斜になると直に左にはづれる。　しかしその出口は丙の様に斜になつても少しも差支はない。凸の調革で、調革が一方に偏つても直に中央に移るのも同じ理由で説明ができる。



第九八圖



第九九圖

綿絲麻絲または針金をよつた綱は場合によつては調革よりは便利である。　調車の作り方など多少の違ひはあるけれども運動の傳へかたは調革の場合と同様である。　また同じ目的に鎖を用ゐることもある。　自轉車の**ギヤ**は人のよく知る例である。

**問題一。**　毎分九〇廻轉する主軸についてゐる直徑一メートルの調車は主軸から三メートル距つた平行な副軸に附いてゐる直徑三六サンチメートルの調車を運轉する。　(い)調革の速さはいくらか。　(ろ)なみの掛けかたでのその長さはいくらか。　(は)たすきがけのときの長さはいくらか。　(に)また百分の二の滑りがあるとすると副軸の調車の一分時間の廻轉数はいくらか。

答。(い)毎秒四七一・二四サンチメートル。(ろ)八二四サンメートル。(は)八六〇サンチメートル・(に)二四五廻轉。

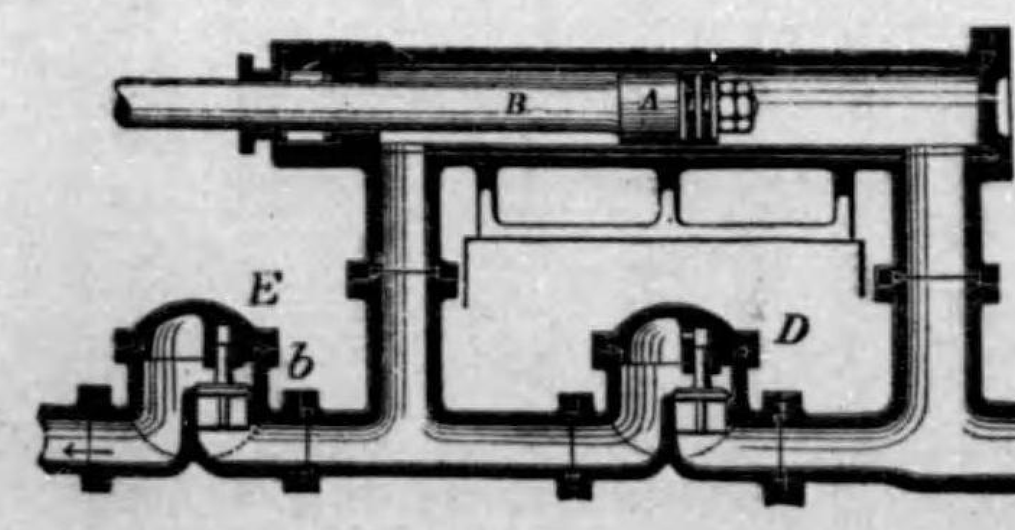
**問題二。**　上下に三つづつプリのあるせみがある。　荷物を三メートルだけ引きあげるには綱をいくら引かなくてはならぬか。

答。一八メートル。

**九一　壓力原素。**　液體は數個の滑り對を結びつける壓力原素として用ゐられる。**五六**の水壓機は壓力原素を用ゐる連鎖の最簡單な例である。兩方のプランヂアの速さはその面積に逆比例する。この類の機械を運轉するには特別なポンプを用ゐ、およそ五〇氣壓位の壓力の水で**貯壓器**と稱する機械のプランヂアを押しあげておき、必要に應じてこの水を用ゐる。

第一〇〇圖はこの目的に用ゐるポンプを示す。

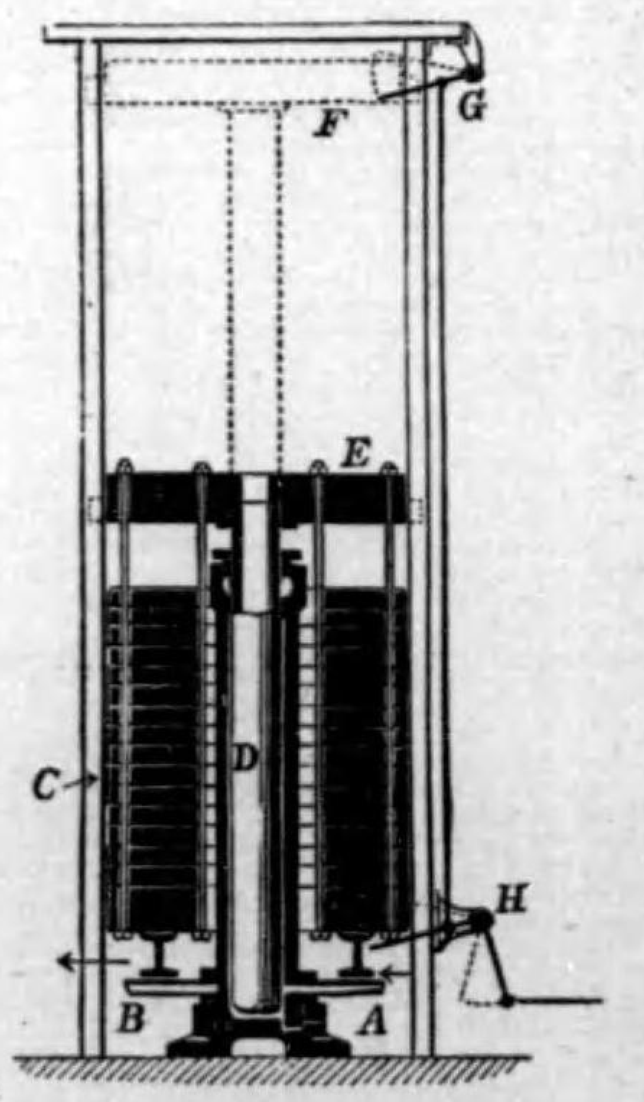
*A*のピストンの面積は*B*の棒の切口の二倍なので、*A*が右に動くときは、シリンドルの中の水はみな*D*の瓣を通るけれども、その半分は*B*にゆき他の半分は*b*の吐き出し管にゆく。



第一〇〇圖

*A*が左に動くときは、吸ひ込み管*d*の中の水は*C*の瓣を通つてシリンドルに入り*B*の水はやはり吐き出し管にゆく。それで吸ひこみはきれぎれであるけれども吐き出しは連續する。

貯壓器は水で重りを押し揚げ位置のエネルギーを蓄へておくものである。第一〇一圖で*AB*の管の中の水には、*D*のプランヂアが壓力を與へる。*D*の頭は*E*の横板でT字形になつてをり、澤山な輪形の重り*C*が長いボルトでこの横板から釣つてある。このプランヂアを*F*に押しあげておくと、必要に應じ水を送り出して仕事をさせることができる。水は蒸汽機關を用ゐ前項のポンプで*A*の管から押し込む。重りが昇りつめると*G* *H*の



第一〇一圖

てこの作用で蒸汽機關の運轉は止まり、降りきると再び動き出す仕掛になつてゐる。 Bの管から送り出す水は次の樣なたまに仕事をする機械の運轉に使用する。

(い) はとばの起重機

(ろ) 汽鑵工場や造船工場のある機械

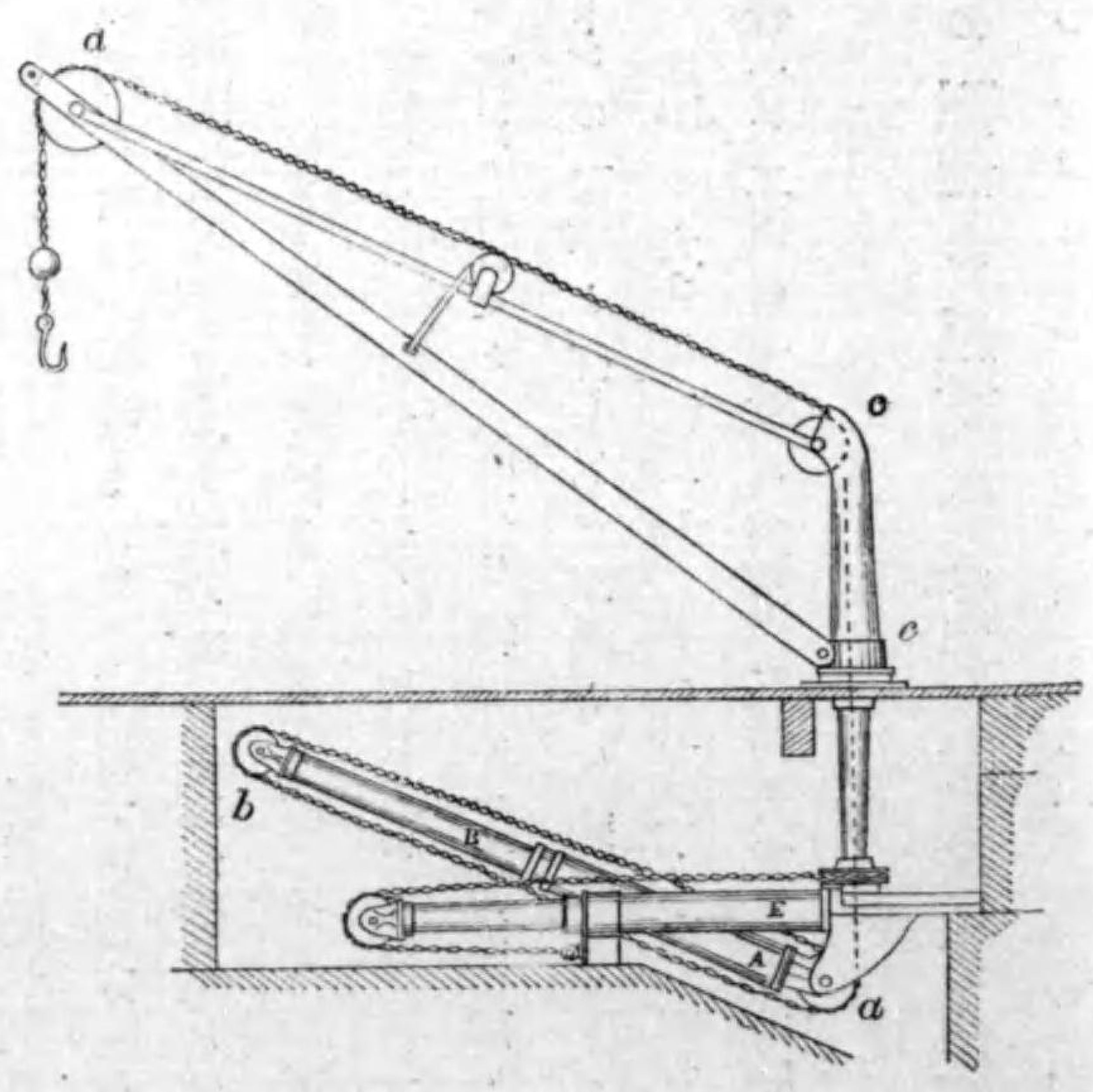
(は) 旅館等の昇降機

(に) 磁石橋の開閉裝置

(ほ) 巨砲の砲架

これらの場合には機械の運轉する時間は僅であるから絶えずポンプを動かしてエネルギーを蓄へてゐる蒸汽機關は比較的小いもので足る。(に)の磁石橋などはこの點で最いちじるしい例である。

**起重機。** 第一〇二圖は二三トン位の荷物を揚げる水壓起重機である。 aとbとにはプリが二つづつ並んでゐる。荷物を釣りあげる鎖の一端はAに固着し順次にb a b a c dのプリにかかつてゐる。 貯壓器から來る高壓力の水がAのシリンドルに入りBのプランヂアを壓しだすと、荷物はBの出た長さの四倍だけあがる。 またEと同樣なシリンドルがAの後にもある。 起重機に固着してゐる水平な車に卷いてある鎖の兩端は、圖の樣に兩方のEのシリンドルに固定してある。 それで、高壓力の水がどちらか一方のシリンドルEに入ると、起重機は左または右に廻轉する。

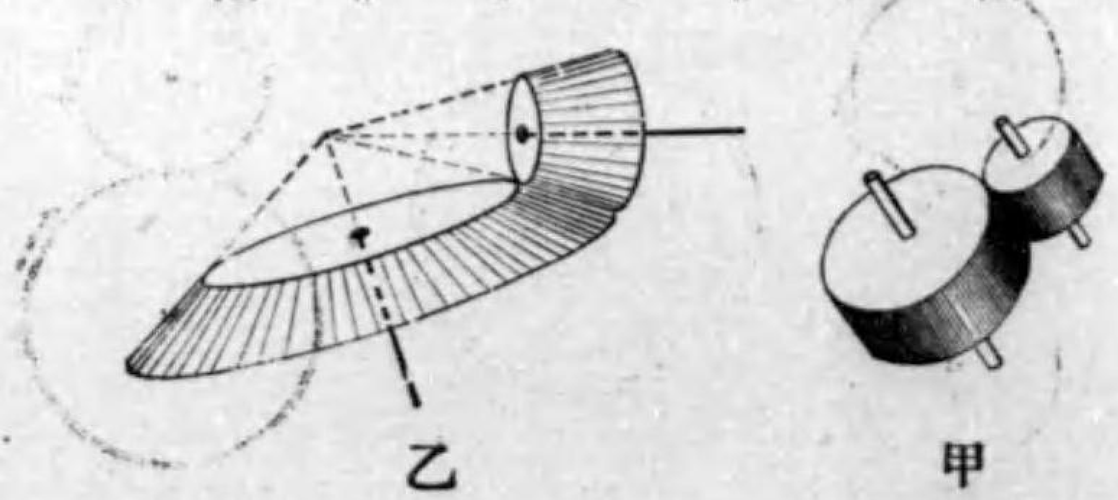



第一〇二圖

世界で最大な起重機はドイツキール軍港のホワルト造船所にあるもので、一五〇トンの重量を一分間一メートルの割合で引き揚げるさうである。

$B$が單一なプランヂアであると、荷物の輕重にかかはらず常に同量の水が要り同量のエネルギーを費やすことになる。この浪費を避けるために、プランヂアの先をピストン形になし革の帽子の樣なものをつけ、プランヂアの切口の面積をシリンドルのおよそ半分にする。帽子の前後兩方の壓力が等しいと、水は帽子の傍を自由に通過するけれども、帽子の前方のみの壓力が高いと、帽子は周圍に押しだしてプランヂアは完全なピストンとなる。プランヂアの傍にある外氣に通ずるカランを閉ぢて用ゐると、水の壓力は帽子の前後ともに高く、消費する水量はプランヂアの押しだした部分の立積だけである。このカランを開いて用ゐると、壓力は帽子の前方だけ高くなり、消費する水量もピストンの面積と押しだした距離との乘積だけとなる。これらの二つの場合での仕事の大さは消費した水の立積とその壓力との乘積だから、後の場合では二倍の水量を用ゐて二倍の重さの荷物を揚げることができる。

**九二　歯車　ギヤ。**　二つの剛體の原素が、なみの對の樣に絶えず同じ面で接觸してゐることのできぬときは、原素は線または點で觸れ、その觸れる處は絶えず變はる。この場合では面の形はなみの對の樣にきまつてはならぬ。たとへば二つの調車の外面を單に觸れさせたのもこの種の高等の對である。第一〇三圖甲はこれらの軸が平行な場合、乙は切りあふ場合である。その面が互に滑らぬ樣に適當な壓力で補つてあると、軸の角速度はその平行な場合では調車の半徑に逆比例し、切りあふ場合では圓錐形の車の頂角に逆比例する。これらの對を**摩擦ギヤ**といふ。

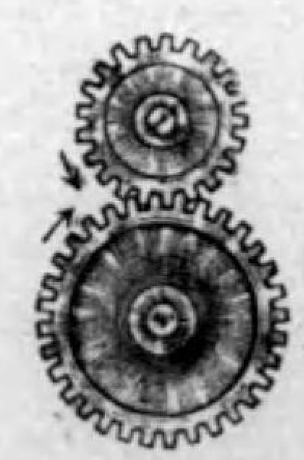


第一〇三圖

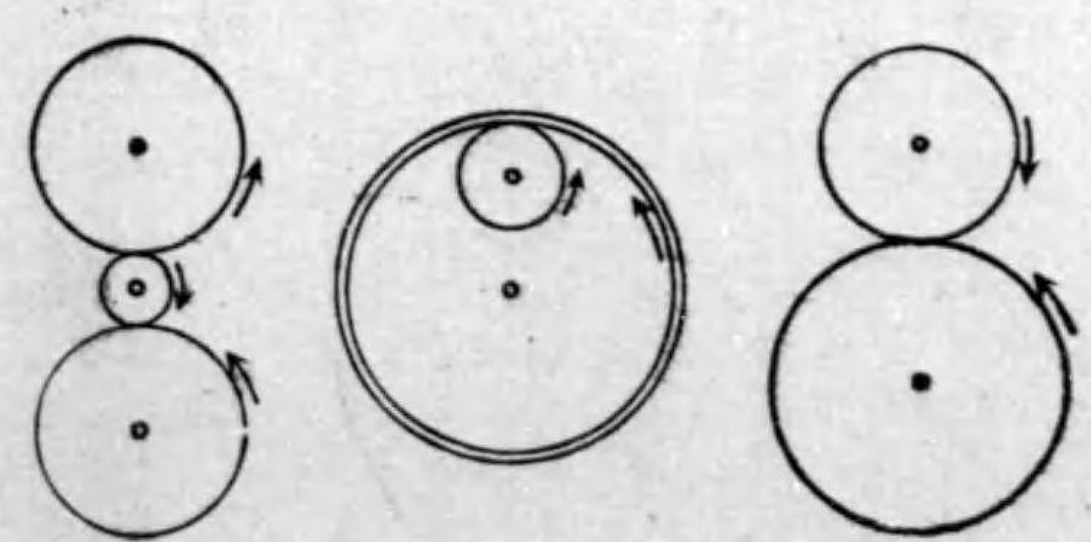
大いエネルギーを傳へる場合または精密な速さの比を要する場合には、車が互に滑らぬためにその外面に歯をつける（第一〇四圖）。この歯が互によく喰ひあつてゐると、一つの**はぐるま**は他の歯車を少し

も滑らぬ樣に押し廻はす。 齒と齒の押しあふ線はおよそその中程で、摩擦ぎやの車の接觸の線に相當する。互に喰ひあふ齒の大さは等しくなければならぬから、二つの齒車の齒の數は、その周圍に比例し、また半徑に比例する。 軸が平行な場合にはこの對を**齒車ギヤ**といひ切りあつてゐるときは**すりばちギヤ**といふ。

二つの齒車が外面で接してゐるときは(第一〇五圖甲)これらの齒車は反對の方向に廻轉し、一つの齒車が他の齒車の內側にあるとき(乙)、または二つの齒車が他の齒車を中間に挾んでゐるときは(丙)、これらの



第一〇四圖

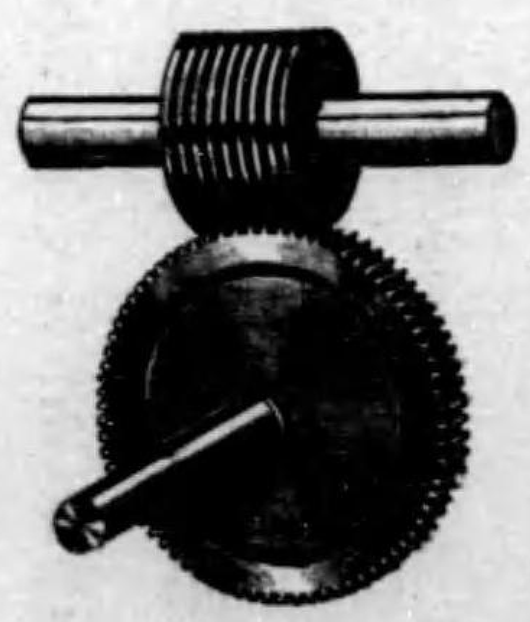




第一〇五圖

齒車は同じ方向に廻轉する。

軸が平行でもなく切りあひもせぬときは、なほ他の種類のギヤを用ゐる。 その中で最多く用ゐるのは軸が直角で、一方の速い廻轉を遲い廻轉に傳へるのである。 第一〇六圖の樣に一つのねぢとその軸の同じ平面の齒車とを喰ひあはせると、ねぢの速い廻轉は、それと直角な軸のまはりに廻る齒車の遲い廻轉に傳はる。



第一〇六圖

**問題一。** 一二〇サンチメートル距つてゐる二本の軸の間に齒車で運動を傳へるに、廻轉の速さを四と一との割合にし、齒の幅をおよそ二・五サンチメートルとするには、兩輪の齒の數はいくらにすべきか。

答。 三〇と一二〇。

**問題二。** 六〇度の角で切りあつてゐる二本の軸をすりばちギヤで接續しその廻轉の速さを三と一との割合にするには、二つの車の圓錐形の

頂角はいくらにすべきか。

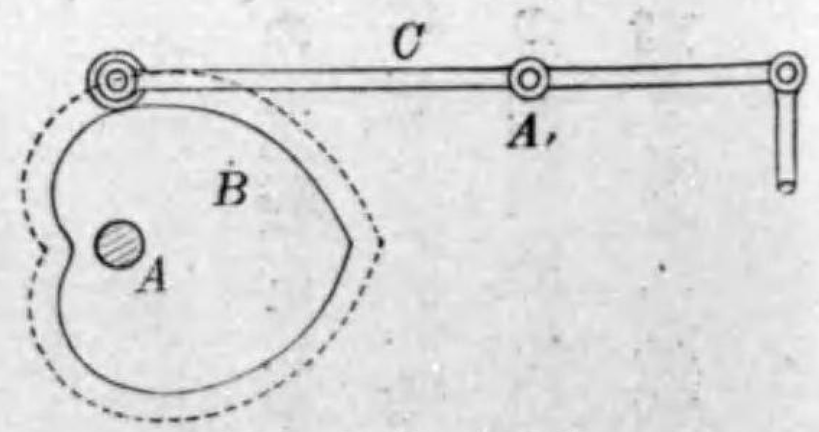
答。三〇度と九〇度。

**九三　附加の部分。**　原素の動きかたには關係なく、ただ對の間の摩擦を減ずるために接觸すべき面の間に廻轉する物體を用ゐることがある。　重いものを滑らせるにころを用ゐるのや、自轉車の軸のまはりに鋼鐵の小い球が並べてあるのはこの例である。　車輛はみな地の上を滑る運動だけが必要であるから、その車輪はただ摩擦を減ずるためである。　これらは運動學的連鎖には關係はないので**附加の部分**といふ。　歯車で平行な軸の間に廻轉を傳へるに、その速さの比があまり大いと、車の半徑の比も大くなつて不便であるから歯車を數回重ねて用ゐることもある。　時計仕掛の歯車はその例である。　連鎖としてはこの多數の歯車は必要がないからこれも附加の部分の一例である。

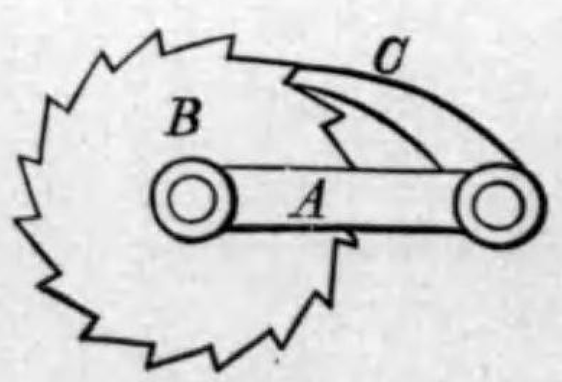


**九四　カムとラチェット。**　カムは廻轉から隨意な往復運動を起こすに用ゐる對である。　第一〇七圖の連鎖で$B$と$C$との原素はそれぞれ$A$ $A_1$の軸のまはりに廻轉し、$C$の左端には小い車（附加の部分）がある。　この車は始終$B$に接してゐる。　棒の重さが補つてゐるので、$B$の形を適當にすると、その廻轉に從つて$C$の兩端は隨意な往復運動をする。

カムの$B$と$C$との面を第一〇八圖の樣にすると、一種のラチェットができる、**四一**に説明した時計のアンクル$mn$と歯車$R$との對はその應用である。




第一〇七圖




第一〇八圖

**九五　連鎖の類別と組立。**　以上に説明した樣に簡單な連鎖

はいろいろあるけれども、大別すると左の六種となる。各の種類の中で主なものをその名としてある。

(い)クランク連鎖
(ろ)ねぢ連鎖
(は)プリ連鎖
(に)齒車連鎖
(ほ)カム連鎖
(へ)ラチェット連鎖

まはり對すべり對ねぢ對から成立つあらゆる連鎖は始めの二種に屬し、張力または壓力原素をふくむ連鎖はみな第三種に屬し、一樣な運動の傳はる連鎖はみな第四種に屬する。前の四種で起こすことのできぬ樣な不同な運動には第五種と第六種との連鎖を用ゐる。

機械はみなこれらの連鎖をいろいろに組みたててできてをる。大な鐵材などを平らに削るに用ゐるシカルパンといふ機械では、一つの連鎖はこの鐵材などをとりつけた平面板に水平な往復運動を與へ、第二の連鎖はかんなに上下の運動を與へ、第三の連鎖はこれに橫の運動を與へる。また一つの對がいくつもの連鎖に共通なこともある。一つの主軸で多數の機械を運轉する場合には、軸受と軸とのまはり對はそれら多數の連鎖に共通である。

**九六 原動原素と仕事原素。原動對と仕事對。** 機械の二つの原素の間に、形を變へる原素たとへば人蒸汽ぜんまいなどがあつて、これらの間を押し擴げあるひは引きしめると、連鎖は全體に動き、他の二つの原素の間にあるものにまた形の變はりを與へることができる。前の形を變へるものはエネルギーの源で、これを原動原素といひ、後の分は仕事を受けるものでこれを仕事原素といふ。また

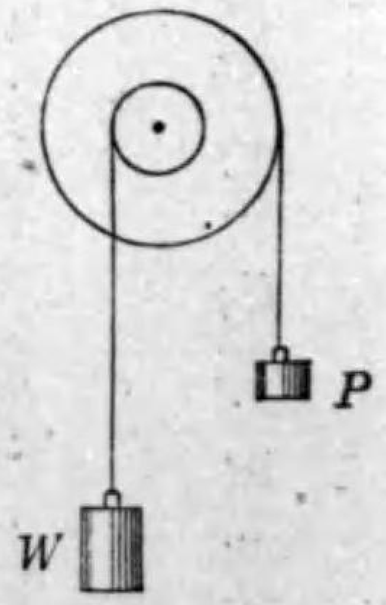
始めの一對の原素によつて機械を運轉するのだから、これを原動對といひ、後の對では所要の仕事をするから、これを仕事對といふ。

機械の內部に摩擦などがなく、その部分の速さ高さ等の變はりもなく、內部にエネルギーの增減のないものとすると、原動原素が機械にする仕事は、仕事原素のする仕事と丁度等しくなければならぬ。そのために原動原素が$f$ダインの力で毎秒$c$サンチメートルだけ伸縮し、仕事原素が$f'$ダインの力で毎秒$c'$サンチメートルだけ伸縮すると、

$$fc = f'c' \quad \therefore \quad \frac{c}{c'} = \frac{f'}{f}$$

で、$f$ $f'$は$c$ $c'$に逆比例する。それだから、機械の原動對と仕事對との速さの比が知れてをると、そこに働く力の割合も知れる。

第一〇九圖のろくろで、$P$を引きさげて$W$をあげる場合に、地〃面はろくろの心棒と共に一つの原素で、これと$P$との對が原〃動對で地面と$W$とが仕事對である。　また、地面と$P$との間になつて$P$を引く人が原動原素で、地面から引きはなされる重り$W$は仕事原素である。　原動對の速さを毎秒



第一〇九圖

$c_1$サンチメートルとし、その間の力を$P$ダインとし、仕事對の速さと力とをそれぞれ毎秒$c_2$サンチメートル$W$ダインとすると、兩方の仕事は毎秒$c_1P$ $c_2W$エルグで機械の內部に摩擦もなくエネルギーの增減もなければ、

$$c_1P = c_2W \quad \therefore \quad \frac{c_1}{c_2} = \frac{W}{P}$$

で、これらの對の速さはその力に逆比例する

前例の樣に簡單な場合にはエネルギーの原則によらずとも右の關係は手易く知れる。　大小の車の半徑をそれぞれ$a$ $b$サンチメートルとすると、能率の理により

$$Pa = Wb \quad \therefore \quad \frac{a}{b} = \frac{W}{P}$$

である。　またろくろの角速度を毎秒 $\omega$ ラヂアンとすると

$$c_1 = a\omega \qquad c_2 = b\omega$$

で

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{a}{b} = \frac{W}{P}$$

となる。

蒸汽機關の場合ではピストンと汽鑵（ハラムテ）との間にある蒸汽の膨脹によつて運動が始まるのだから、蒸汽が原動原素である。　クランクピンは相當の抵抗のある車を廻轉するから、この車は仕事を受ける原素である。　ピストンとクランクピンとの速さの割合は絶えず變はり、從つてその力の割合も變はるけれども、この様な機械の運動は絶えず繰りかへすのだから、平均ではやはり前と同様な關係がある。

大な仕事をすることを目的としてゐない機械では内部に費えるエネルギーが原動原素の與へるエネルギーの大部分であることもある。　その

ときには右の關係のあたらぬのは勿論である。

**問題一、** 蒸汽ポンプや龍吐水やダライバンの原動原素　原動對　仕事原素　仕事對は何か。

**問題二。** あゆみ〇、五サンチメートルのねぢ壓搾器で、五〇サンチメートルのうでの兩端に一〇キログラムづつの力を加へるといくらの壓力が起こるか。

答。　六二八三キログラム。

**問題三。** 九一に説明した起重機のシリンドル $A$ の内徑を二〇サンチメートルとし、これに用ゐる水壓を五〇氣壓とすると、いくらまでの荷を揚げることができるか。

答。　およそ四トン

**九七　效率。**　機械はその目的通りの有用な仕事と同時に、機械の種種の部分に避けることのできぬ摩擦力等に對しても仕事をしなければならぬ。　この摩擦力等に對する仕事の結果は大てい熱になつてそのエネルギーは無益に費える。　有用な仕事とこの仕事のために

イギリスやアメリカの馬力は毎分三三、〇〇〇フートポンドで、メートル法の馬力の一・〇一四倍ほどに相當する。

機械に供給するエネルギーの全量との比を、この機械のこーりつ（效率）といふ。效率はいつでも一より小い數で、よい機械ほど一に近い。

**九八　動力。**　機械などの仕事のはかどる度合をそのどーりょく（動力）といふ。動力は單位の時間にできる仕事の量で計る。CGS法の單位は**毎秒一エルグ**である。實業上ではばりき（馬力）といふ引力單位を用ゐる。メートル法の馬力は毎秒七五キログラムメートルの動力である。また電氣の機械では毎秒一ヂアウル即一〇$^{7}$エルグの動力を單位とし、これを**ワット**といふ。

**勞働者や牛馬やの動力。**　人や動物やの平均の動力はその物體を動かす速さと力と一日中に働くことのできる時間とによる。一日の仕事の全量が最大くあるには、これらの三つの量にそれぞれきまつた價がある。この價より殖えても減つても仕事の全量は減ずる。この減ずる具合はいろいろの條件によるので、これを正確にきめることは困難であるけれども、およそ左の式に從ふ樣である。



下の表と次の表とはイギリスとフランスとでした實驗によるから、人や馬や牛やみな日本のよりは體格のよいものである。

最大な仕事に相當する速さと力と時間とをそれぞれ毎秒 $c_1$ メートル $f_1$ キログラム $t_1$ 秒とし、これらの量の他の價をそれぞれ $c$ $f$ $t$ とすると、

$$\frac{c}{c_1}+\frac{f}{f_1}+\frac{t}{t_1}=3$$

である。$f_1$ $c_1$ $t_1$ のおよその價を左の表に示す。

| | 自己の體量（キログラム） | $f_1$（キログラム） | $c_1$（毎秒メートル） | 三六〇〇分の $t_1$（時） | $f_1c_1$（毎秒キログラムメートル） | $f_1c_1t_1$（毎日キログラムメートル） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 人 | 七五 | 一五 | 〇・八 | 八 | 一二 | 三四五、六〇〇 |
| 馬 | 三〇〇 | 六〇 | 一・二五 | 八 | 七五 | 二、一六〇、〇〇〇 |
| 牛 | 三〇〇 | 六〇 | 〇・八 | 八 | 四八 | 一、三八二、四〇〇 |
| 驢馬 | 一八〇 | 三六 | 〇・八 | 八 | 二八・八 | 八二九、四四〇 |
| 騾 | 二五〇 | 五〇 | 一・一 | 八 | 五五 | 一、五八四、〇〇〇 |

次の表は人や馬やの動力は仕事の種類によつて非常にちがふことを

示す。

| 人が | $f$ (キログラム) | $c$ (毎秒メートル) | 三六〇〇分の $t$ (時) | $fc$ (毎秒キログラムメートル) | $fct$ (毎日キログラムメートル) |
|---|---|---|---|---|---|
| 梯子を昇つて自身の體量を擧げる。 | 七一 | 〇・一七 | 八 | 一二・一 | 三四八,〇〇〇 |
| 米を擣く(水車を蹈むのもおなじ) | 二〇 | 〇・二五 | 六 | 五 | 一〇八,〇〇〇 |
| 綱で荷を引きあげる。 | | | | | |
| 手で重りをあげる。 | 二二 | 〇・一八 | 六 | 四 | 八六,〇〇〇 |
| 荷を負ふて梯子を昇る。 | 七一 | 〇・〇四 | 六 | 二・八 | 六〇,〇〇〇 |
| 鋤で土を五尺二寸の高處にあげる。 | 三 | 〇・〇四三 | 一〇 | 一・三 | 四七,〇〇〇 |
| 單輪車を用ゐ一二分の一の勾配の坂を、毎秒三〇サンチメートルの速さで、土を運び空車で戻る。 | 六六 | 〇・〇二五 | 一〇 | 一・六 | 五八,〇〇〇 |
| 櫂やまいたまいたを水平に引いたり押したりする。 | 一三 | 〇・六七 | 八 | 八・七 | 二五一,〇〇〇 |
| 車輪を取手で廻轉する。 | 六・三 | 一・七 | 八 | 一〇・七 | 二〇七,〇〇〇 |
| | 九 | 〇・八 | 八 | 七・二 | |
| | 一〇 | 四・八 | 二分 | 四八 | |
| ポンプを運轉する。 | 六・六 | 〇・八 | 一〇 | 五・三 | 一九一,〇〇〇 |

| 馬が | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 速歩で鐵道馬車をひく。 | 一五 | 四・九 | 四 | 七三・五 | 一,〇五八,〇〇〇 |
| 並歩で荷馬車をひく。 | 六〇 | 一・二 | 八 | 七二 | 二,〇七四,〇〇〇 |

**問題。**　二頭の馬で引いてゐつた鐵道馬車に、機械的の動力を用ゐると、一〇馬力以上のものを附けなければならぬのはなぜか。

答。　馬は出發その他必要な場合には平均よりはるかに大い力を出すことが出來るから機械の動力(卽その最大限)をこの必要に應ずる樣にしておかなければならぬ。

**船用機關の動力。**　物體を一樣な速さ毎秒 $c$ サンチメートルで進めるに要する力が $f$ ダインなら、その動力は毎秒 $fc$ エルグである。また、物體を一樣な速さで進めるには、丁度その抵抗力だけの力がいる。船舶が一樣な速さで進むときに受ける抵抗力は、その水に浸つてゐる船腹の橫斷面積($s$ 平方メートル)に比例しその速さ($c$ ノット)の二乘に比例する。また橫斷面積 $s$ は大概排水トン數 $D$ の三分の二乘に比例する。それだから、船用

相似形の立體の面積はその立積の三分の二乘に比例する。

機關の動力$HP$馬力と船の速さ$c$ノットとの關係はおよそ

$$HP = \frac{1}{65}sc^3 \quad \therefore \quad HP = \frac{1}{200}D^{\frac{2}{3}}c^3$$

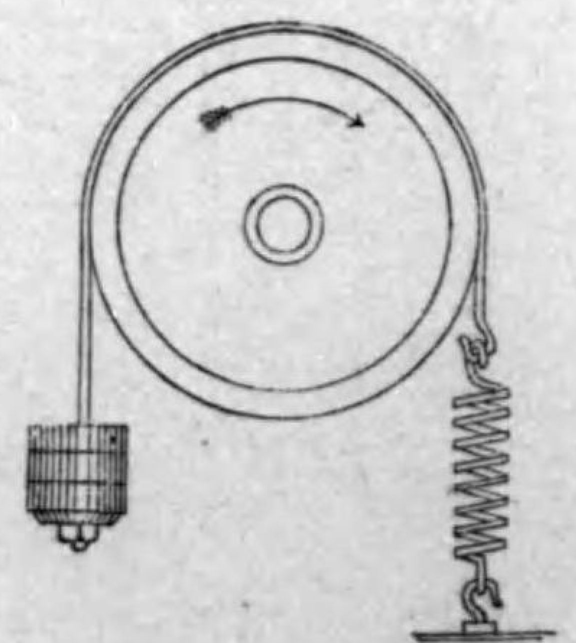
である。おなじ排水量の船で、速さを二倍にするにはその機關の動力をおよそ八倍にしなければならぬ。近世のいろいろの種類の軍艦の機關の馬力數とその排水トン數との比はおよそ次の樣である。

| | | | |
|---|---|---|---|
| 一等戰闘艦 | 一・二—一・三 | 二等巡洋艦 | 二・二—二・四 |
| 裝甲巡洋艦 | 一・三—二・一 | 水雷砲艦 | 四・七—六・〇 |
| 一等巡洋艦 | 一・九—二・三 | 驅逐艦 | 一七・〇—二〇・〇 |

右はただ大體の標準である。彼の樺太のコルサコフで日本の海軍のために打ち沈められたロシアの小巡洋艦ノーヴックは排水量はわづかに三〇八〇トンだのに機關の動力は一八、〇〇〇馬力で試運轉では二六ノットの速さを有した。

## 九九　動力計。

機械の傳へる動力を計る器械をどーりょくけい（動力計）といふ。第一一〇圖はその一種で**吸收動力計**といふものである。軸に附いてゐる調車の上に帶をかけ、その一方をぜんまい秤で止め、他方には重りをかける。この重りが釣りあつてゐるときには、軸の動力はみな摩擦で吸收してしまふ。

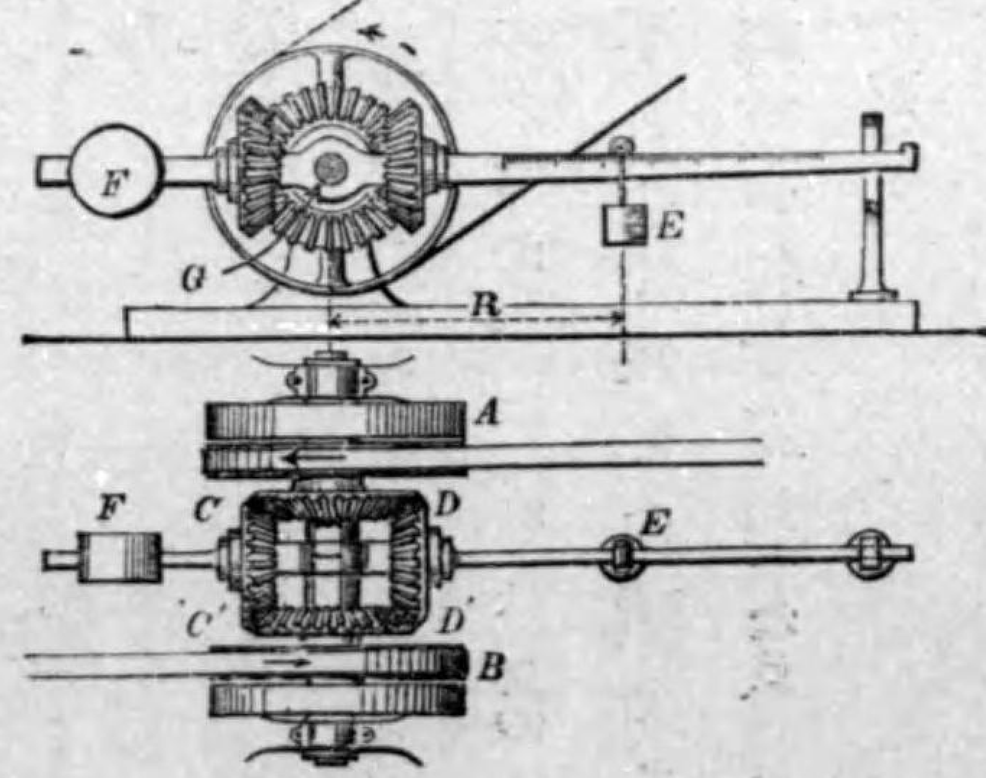


第一一〇圖

この摩擦力は重りの重さとぜんまい秤の力との差である。これを$f$ダインとし、調車の半徑を$r$サンチメートルとし、軸の廻轉數を毎秒$n$回とすると、ここに吸收する動力は毎秒$2\pi nrf$エルグである。$rf$はこの摩擦力の能率だから、動力はまたこの能率と角速度との積である。また力が$F$キログラムで半徑が$R$メートル廻轉數が毎分$N$回なら、動力は毎分$2\pi NRF$キログラムメートル即$\frac{2\pi NRF}{75 \times 60}$馬力である。

**傳達動力計**ではその一方から他方に動力を傳へながらこれを計

ることができる。　第一一一圖で$A$の軸と$B$の軸とは別別で二重のすりばちギヤ$CD$ $C'D'$が廻轉を傳へる。$A$が矢の方向に廻轉するとき、$EF$を自由に廻轉させると、$B$は止まつてをる。$E$に重りをかけ、$EF$が丁度水平に釣り合つてをる様にすると、$B$は$A$と等しい速さで反對の方向に廻轉する。この場合では能率と對稱との理によりギヤの四つの接觸點での力はみな互に等しい。　まづ$EF$の棒を軸の心のまはりに廻さうとする力の能率を考へる。　$D$ $D'$で上向に働く力と$C$ $C'$で下むきに働く力とはみな$f$キログラムで、軸の心からこれらの力の作用點までの距離は$l$メートルであるとし、$E$の



第一一一圖

重さは$F$キログラム、軸から$E$までの距離は$R$メートルとすると、棒の釣合から

$$4fl = FR$$

である。　$A$の棒の$EF$に及ぼす能率は$2fl$卽$\frac{FR}{2}$だから、$A$の軸の廻轉數を毎分$N$回とすると、$A$が$EF$を經て$B$に送る動力は毎分$\pi NFR$キログラムメートル卽$\frac{\pi NFR}{75 \times 60}$馬力である。

**一〇〇　機械の分類。**　機械は大がい發動機械　中間機械　仕事機械の三種に大別ができる。

**發動機械**は單に**發動機**ともいつて、機械の一部分でない物體にあるエネルギー卽機械的でないエネルギーを、機械のエネルギーにするものである。　その主な種類を次に示す。

(い) 人または牛馬などの動物。　これは嚴格にいふと機械ではないけれども、仕事をする目的からいふと他の發動機と少しもかはらぬので

通常發動機の一種とする習慣になつてゐる。

(ろ)水の位置または運動のエネルギーをとるもの。たとへば各種の水車タービン水壓機關等で、その主なものは次節以下に説明する。

(は)空氣の位置または運動のエネルギーをとるもの。たとへば風車壓縮空氣機關等である。合衆國の農家などでは、大に風車を用ゐるけれども、日本では暴風の多いためにあまり用ゐぬ。壓縮空氣機關は魚形水雷の發動機に用ゐる。トンネルや鑛山の開穿などにも利用する。

(に)熱のエネルギーをとるもの。蒸汽機關蒸汽タービンガス機關石油機關等でその主なものは第四篇第一一章に説明する。

(ほ)電流のエネルギーをとるもの。これは第六篇の第一六章に説明する。

**仕事機械**は直接に有用な仕事をする機械である。起重機ポンプダライバンシカルバン紡績機械印刷械機などあらゆる仕事をする機械はみなこの種に屬する。

**中間機械**は發動機のエネルギーを適當な形にして仕事機械に中つぎするものである。調車のかかつた主軸副軸などその例である。

右の三種の二つあるひは三つを兼てなる機械もある。蒸汽機關で、蒸汽の熱のエネルギーでピストンの往復運動を起こすのは發動機の役であるけれども、この往復運動をはづみ車の廻轉運動にするのは中間機械の役である。それだから、蒸汽機關は發動機と中間機械とを兼ねたものである。またドンキーポンプと稱する蒸汽で運轉するポンプや、電氣扇などは機械的でないエネルギーを用ゐて直接に有用な仕事をする機械だから、發動機と仕事機械とを兼ねたものである。

**一〇一　水車。**　すいしゃ(水車)またはみづぐるまには、主に水の上位置のエネルギーを用ゐるのと、運動のエネルギーを用ゐるのとがある。

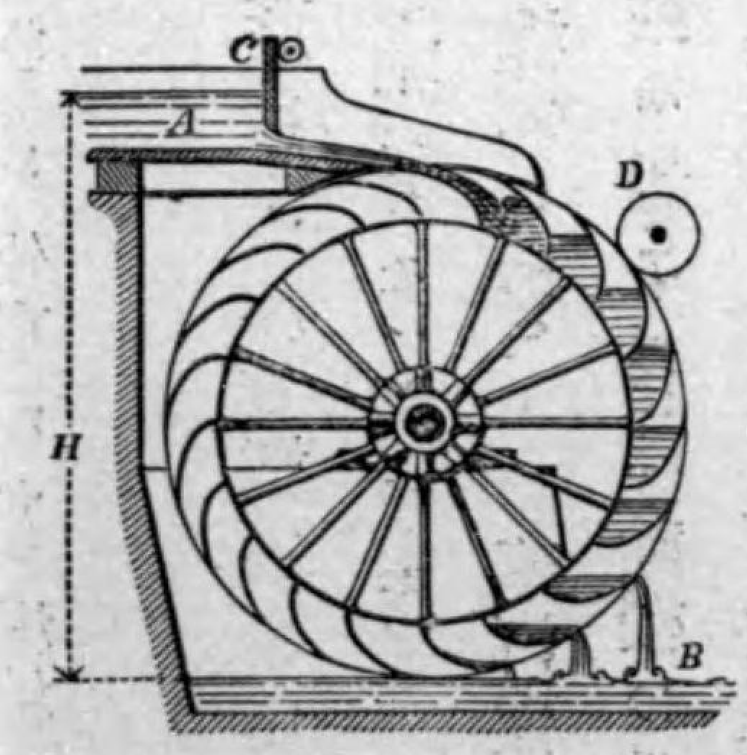
毎秒流下する水量$v$を立方尺で計り、落差$H$を尺で計ると、一立方尺の水はおよそ二八キログラムだから、動力はおよそ

$$\frac{28v\times 0.30H}{75}=0.112vH$$

馬力である。

下水面の差卽落差を$H$サンチメートルとし、流下する水量を毎秒$v$立方サンチメートルとすると、水の密度は毎立方サンチメートル一グラムだから、その動力は毎秒$vH$グラムサンチメートル卽$\frac{vH}{75\times 10^5}$馬力である。しかし、實際の機械では摩擦や水の渦などのためにそれだけの機械的エネルギーを得るわけにはゆかぬ。　水車の效率を$e$とすると水車の實際の動力はこれに$e$を乘じたものである。

**上に水を受ける水車**（第一一二圖）は三メートルから二〇メートルまでの落差で毎秒〇・一立方メートルから一立方メートル位の水量のある處に用ゐる。$C$の板で水量を加減する。　水車の緣と齒で喰ひ合つてゐる$D$の車から動力をとる。　效率$e$はおよそ〇・七五位である。



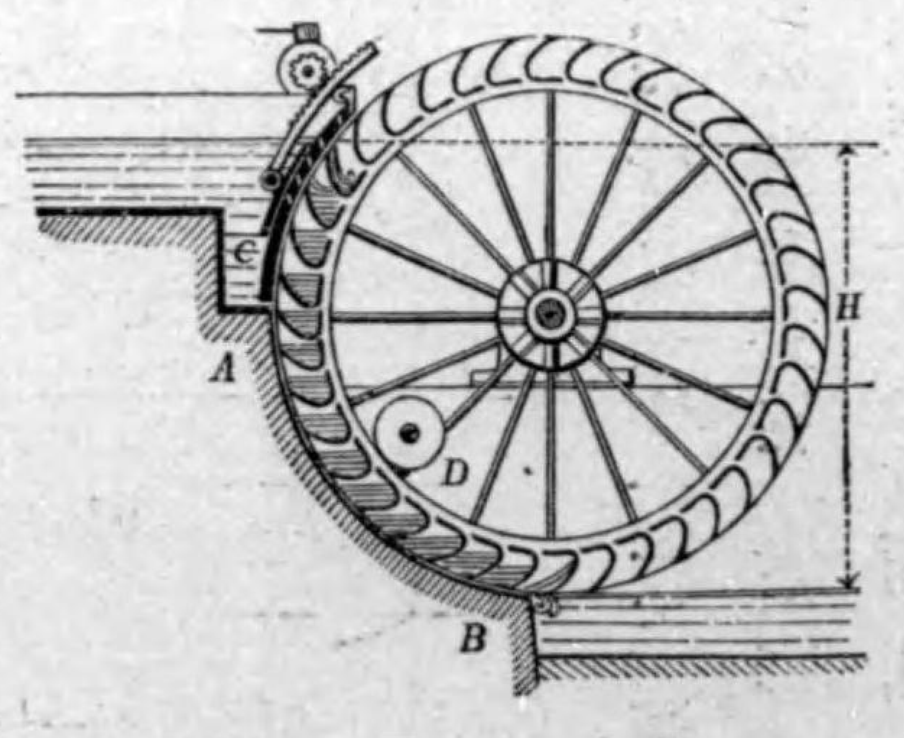
第一一二圖

**胴に水を受ける水車**（第一一三圖）は車の外側と$AB$との間のすき間が極小いと水は$B$に達するまで車に載つてゐるから、エネルギーの損失は極少い。　ここでも$C$ $D$の意義は前の通りである。

各のみづうけ（水受）は車の內側に開いて空氣の出入を自由にする。

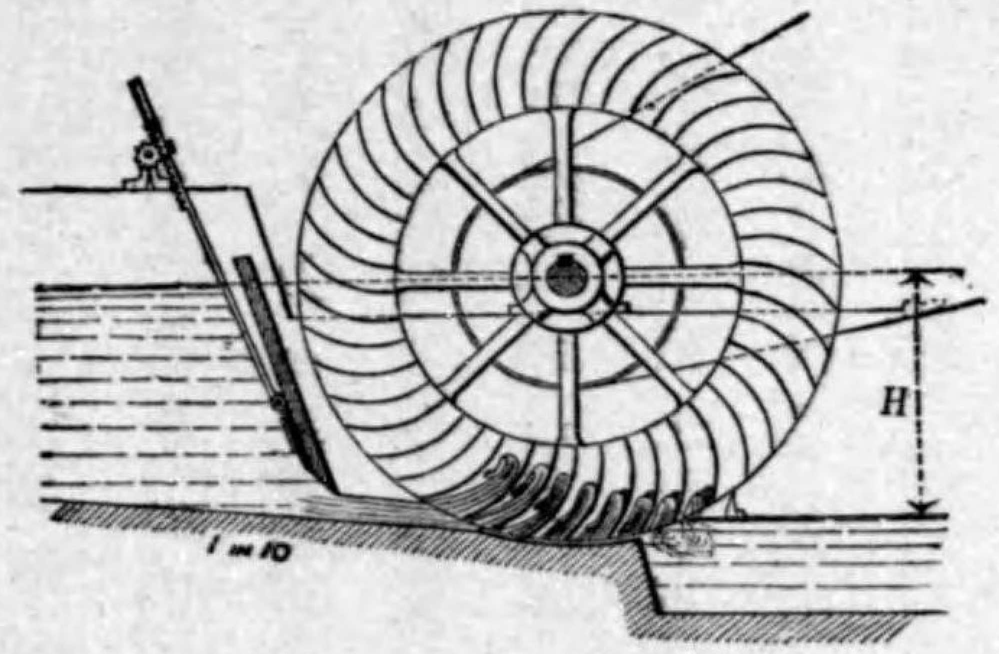
右二類の水車では主に水の重さを用ゐてゐる。

**下に水を受ける水車**では水受け卽はねの形が大事である。第一一四圖の樣にして、車の周圍の速さが流れ出る水の速さのおよそ〇・五五である樣にすると、效率$e$は〇・六六位になる。これは落差$H$が一メートル以下の時に適當である。　車の直徑

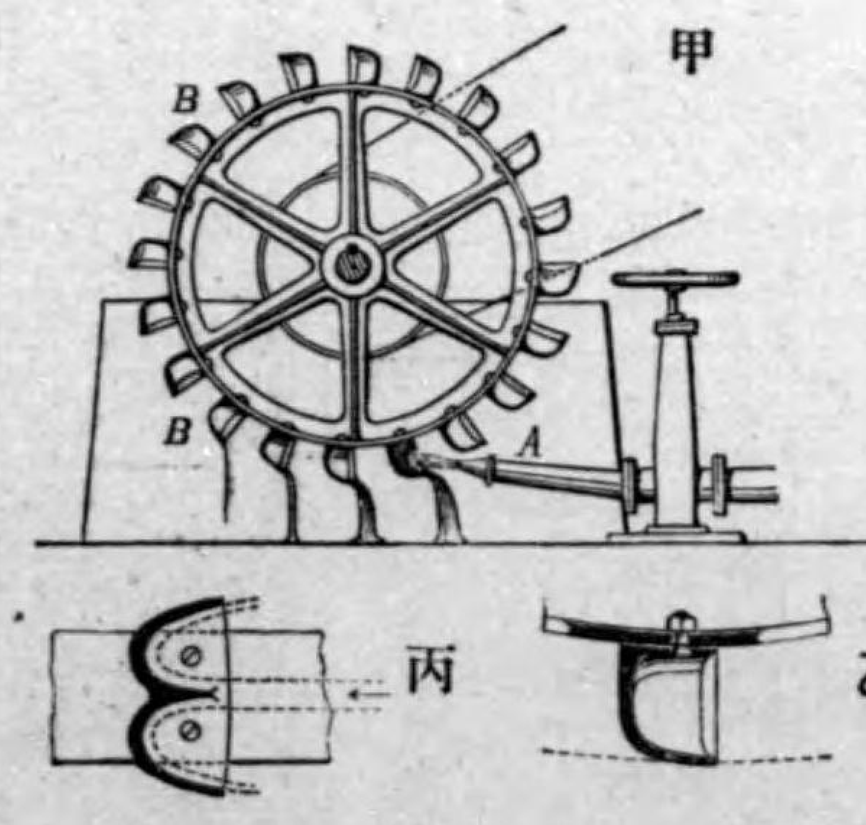


第一一三圖

はHの四倍位でもよろしい。　この水車は水の運動のエネルギーを利用する。




第一一四圖

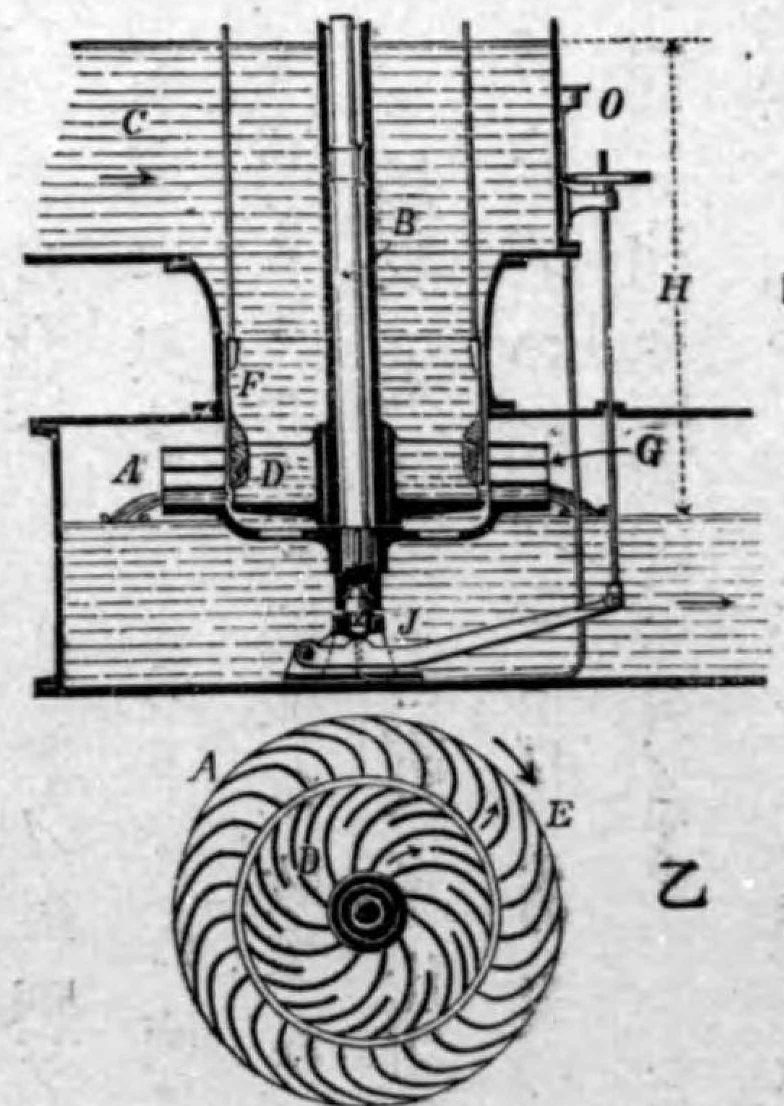



甲　乙　丙

第一一五圖

**一〇二　ペルトン水車。**　高い處から導いた管A（第一一五圖）から出る細い噴水は、車の周圍にある二つの椀を幷べた樣な形の水受Bに、順次に當る。　この水受けの形はなほ乙丙の斷面圖で分明になる。　噴水はこの水受けに當ると、丙圖の樣に二分して兩方に戻るので、格別な衝突はなく、從つてエネルギーの損失はない。　たとへば一六〇メートルの高さから導いた直徑五サンチメートルの噴水で一八〇馬力の動力が得られる。　效率はおよそ〇・八である。

**一〇三　壓力タービン。**　フールネーロンのタービン（第一一六圖）では、Aの車はBの軸と共に廻轉する。　Cから流れる水は、先づD（甲乙兩圖）に入つて、その渦形の導板のために、その周圍から殆ど切線の方向に流れ出る。　この水がAの車にはいると、また其の導板を壓すために、車は矢の方向に廻轉し、水はほとんど全くその圓

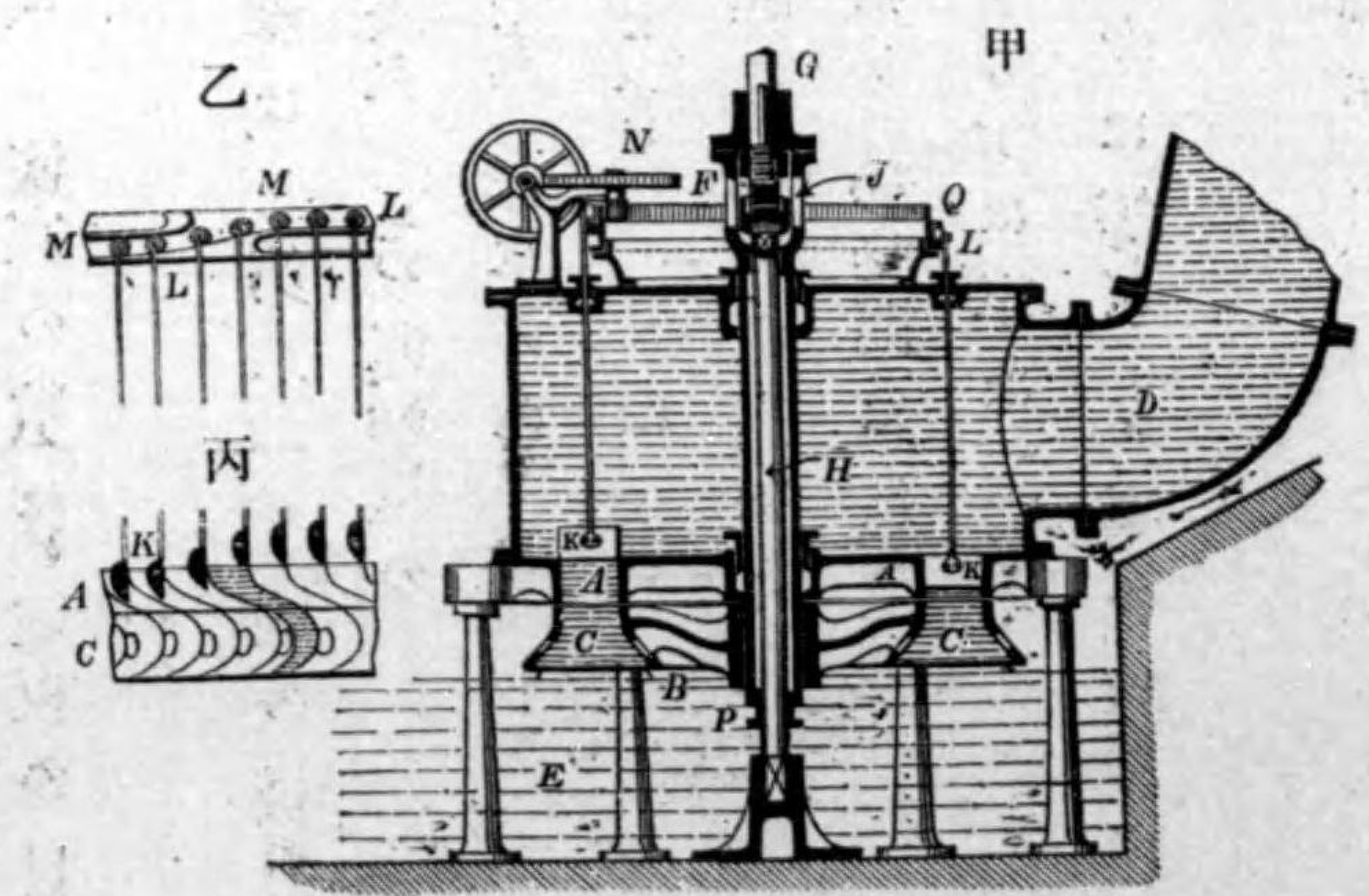



甲　乙

第一一六圖

周的の動きかたを失つて半徑の方向に流れ出る。　水が$A$を壓す間に、そのエネルギーのおよそ七八割を車に與へる。　このタービンの速さを加減するに$C$から流れ込む水量を減ずると非常に機械の效率を損するので、$A$の車は水平の板で幾段にも(圖では三段に)仕切つてある。　多量の動力の要らぬときには$F$の圓筒を下げてその幾段かを用ゐる。　$J$の軸受には細い管で油を送る樣になつてゐる。　しかし、新式の機械ではこの水中の軸受は用ゐぬ。　このタービンでは、水の運動のエネルギーも幾分か仕事をするが主に水の壓力が仕事をするのでこの類のタービンを**壓力タービン**または**反動タービン**といふ。壓力タービンでは車の中にはいつも水が充滿してをり、從つてタービンは全く水中にあるのが多い。

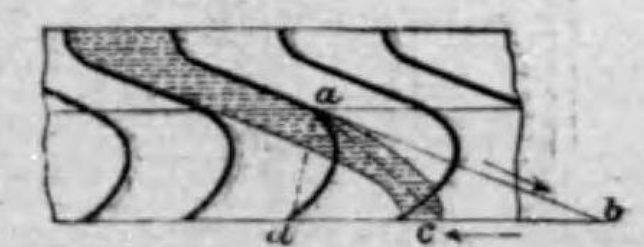
**一〇四　直働タービン。**　ジラールのタービン(第一一七圖)では$CC$の車は中空な軸$FP$に固着し、$FP$はまたその上端で$G$の軸に固着してゐる。　この全體は固定の心棒$H$の上の軸受$J$に載つてゐる。　$CC$の車は下方に擴がつて横穴から空氣も入るので、水は決してこれに充滿せぬからその壓力は常に空氣の壓力である。　$D$から來る水は$AA$の導板を通つて殆ど横むきの動きかたで$CC$の車に當たる。　この水の壓力は空氣の壓力だから、車を押すのは全くその運動のエネルギーである。　この機械の動力を加減するには$A$の導板の間隙幾個かを$K$の蓋で閉ぢる。　この蓋$K$の柄の上端には各




第一一七圖

小い車$LL$があつて、この小い車はみな$Q$の車の周圍の$MM$の溝にはまつてゐる。$Q$を廻轉すると、適宜の數だけ導板の口を閉ぢることができる。

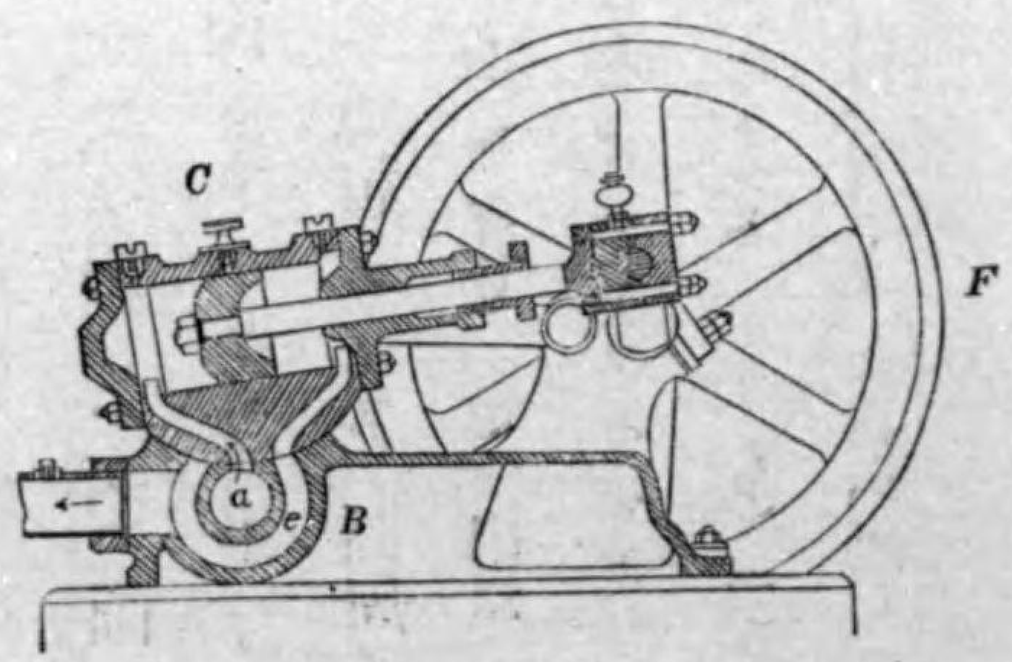
$A$の導板から$C$の車にはいる水は、第一一八圖の樣に車の導板を押しながら$ac$の曲線を畫き、その運動量の水平分を全く失つて$c$で縱に流れでる。水のある分子が車を通りぬける時間を$t$秒とする。$a$に達した分子がもし自由なら、この$t$秒時間に$ab$の直線を畫くはづである。また車の一點$c$が$t$秒時間に進んだ距離は$dc$で、導板に傍うて流れる分子は車に對しては$ad$の曲線を畫いてゐる。$eb$が$dc$に等しいとき車の效率は最大い。



第一一八圖

**一〇五 水壓機關。** 第一一九圖は最簡單な水壓機關で、第

搖蒸汽機關（八四）と同樣な運動學的連鎖になつてゐる。$C$はシリンドルで、その右方の長い首の中にピストン棒が滑る。シリンドルの下面は圓壔形で臺の圓形な面と廻はり對をなす。圓壔形の軸の兩端は適宜に押へてあるので、この對の面はいつも互に密着しながら振動的に滑り、ここに水の出入口が交番にできる。圖の位置では、$a$の口から入る水はピストンの左方にはいつてピストンを押し、その右方の水は$e$の吐き出し口から出る。ピストンが右の端に達するとピストン棒は水平になる。$F$のはづみ車のためにこの思案點を通りすぎると、$a$の口から來る水はピストンの右に入り、左方の水が$e$から出る樣になる。

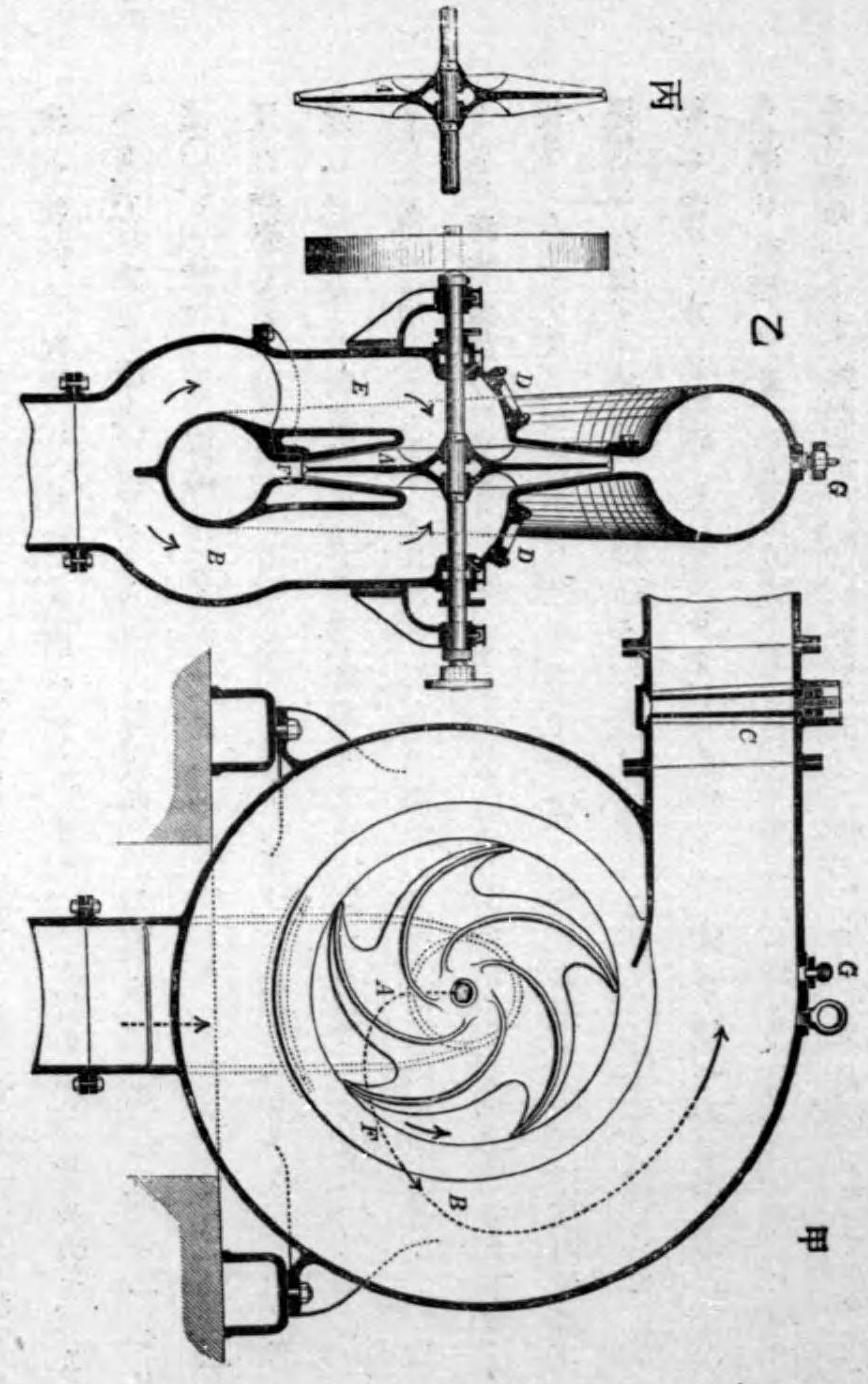


第一一九圖

近ごろ流行する電氣扇は風車の逆である。發電機と電氣發動機とも互に逆になつてゐる。

**一〇六 遠心ポンプ。** 水車は高い處から降る水が他に仕事をする機械で、ポンプは他から仕事をして高い處に水を揚げる機械であるから、水車とポンプとは互に逆になつてゐる。いろいろな形のポンプはそれぞれいろいろな形の水車に相當する。舊來みづぐるまと稱してゐた灌漑用のポンプは、發動機の水車の逆で、ピストンを用ゐるポンプは水壓機關の逆である。タービンの逆は遠心ポンプで、第一二〇圖甲乙はその二個の縱斷面である。離して丙にも示してある車$A$が矢(甲圖)のむきに廻轉すると、水の分子は導板のために圓周的の動きかたを得、$F$(甲圖)の點線の示す樣な道を通り、その得た速さに相當する高さ(**七八**)に昇る。軸の近邊にできようとする空處には直に外氣の壓力に押し揚げられる水がはいつて來る。このポンプは少しの高さに澤山な水をあげるに最有效なので、ドックのかへ出しなど土木事業に多く用ゐる。






第一二〇圖

水の動力といふことを略して通常水力といふ。

**水力事業。** 日本で既成の水力事業の主なものは、京都の疏水である。海面上二八〇尺にある近江の琵琶湖から、毎秒三〇〇立方尺の水を大津の閘門で取りいれ、およそ三里たらずの運河で三つのトンネルを經て、これを京都市の蹴上げにおくる。　この水路の勾配は二〇〇〇分の一から三〇〇〇分の一で兩端の高さの差は一一尺である。　蹴上げでは直徑三尺の鐵管五本(總延長六三〇〇尺)を用ゐて毎秒二五〇立方尺の水量を落差一一〇尺で發電所に送る。　發電所ではペルトン水車二〇臺(一二五馬力より一五〇馬力)でおよそ二八〇〇馬力の動力を得、發電機を運轉する。　もとこの疏水事業は運輸の便が一つの目的であつた。　蹴上げから下には長さ一八二〇尺、勾配一五分の一で往復二線の鐵道を敷いた斜面がある。運河を往復する船はこの斜面上を車に載せて鐵道で越させる樣にしてある。船を載せた車は鋼鐵の針金をよつた直徑一寸餘の綱で引き揚げる。　この綱は斜面の麓にある直徑一二尺の車を七回まはり、斜面の上端にある大なプリと線路上に配置してある六〇個の小いプリとにかかつてゐる長さ五〇〇〇尺の輪である。　電氣動力で麓の大な車を廻轉すると、荷を





積んだ一〇トンの船を載せた車は、一二分で斜面を昇りまたは降る。

京都市は現今の動力では不足を感じて來たので、これを增加する計畫がある。　この計畫では舊來の運河の北方に殆どこれと平行に新に水路を設ける。　その全長二里の中ほとんど四分の三はトンネルである。　また新水路は單に水力が目的だから、その深さを增すと現在のよりは細いトンネルで多量の水を送ることができる。　勾配は二六一五分の一である。蹴上げで舊水路に合しそれから直徑四尺の鐵管四本(總延長一六五〇尺)で毎秒五〇〇立方尺の水を新設の發電所に送り、　一一〇〇馬力づつのタービン四個を運轉する筈である。

廣島水力電氣株式會社では水量毎秒四〇立方尺、落差二七〇尺で三〇〇馬力のペルトン水車三臺を運轉してゐる。　その外諸方の電燈會社紡績會社鑛山などで水力を使用してゐるのは澤山ある。

近ごろの大な水力事業は東京電燈會社と東京電力會社との計畫で、ともに工事中である。　いづれも甲斐の桂川の水力を利用して電流を起こし、これを東京に送るのを目的としてゐる。　桂川の上流から順に數へたその

ナイアガラの瀧の動力はおよそ九、〇〇〇、〇〇〇馬力ほどで、その半分は利用することができる。その中水力利用工事の既にできあがつてゐるのと進行中のとが五〇〇、〇〇〇馬力で、工事の權利を得てゐるのが九〇〇、〇〇〇馬力ほどである。

發電所の設計の要點は左の通りである。

| | 東京電燈會社 | 東京電力會社 第一發電所 | 東京電力會社 第二發電所 | 東京電力會社 第三發電所 |
|---|---|---|---|---|
| 水路取入口 | 山梨縣南都留郡古川渡 | 山梨縣北都留郡猿橋 | 山梨縣北都留郡綱の上 | 山梨縣北都留郡鶴島 |
| 發電所 | 同縣北都留郡駒橋 | 同縣同郡綱の上 | 同縣同郡松留 | 神奈川縣津久井郡勝浦 |
| 水路延長（尺） | 二一、〇〇〇 | 二四、八七一 | 二三、三二五 | 二四、〇〇〇 |
| 水量（毎秒立方尺） | 六〇〇 | 六〇〇 | 六〇〇 | 八〇〇 |
| 落差（尺） | 三四〇 | 九六・八三 | 二八・三 | 一〇〇 |
| 水車軸での動力（馬力） | 一六、〇〇〇 | 五、二五〇 | 一、八九〇 | 六、八二〇 |

勢多川水力利用の設計では勢多橋の近傍で水を取りいれ、下流菟道村附近で落差一六〇尺水量毎秒二〇〇〇立方尺により水車軸で二五、〇〇〇馬力を得る筈である。

近頃の調査によるとアフリカザンベジのヴィクトリア瀧の動力はおよそ三五、〇〇〇、〇〇〇馬力ほどである。

ロシアの二五の河川の水力はおよそ二一、〇〇〇、〇〇〇馬力である。

現に明治三八年には日本で利用してゐる水力は、およそ一五、〇〇〇馬力ほどある。

あるイギリス人の調査によると、世界各國で利用してゐる水力はおよそ次に示す通りであるといふ。

| 國 | 馬力 | 國 | 馬力 |
|---|---|---|---|
| 合衆國 | 五二七、四六七 | イギリス | 二、九〇六 |
| カナダ | 二三八、二二五 | ロシア | 一〇、〇〇〇 |
| イタリア | 二一〇、〇〇〇 | インド | 七、〇五〇 |
| フランス | 一六一、三四三 | 日本 | 三、四五〇 |
| スウィス | 一三三、三〇一 | 南アフリカ | 二、一〇〇 |
| ドイツ | 八一、〇七七 | ヴェネズエラ | 一、二〇〇 |
| スウェーデン | 七一、〇〇〇 | ブラジル | 八〇〇 |
| メキシコ | 一八、四七〇 | 合計 | 一、四八三、三九〇 |
| オーストリア | 一六、〇〇〇 | | |

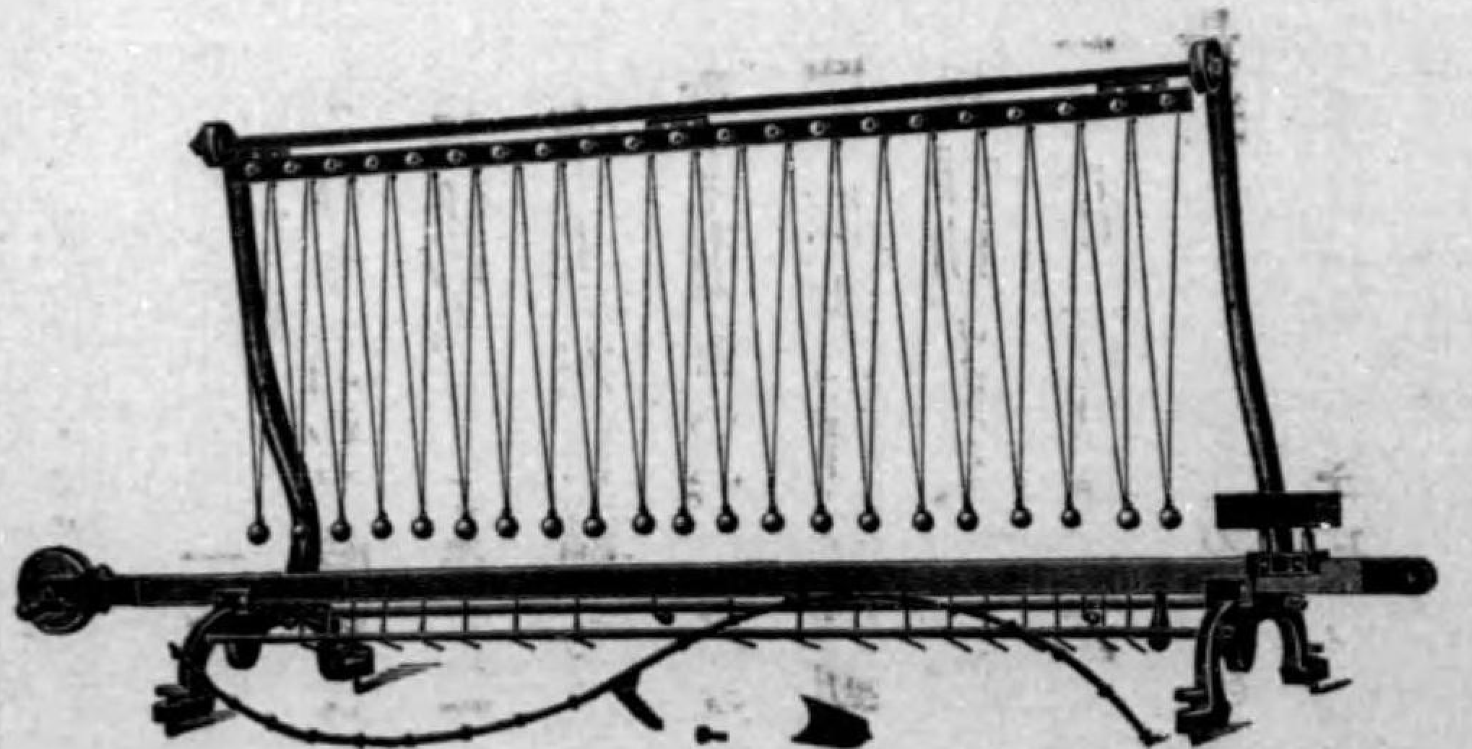
この統計は調査者が自らいふ樣に勿論不完全である。實際は世界全體でおよそ二、〇〇〇、〇〇〇馬力はあるだらう。この水力は晝夜間斷なく

用ゐられる。　しかし、多くの工場では晝間だけ仕事をするから、かりに毎日の仕事時間を平均一二時間と假定し、一馬力一時間に要する石炭を一・五キログラムとすると、一馬力一年間に要する石炭は六・五トンで、二、〇〇〇、〇〇〇馬力の水力は毎年一三、〇〇〇、〇〇〇トンの石炭を節約する。　また石炭一トンの代價を平均五圓とするとこの水力は毎年六五、〇〇〇、〇〇〇圓を節約するわけになる。



# 第九章　音

**一〇七　波動。**　水平に並んでゐる二點につけた等しい長さの二本の糸で一つの鉛球を釣り、振子を作ると、この振子はこれらの二本の糸の平面に垂直な縦の平面内に振動する。　第一二一圖の裝置では、二本の糸で釣つた長さの等しい多數の振子が一直線に並べてある。その上部の少しの變化で各の振子の振動の平面を振子の並んでゐる平面と同一にもこれと垂直にもすること

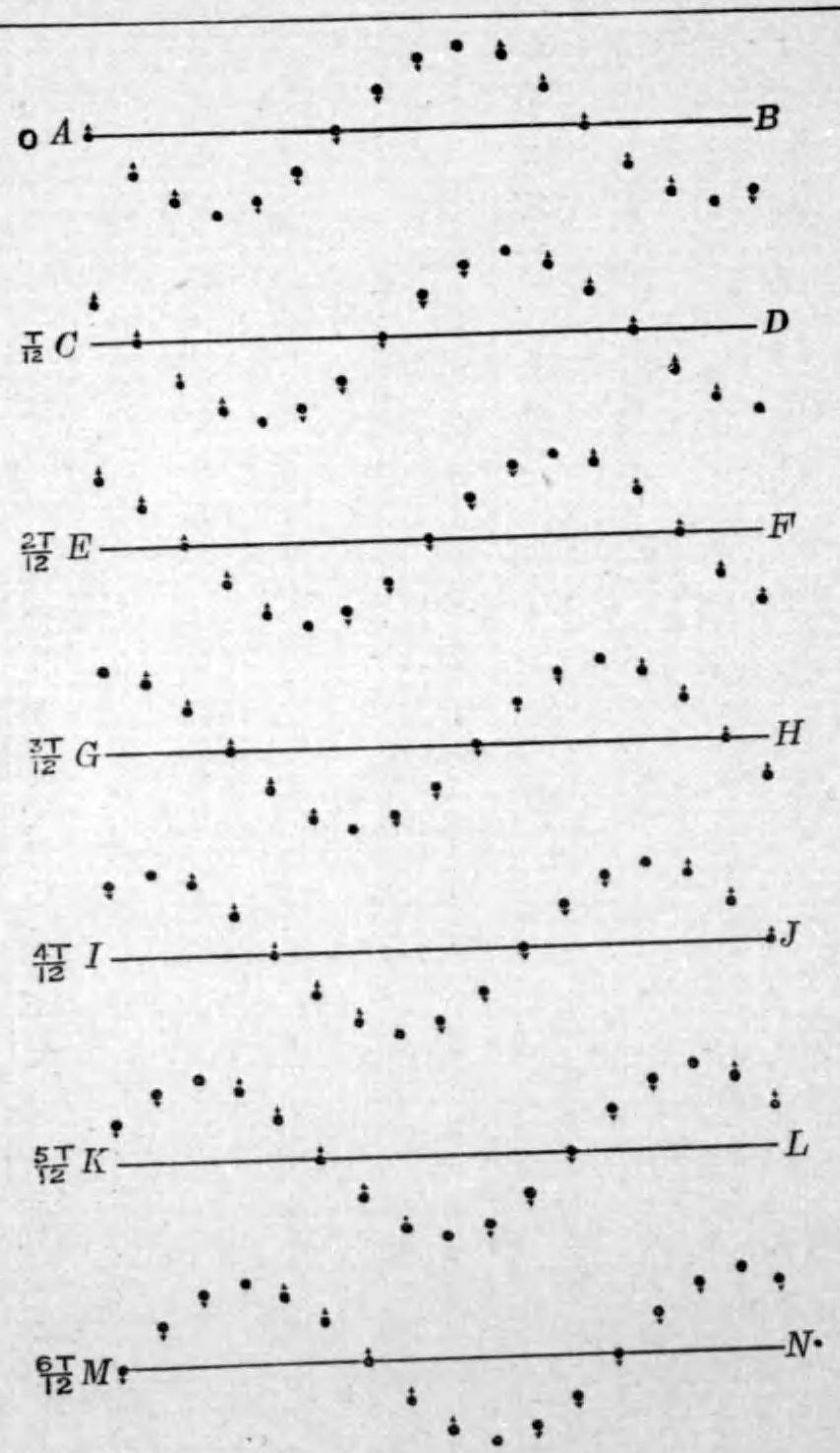


第一二一圖

ができる。

まづこの面を垂直にしておいて、圖の下部右方にある板を一樣な速さで左方にひくと、各の球は順次に一方に寄つては板をはづれる時刻は一端から順次に後れてゐるから、その振動も同樣に後れる。この樣な場合に、これらの球の振動のいそー（位相）が右から左に順に後れてゐるといひ、これらの一列の球ははどー（波動）をしてゐるといふ。この波動は**横の波**で右方から左方に進む。水面の波も一種の波動である。その表面の各分子は一處ではただ上下に振動してゐつて、その振動の位相がある方向に順に後れてゐり、波はこの方向に進む。波の進む方向で同一の位相を持つてゐる最近の二つの分子の距離、卽水の波の例ならば、その**峯**と峯とまたは**谷**と谷との距離を**波の長さ**といふ。

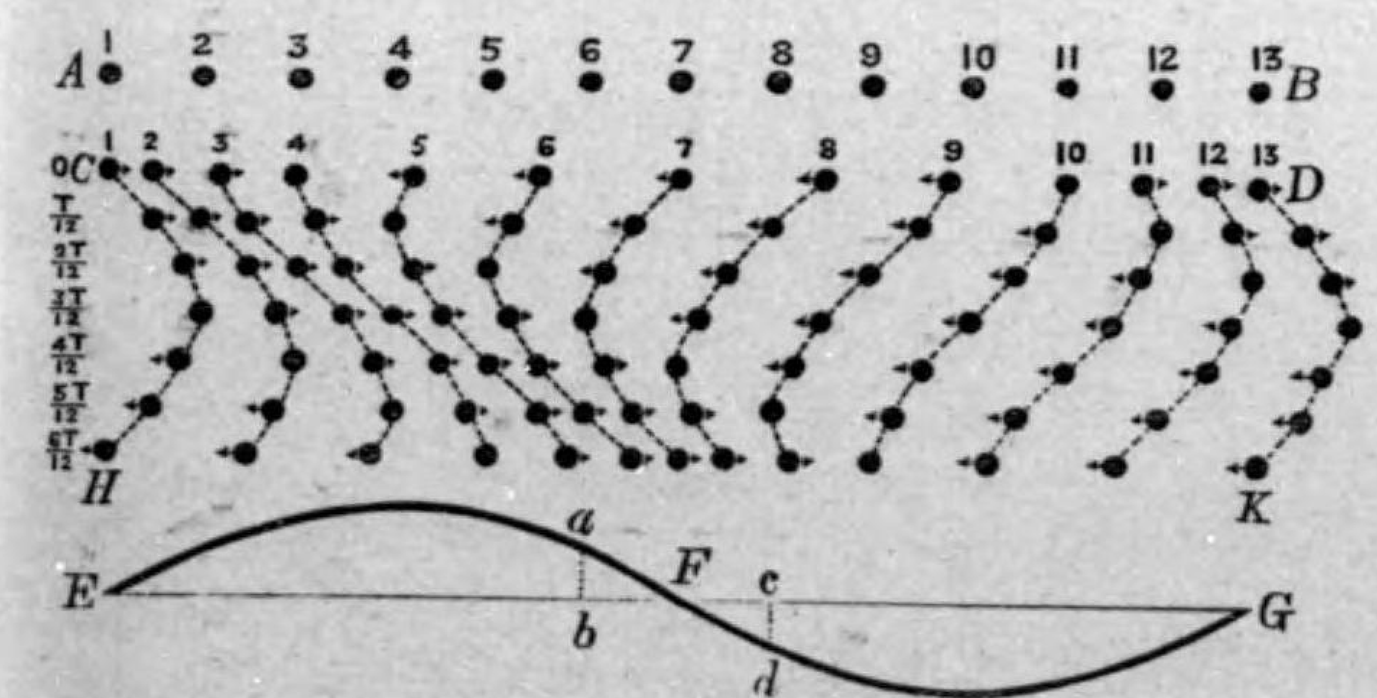
第一二二圖の$AB$を、ある時刻での各の球の位置とすると、その左方より第一の球は丁度中央にあり、第二の球はその週期の一二分の一だけ後れた位相にあり、第三第四等の球はなほ順次に週期の一二分の一づつ後れた位相にある。この時刻より




第一二二圖

週期の一二分の一だけ後では、これらの球は$CD$の位置になり、一〃二分の二の後では、$EF$の位置になる。かういふ樣にして、この波〃動では、分子の一方に偏つた處が時のたつに從つて段段と左方から右方に移る。

第一二二圖の裝置の上部を少しかゞへ、球の振動の平面を振子の并んでゐる平面と同一になし、球の下で適當な形の木片を一樣な速さで右から左にひくと、各の球は同一の平面內に振動し、その位相は右より左に順次に後れる。第一二三圖の$AB$を各の球の靜止の位〃置とし、$CD$をある時刻でのその位置とすると、それから週期の一二分の一二




第一二三圖

三四五六だけ過ぎてその下に示してある通りである。 各の球は單に振動をしてゐるのに、球の列はある處では密になり他の處では疎になり、この疎密の有樣が漸次に右方に傳はつてゆく。 かういふ波を**縱の波**または**疎密の波**といふ。

振動の週期を$T$秒とし、波の長さを$l$サンチメートルとし、波の進む速さを毎秒$c$サンチメートルとすると、一つの分子が丁度一往〃復する間に、一つの峯は次の峯のあつた處に達するから

$$cT = l$$

である。 また振動の週期の小いときは一秒時間の振動數$n$を用ゐると、

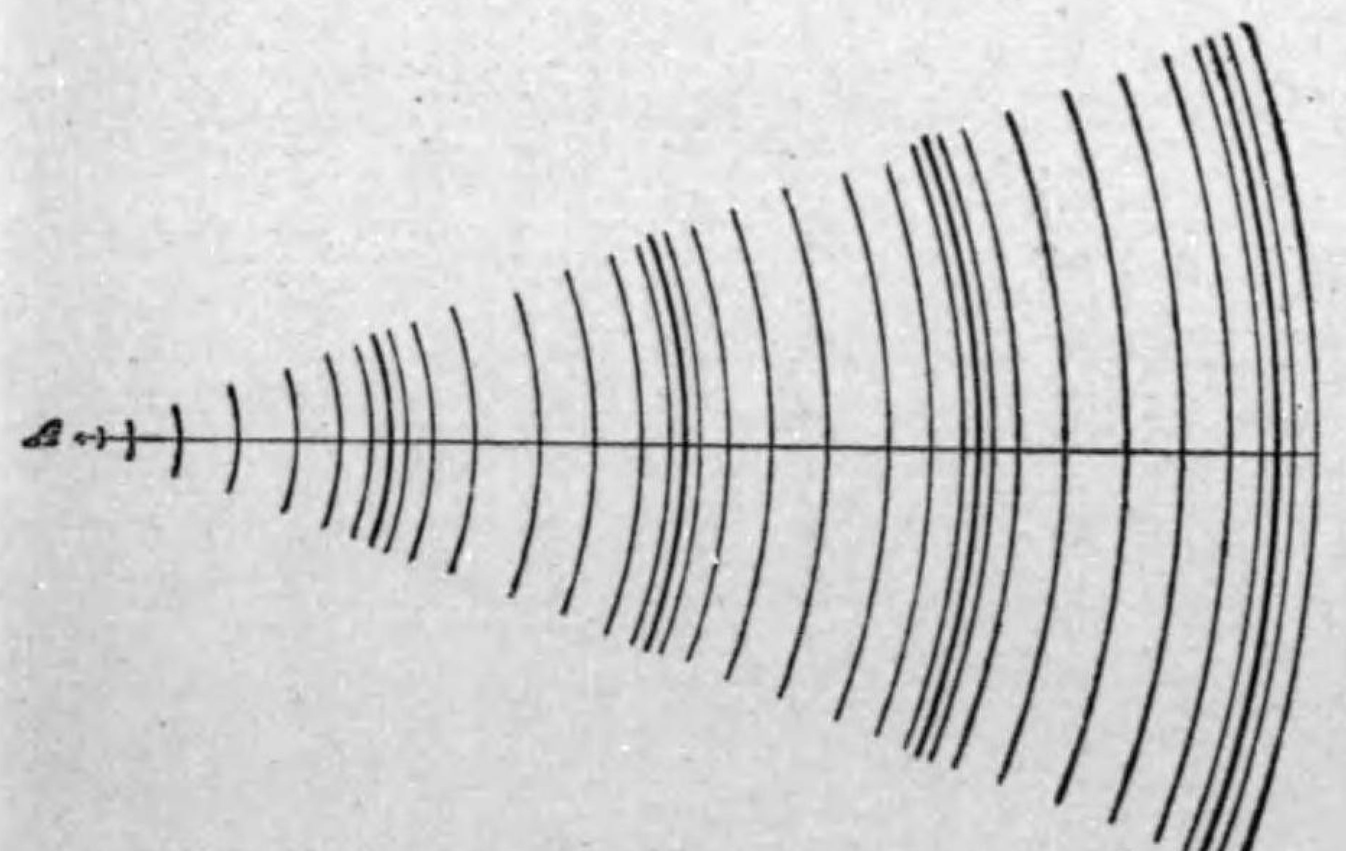
$$n = \frac{1}{T}$$

であるから、

$$c = nl$$

となる。

**一〇八 音。** 空氣の中で物體が、ある短い週期で振動するとおとを出〃してなる。釣鐘琴の糸などおとを出〃してなるものをよく見ると、みな速く振動〃してなる。空氣の中にある物體が振動すると、それに接してなる空氣を壓〃したりゆるめたりする。空氣の一部が壓縮せられるとそれはまたその次の部分を壓縮するので壓縮せられた有樣は順次に傳はつてゆく。この壓縮の有樣がある距離だけ進んでなるころには始めの部分はすでにゆるめられてなり、このゆるめられた有樣も同じく次ぎ次ぎへ傳〃




第一二四圖

はつてゆき、第一二四圖の樣におとを出す物體$A$から疎密の波が四方に擴がる。そうして、この物體の振動のエネルギーは、漸次に空氣の分子に移り四方に傳播する。この空氣の波が耳に達〃して鼓膜をうつと、聽神經に感じておとの感覺を與へる。

空氣ポンプの釣鐘ガラスの中に時計仕かけで鳴るりん(鈴)を入れ、空〃氣をぬくと鈴のおとはだんだん弱くなり、空氣を入れるとおとは再び強くなる。これは空氣がなければおとは傳はらぬことを證明する。

**一〇九 音の速さ。** 鐵砲をうつとき、烟とおととは同時に發するけれども、遠方では烟が見えてからおとの聞こえるまでに餘程の時間がある。この時間は、烟と同時に發したおとが聽く人に達するまでに要する時間である。おとの波及する速さはおよそ毎秒三三〇餘メートルである。

おとの速さは空氣が溫いと大くなる。また空氣が濕つてなつても

大くなる。

**一一〇　音の反射。**　おとが空氣中を傳播するとき變はつた表面に出合ふと、その方向をかへる。おとの波が平面の壁に出合ふと、この波は丁度壁の後方から出た樣に反對の方向に擴がる。水面の波でも同樣な現象を見ることができる。この現象を**波の反射**といひ、おとの場合では**反響**または**やまびこ**といふ。

**一一一　音の三つの性質。**　おとの**強さ**は波動のエネルギー即空氣の分子の振動のエネルギーによる。鐘が激げしく振動すると強いおとを出す。またおとは源からだんだん遠ざかるに従つてそのエネルギーは大な表面に擴がるから、空氣の分子の振動のエネルギーは小くなり從つておとは弱くなる。

おとの波があまり規則正しくないときは單に**おと**または**そーおん**(噪音)といひ、規則正しいときは**がくおん**(樂音)といふ。樂音の**たかさ**は毎秒の振動數で區別する。振動數の多いのを**高い**といひ、少いのを**低い**といふ。振動數のおよそ毎秒三六〇〇〇以上または毎秒一〇以下の波動は、人の耳に音の感じを與へぬ。

鐘の音と琴の音とは同じ高さでもその**ねいろ**がちがふ。これは振動の形の違ひに因る。同一の道を同じ動きかたを繰り返すのはみな振動であるけれどもそれには無數の違つたのがある。それだから、空氣中に起こる同一のエネルギー(同じ強さ)で同じ振動數(同じ高さ)の波動にも無數の違つた種類がある。この違ひが音色のちがひにあたる。

鐘のね笛のね琴のねまたはあーおーなどの人の聲は、みなそのおとの波の形がちがふのである。

**一一二　蓄音器。**　**ちくおんき**は一度び受けた音をたびたび出すことのできる器械で、音の性質を説明するにも便利である。蠟で作つた圓筒は時計仕かけで廻轉し、同時にその傍にあるラッパ口はねぢ連

鎖によつて左から右に動く樣になつて居る。このラッパ口の底に極薄い雲母またはガラスの板があつて、その眞中に小い鑿がついて居る。この鑿を輕く蠟にあてながら、器械を運轉すると、鑿は圓筒にねぢ形の溝をきる。この時ラッパ口に向つて音聲を發すると、音の波のために薄板は振動し、ねぢ形の溝に淺深ができる。

鑿を尖りの鈍い針と取り替へ、再び器械を始めから運轉すると、針は溝の淺深に從つて振動し、この振動はガラスの薄板によつて空氣に傳はり、始め器械の受けた樣な音聲が再びでる。

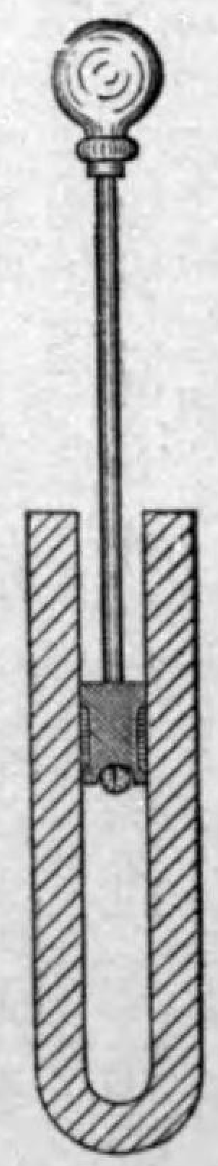
**一一三　樂音の調和。**　高さ即振動數 $n$ の簡單な割合になつて居る樂音は、よく調和して、耳に快い感じを與へる。音樂は同時または逐次に、調和した樂音を排列したものである。唱歌などに用ゐる音階で、ピアノやオルガンの眞中の八つの白いキーに相當する音の振動數は、次の表の第二行の通りである。その（ヒ）を一としての割合は、第三行の通りである。

| 音階 | ヒ | フ | ミ | ヨ | イ | ム | ナ | ヒ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 振動數 | 二六一 | 二九三·六 | 三二六·二 | 三四八 | 三九一·五 | 四三五 | 四八九·四 | 五二二 |
| その割合 | 1 | $\frac{9}{8}$ | $\frac{5}{4}$ | $\frac{4}{3}$ | $\frac{3}{2}$ | $\frac{5}{3}$ | $\frac{15}{8}$ | 2 |

# 第四編　熱

## 第一〇章　熱

**一一四　熱のエネルギー。**　摩擦力の樣な抵抗力に對して仕事をすると、この仕事を受けた物體は溫くなる。　即、溫いといふ感覺で知ることのできる一種の變化を受けてなる。　たとへば、木片と木片とを劇しく摩擦すると何れも溫くなる。　また第一二五圖の樣な圓筒の中の空氣をピストンで壓縮すると、空氣はいちじるしく溫くなり、圓筒の中によく乾いた火口を入れておくとこれに火のつく樣にすることもできる。



第一二五圖

これらの變化は仕事の結果としてできたので、この變化を受けてなる物體は一種のエネルギーを得てなる。　このエネルギーを**ねつ**(熱)といふ。

熱は物體の分子の振動または運動のエネルギーである。

溫い物體卽熱のエネルギーを持つてなる物體は、他のものに仕事をすることができ、その仕事の間他からエネルギーを受けなければその物體は自己のエネルギーを失ふ。たとへば、壓縮した空氣が膨脹して、他に仕事をするときは冷たくなる。蒸汽罐が吹き出す蒸汽も膨脹して外の空氣を押しのけるのでそれほど熱くはない。この空氣や蒸汽は自己の熱のエネルギーを失つて仕事をしたのである。

實際に於て物體に熱のエネルギーを與へるに機械的の仕事によることは不經濟である。熱を得る最普通の方法は燃料によるかまたは太陽の輻射を受けるかである。

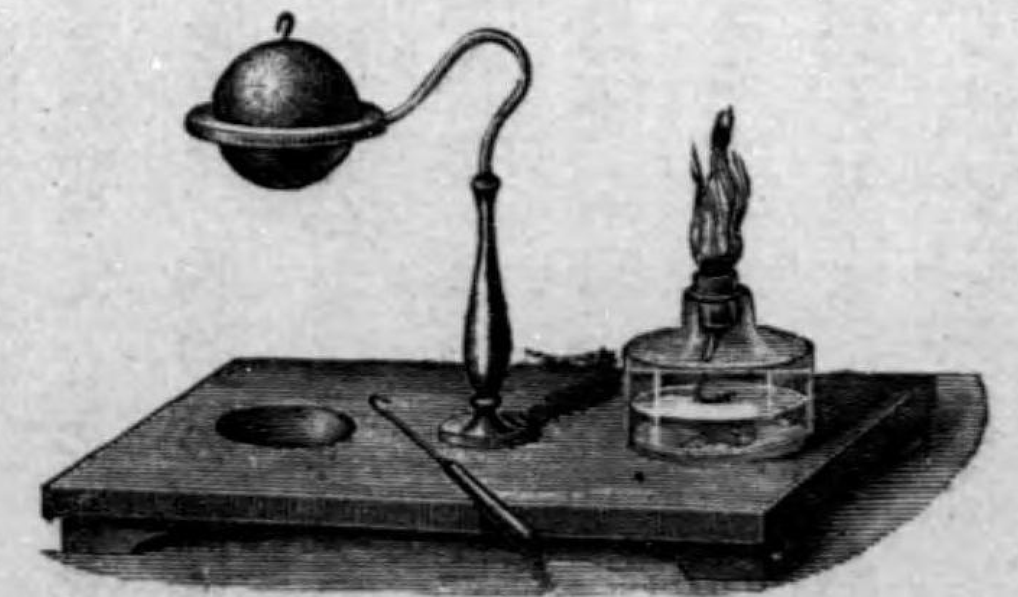
**一一五 溫度。** 物體の溫さ卽おんど(溫度)は大概は觸覺でも知れるけれどもあまり精密ではない。溫い湯とぬるい湯と水とを入れた三つの桶を幷べておき、左右の手をそれぞれ熱い湯と水とに浸し、暫時の後兩方の手を一所にぬるい湯に浸すと、左の手は冷たく感じ右の手は溫く感ずる。また、熱湯中から引き出した金屬片に觸れると甚だ熱く感ずるのに同樣にした木片はさほど熱く感じない。これらの例で同じ溫さの物も時としては熱く時としてはそれほどでなく感ずることが分かる。右の例の金屬片と木片とを互に接觸してもそのためには兩方ともその溫度をかへぬ。この樣に二物體が接觸のためにその溫度をかへぬときは、その二物體の溫度は互に等しいといひ、もしそのために甲は溫度を減じ乙は溫度を增すならば、甲の溫度は乙の溫度よりは高いといふ。

物體はその溫度が昇るに從つて一般に膨脹する。これは第一一六圖の裝置の眞鍮の球と環とでためすことができる。通常の空氣の溫度ではこの球は環の中を丁度通るけれども、これを熱すると球は膨脹し環の上に載つて通らぬ。球がまた冷えると自

然に落ちる。　また半ば空氣で盈したゴム球を温めると、中の空氣の膨脹のために球はふくれる。

### 一一六 寒暖計。

かんだんけい(寒暖計)は觸覺によらずに物體の温度を測る器械である。　温度の違ひで規則正しい變化のあるものなら何でも寒暖計として使ふことができる。



第一二六圖

水銀寒暖計(第一二七圖)、は一様な太さのガラスの毛細管の一端の膨れたものに水銀を充實し、これをこの寒暖計の示すべき最高の温度に温め上端を密封して作る。　これに目盛をするには、まづこの


第一二七圖

寒暖計の下部を融けかかつてゐる氷の細末の中に挿入するとこの管中の水銀の多分は氷の温度となつて收縮する。　ガラスは水銀ほどは收縮せぬので毛細管中の多分は眞空となり、水銀は管の下部に降る。　この降つた水銀柱の上端 $A$ にしるしをつけ、これを寒暖計のひょーてん(氷點)といふ。　また、この寒暖計を氣壓七六〇ミリメートルの空氣中で沸騰する湯の温度にすると水銀柱の上端は管の上部へ昇る。　この上端 $B$ にしるしをつけ、これをふっとーてん(沸騰點)といふ。　$A$ と $B$ との間の長さを一〇〇の等しい部分に分ち、$AB$ の上下にも同様の目盛を續ける。　$A$ を零とし、これから上の目には零から數へた度數を盛り、$A$ より下にも同じく零から數へた度數を盛る。　この様な目盛をした寒暖計を攝氏の寒暖計といふ

極低い温度では水銀は凝結するから水銀寒暖計は役に立たぬ。

氷點を三二度とし、沸騰點を二一二度とした目盛を華氏の目盛といふ。イギリスとアメリカ合衆國との俗間で用ゐるので、日本へも早く渡り、夏期の氣温をいふには廣く行はれてゐる。然し、測候所で氣温を測るにも醫者が

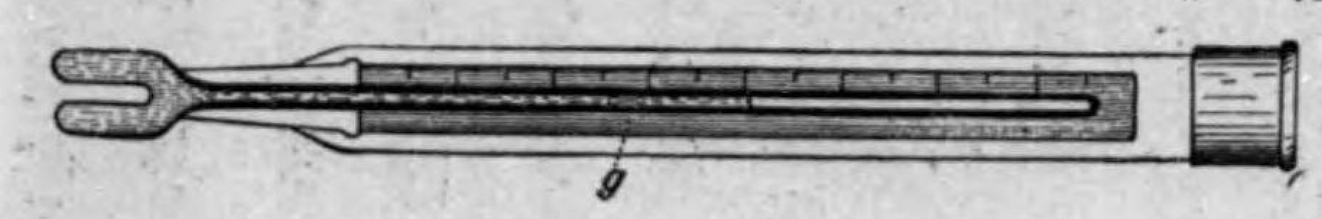
體溫を測るにも普通攝氏を用ゐるし、不便な華氏の寒暖計を敎える必要は少しもない。この書で單に幾度といふは、勿論みな攝氏の度數である。

氷點と沸騰點とを示さぬ寒暖計は下の樣にして作ったものと比較してその目をもる。

アルコールは水銀よりは低い溫度まで凝結せぬので、低溫度のためはアルコールをつめた寒暖計を用ゐる。これをアルコール寒暖計といふ。

## 一一七　最高寒暖計。最低寒暖計。

一定の時間中の最高または最低の溫度を知るに用ゐる寒暖計を最高または最低寒暖計といふ。　普通の最高寒暖計は橫におく樣にできてゐる水銀寒暖計で、水銀柱は空氣の小さい泡で二つに切れてゐる。溫度が昇るときは水銀柱の切れた部分もともに進み溫度が降るときには切れた部分は後にのこる。　普通の最低寒暖計は第一二八圖の樣なアルコール寒暖計で、管中に細いガラス棒 $g$ が入れて同じく橫にしてある。溫度が昇るときにはアルコールはガラス棒の傍を過ぎて進み、溫度が降るときにはアルコールの表面張力で棒を伴つて退く。　觀測時間の始めに、最低寒暖計は倒にしてガラス棒を水銀柱の上端におき、最高寒暖計は縱にして水銀柱をつけ、何れも橫にしておくと、その時間の終りでのガラス棒と水銀柱との位置を見、その時間の最高最低の溫度が知れる。



第一二八圖



このカロリーの一〇〇〇倍、即一キログラムの水を一度溫めるに要する熱量もカロリーといふことがある。これは大カロリーともキログラムカロリーともいふ。これに對して

病床用の最高寒暖計では、毛細管の下端に小い邪魔物がおいてある。　溫度の昇るときには水銀柱は邪魔物を通りすぎ、降るときには水銀柱は邪魔物のために切れて殘る。

## 一一八　熱量の單位。

熱は物體が仕事を受けた結果としてできる分子の運動のエネルギーであるから、その量は勿論エネルギーの單位で計らねばならぬ。　一エルグまたは一キログラムメートルの仕事の結果としてできる熱量はそれぞれ一エルグまたは一キログラムメートルである。　一グラムの水を一度溫めるにはおよそ〇・四二六キログラムメートルの熱量を要する。熱學では多くの場合でこの量を單位として用ゐ、これを**カロリー**といふ。　一カロリーはまた四一、七〇〇、〇〇〇エルグ、即、四・一七ヂアウル

前のを小カロリーともグラムカロリーともいふ。この書で單にカロリーといふのはみなグラムカロリーのことである。

である。

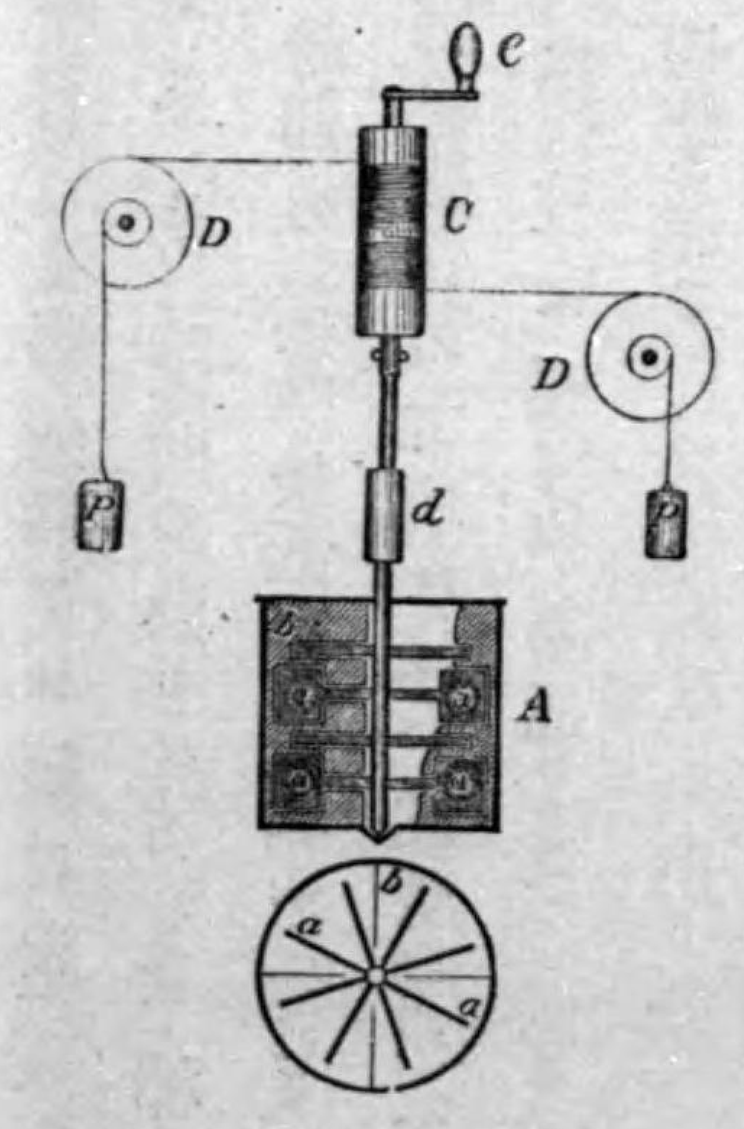
**問題一。** 水を一〇〇メートルの高さから落としたとき、その位置のエネルギーがみな熱になつて水を温めたとすると、水の温度はいくら昇るか。

答。〇・二三度。

**問題二。** 一リットル氣壓の仕事はいくカロリーに當たるか。

答。二四・三カロリー。

**一一九　ヂアウルの實驗。** 一カロリーの熱量は〇・四二六キログラムメートルに相當するといふことを始めて精確に實驗したのはヂアウルである。その實驗の一つでは、圓壔形の銅の器（第一二九圖）$A$の中の水を$a\,a$の羽根でかき廻して仕事をなし、この仕事の量とその結果として昇つた水の温度の差とを測定した。$A$の中の水が$a\,a$の羽根と一所に廻らぬために器に$b\,b$の板がつけてある。$a\,a$の軸を廻轉するには$C$に巻てある二本の糸を$P\,P$の重りで廻る$D\,D$の車に巻き取る樣になつてゐる。この重りの重さとその落ちた距離とで仕事を測り、水の量とその温度の昇りとで熱量を測る。ヂアウルはこの類の實驗を度度して一カロリーは〇・四二六キログラムメートルに相當することを證明した。



第一二九圖

**一二〇　熱容量。比熱。** ある物體を一度温めるに必要な熱量をその物體の**熱容量**といふ。鐵瓶の水は大釜に一ぱいの水よりは少量の熱で沸くのは、その熱容量が小いからである。また等しい質量の物を一度温めるに要する熱の量もそれぞれ物質によつてちがふ。一グラムの水を一度温めるには一カロリーの熱が要る

本文の勘定では物體を混合するときに容器は少しも熱をとらぬとしてある。實際は必ず多少とるからその補正をしなくてはならぬ。

のに、一グラムの水銀を一度溫めるには〇・〇三三カロリーでよい。この一グラムの物質を一度溫めるに要する熱量をカロリーで計つた數を、その物質のひねつ(比熱)といふ。

一〇〇度に溫めた一グラムの水と零度の一グラムの水とを混合すると、その熱は平均しておよそ五〇度の水二グラムを得る。しかし、一〇〇度の水銀一グラムと零度の水一グラムとを混ぜるとおよそ三度の混合物を得る。一グラムの水銀が九七度だけ冷めて放出する熱量は三・二カロリーで、これは一グラムの水を三度あまりより溫めることはできぬ。この樣な仕方で物體の比熱を算出する法を混合の法といふ。たとへば、比熱 $\sigma$ の物質 $m$ グラムを $\theta_1$ 度に溫め、これを $\theta_0$ 度の $m_0$ グラムの水と混合し、混合物の溫度が $\theta'$ 度になつたとすると、一方の放出した熱量と一方の吸收した熱量とを比べて左の式を得る。

$$m\sigma(\theta_1-\theta')=m_0(\theta'-\theta_0) \qquad \therefore \quad \sigma=\frac{m_0(\theta'-\theta_0)}{m(\theta_1-\theta')}$$

次にいろいろの物質の通常の溫度での比熱を示す。

| 物質 | 比熱 |
|---|---|
| **固體** | |
| 氷 | 〇・四七四 |
| ガラス(平均) | 〇・一五 |
| 岩鹽 | 〇・二一 |
| 硫黄 | 〇・一八 |
| 鐵、ニッケル、コバルト | 〇・一一 |
| 鋼鐵 | 〇・一二 |
| 銅、亞鉛、眞鍮 | 〇・〇九四 |
| 銀 | 〇・〇五六 |
| 錫 | 〇・〇五七 |
| 金、白金、鉛 | 〇・〇三一 |
| **液體** | |
| アルコール | 〇・四七 |
| エーテル | 〇・五六 |
| テレビン油 | 〇・四二 |
| 二硫化炭素 | 〇・二四 |

水の比熱は一でほとんどあらゆる物質の比熱よりも大いから、その溫まるには多量の熱を要し、冷めるには多量の熱を放出する。暖房器や湯たんぽに水を用ゐるのはこの性質を利用するのである。

一般に比熱は溫度の昇るほど殖える。固體は融解點に近づくと、その殖えかたがますます甚しく、液體の比熱はみなその固體のときの比熱よりも大きい。比熱の殖える例として水晶と炭素との比熱の表を左に示す。炭素は、低溫度では金剛石と黑鉛との比熱がいちじるしく違ふのに、高溫度では殆ど同樣になる。水と水銀とは殊に重要なものだから、いろいろの溫度でのその比熱を示す。水銀の比熱は溫度の昇るに從つて減り前の規則の除外例である。

| 溫度 | 水晶 |
|---|---|
| 〇 | 〇・一七五 |
| 一〇〇 | 〇・二一三 |
| 五〇〇 | 〇・三〇五 |

| 溫度 | 炭素 金剛石 | 炭素 黑鉛 |
|---|---|---|
| 負五〇 | 〇・〇六四 | 〇・一一四 |
| 一〇 | 〇・一一三 | 〇・一六〇 |
| 二五〇 | 〇・三〇三 | 〇・三二五 |
| 一〇〇〇 | 〇・四五九 | 〇・四六七 |

| 溫度 | 水 | 水銀 |
|---|---|---|
| 〇 | 一・〇〇〇 | 〇・〇三三三 |
| 二〇 | 〇・九九一 | 〇・〇三三一 |
| 四〇 | 〇・九九一 | 〇・〇三三〇 |
| 六〇 | 〇・九九九 | 〇・〇三二九 |
| 八〇 | 一・〇一六 | 〇・〇三二八 |
| 一〇〇 | 一・〇四二 | 〇・〇三二六 |
| 一五〇 | | 〇・〇三二三 |
| 二〇〇 | | 〇・〇三一九 |

問題一。もし水の比熱が小かつたなら、氣候の變化はどうなるだらうか。

問題二。一五度の水五〇グラムの中に、一〇〇度に熱した銅片一五グラムを投入すると、水の溫度はいくらになるか。

答。一五・二四度。

**一二二 分子熱。** グラムを單位として分子量だけの物質をグラム分子といふ。ある物質のグラム分子の熱容量をそのぶんしねつ(分子熱)といふ。固體の分子熱はその中に含む原素のげんしねつ(原子熱)の和である。次に揭げるものの外、あらゆる原素の原子熱はおよそ六・〇である。

| 原素 | 原子熱 | 原素 | 原子熱 | 原素 | 原子熱 |
|---|---|---|---|---|---|
| 炭素 | 一・八 | ベリリウム | 三・七 | 燐 | 五・四 |
| 水素 | 二・三 | 珪素 | 三・八 | 硫黃 | 五・四 |
| 硼素 | 二・七 | 酸素 | 四・〇 | ゲルマニウム | 五・五 |

液體の分子熱はもつと復雜なものらしく、その規則は分らぬ。氣體の分子熱はみな一式 $6.5 + a(\theta + 273)$ で示すことができる。$a$ はそれぞれの氣體に固有な係數 $\theta$ はその溫度である。負二七三度（卽一二七に說明する絕對の〇度）では氣體の分子熱はみな六・五である。$a$ は次の表に示す樣に分子の復雜なほど大い數である。

| 物質 | $a$ | 物質 | $a$ |
|---|---|---|---|
| 水素 $H_2$　窒素 $N_2$　酸素 $O_2$　一酸化炭素 $CO$ | 0·00一0 | クロロフォルム $CHCl_3$ | 0·0三0五 |
| アムモニア $NH_3$ | 0·00七一 | 臭化エチル $C_2H_5Br$ | 0·0三二四 |
| 二酸化炭素 $CO_2$ | 0·00八四 | アセトン $C_3H_6O$ | 0·0四七0 |
| 亞酸化窒素 $N_2O$ | 0·00八九 | ベンゼン $C_6H_6$ | 0·0五一0 |
| エチレン $C_2H_4$ | 0·01三七 | 醋酸エチル $CH_3COOC_2H_5$ | 0·0六七四 |
| | | エーテル $(C_2H_5)_2O$ | 0·0七三八 |

**問題一**。原子熱から計算すると、次の物質の比熱はいくらになるか。

氷 $H_2O$。食鹽 $NaCl_2$。

答。〇・四八。〇・一九。

**一二二　熱を與へた結果。** 運動分子說によると、物體に熱を與へた結果は次に列擧する樣なものである。

(い) 分子の運動（または振動）のエネルギーの增加。これが物體の溫度の增加に相當する。

(ろ) 分子力に對する仕事。溫度の增加に伴ふ、大さ彈性などの變化はみな分子の配置の變化であるから、これを起こすには分子力に對する仕事がいる。

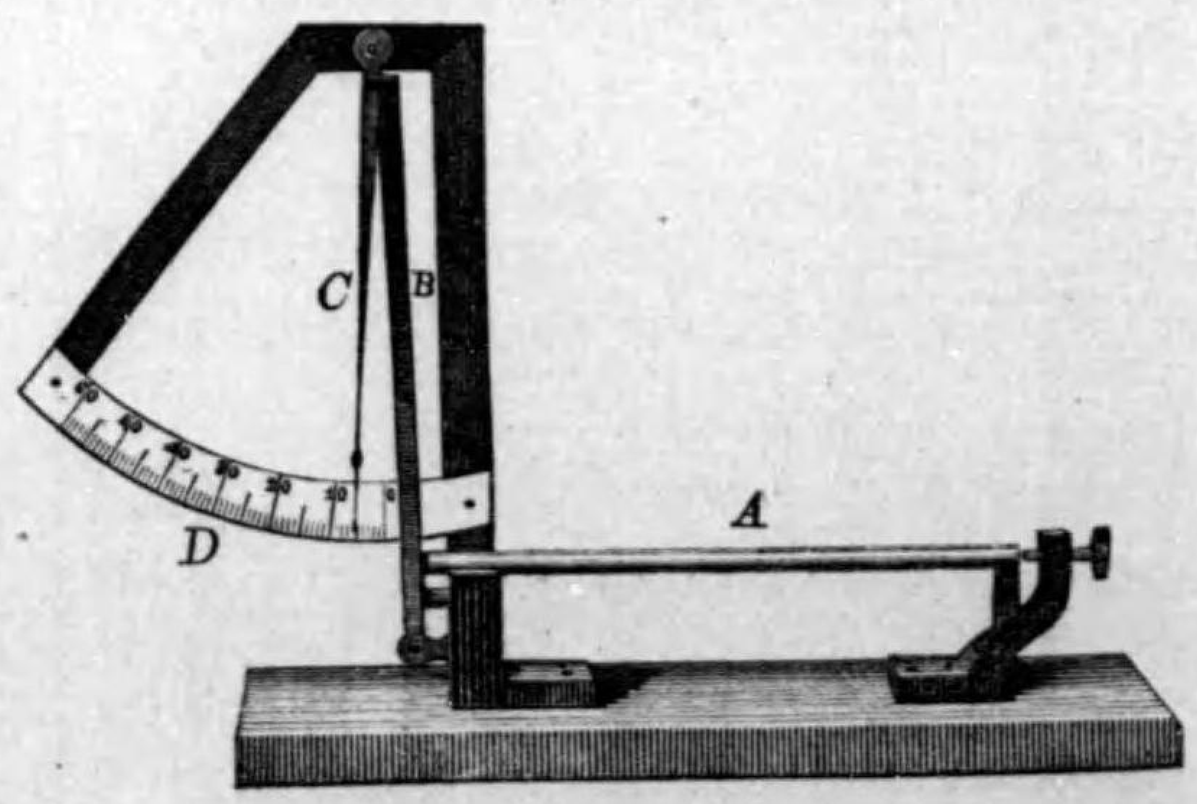
(は) 分子內の仕事。原子の間の仕事の結果として原子の振動回轉などを生ずる。

(に) 化學的仕事。これは原子間または分子間に起こる。

(ほ)外の壓力に對する仕事。　物體が膨脹または收縮するときには必外氣の壓力に對して仕事をする。　これは外部の條件により、物體の性質には關係しないから、外の仕事といひ、これに對して前の四つを内の仕事といふ。

鐵片の樣なものを眞空で熱すると(い)の溫度の增加と膨脹のため(ろ)の分子力に對する仕事とが要る。　これを空氣中で熱するとなほこの外に(ほ)の外氣に對する仕事がいる。　しかし、(ほ)は(い)(ろ)に比しては極僅少である。　氣體の各分子は大がい他の分子の分子力の圏の外にあるから、これを熱するときその膨脹のため分子の配置の變化に要する(ろ)の仕事は殆ど零で(い)の溫度の增加と(ほ)の外氣の壓力に對する仕事とにエネルギーを要する。

**一二三　固體の膨脹。**　物體が熱を受けてその溫度が昇るときは一般に膨脹する。　固體の膨脹するのは、その分子の振動がはげしくなるので各分子が餘計な場所を要するからである。　第一三〇圖の裝置で臺の上に載せてある$A$の棒の兩端は固定したねぢとてこ$B$とに接觸してゐる。いまこの棒を熱すると、棒は伸びて$B$のてこを押し$B$はまた$C$のてこを廻轉させる。　$A$が極少し伸びてもこれらのてこの作用で$C$の尖端は餘程多く動くから、$D$の目盛りによつて$A$の伸びを知ることができる。　膨脹の割合を精密に示すために膨脹の係數といふものを用ゐる。　ある溫度で$l_0$サンチメートルの長さだけある棒を一度溫めて$e$サンチメートルだけ伸びるとすると、$\frac{e}{l_0}$をこの物體の**線膨脹**の




第一三〇圖

**係數**といふ。これを β とする。この棒は一度溫めると $l_0(1+\beta)$ サンチメートルとなり、θ 度溫めると $l_0(1+\beta\theta)$ サンチメートルとなる。次に重要な固體の線膨脹の係數の表を示す。

| 物質 | 膨脹の係數 | 物質 | 膨脹の係數 |
|---|---|---|---|
| 白金 | 0·00000八八 | ガラス | 0·00000五九<br>0·00000九四 |
| 金 | 0·0000一五一 | 磁器 | 0·00000八〇 |
| 銅 | 0·0000一七二 | 長石 | 0·0000一四四 |
| 洋銀 | 0·0000一八四 | 螢石 | 0·0000三五三 |
| 眞鍮 | 0·0000一八八 | 石英 | 0·0000五七三 |
| 銀 | 0·0000一九一 | アルカニット | 0·0000六三六 |
| 錫 | 0·0000二二七 | 氷 負一〇—〇度<br>負二〇—〇度 | 0·000一〇<br>0·000一二 |
| 鉛 | 0·0000二八六 | グタペルカ | 0·000六〇 |
| 鍛鐵 | 0·0000一二三 | ゴム | 0·000六八 |
| 鋼鐵 | 0·0000一二四 | 燐 八—一六度<br>一六—四二度 | 0·000一一九<br>0·000一二八 |
| 鑄鐵 | 0·0000一一一 | パラフィン 三三·五—三七·七度<br>三七·七—四一·〇度 | 0·000二六<br>0·000六六 |

大概な物體は長さも幅も厚さも、同じ割合に膨脹するから、この物體のもとの立積と膨脹した立積との割合は、相似形の定理で $l_0^3$ と $l_0^3(1+\beta\theta)^3$ との比、卽 1 と $(1+\beta\theta)^3$ との比である。また β は右の表にある様に小いおよその數だから、$(1+\beta\theta)^3$ は $1+3\beta\theta$ として差支ない。この 3β は**體膨脹の係數**といひ、これから後は α と名づける。

物體はその嵩が大くなれば、その密度は嵩に逆比例して小くなる。

每立方サンチメートル ρ グラムの物質を θ 度溫めると、その密度は $\frac{\rho}{1+\alpha\theta}$ で卽 $\rho(1-\alpha\theta)$ である。

**問題一。** 人力車などの車輪に鐵の輪をはめるには必まづ輪を赤く燒いてはめるのはどういふ譯である。

**問題二。** 熱いガラスを急に冷し、または冷たいガラスを急に熱すると、われるのはなぜである。

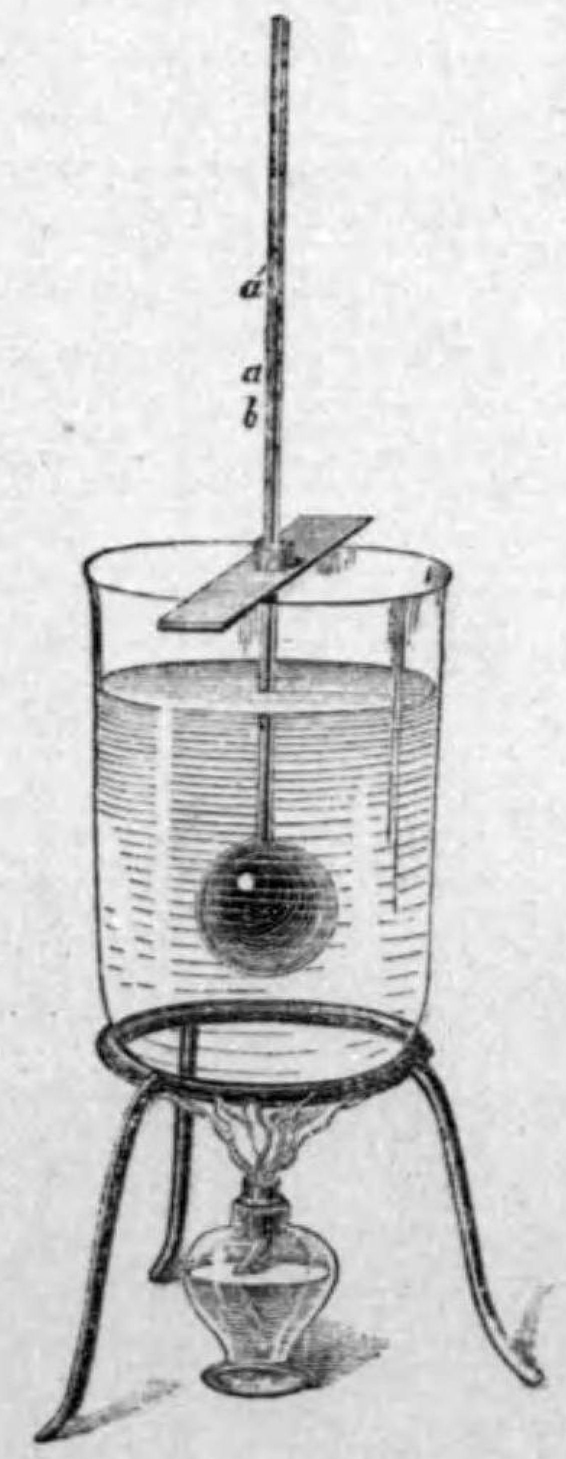
**問題三。** 日本の度器の基本たる白金九イリヂウム一の合金の棒の標

線間の距離は、零度で〇·九九九九九八七メートルである。またこの棒の線膨脹の係數は〇·〇〇〇〇〇八六六七である。この棒はいく度で丁度一メートルあるか。

答。〇·一五度。

## 一二四　液體の膨脹。

液體は定まつた形のないものだから、その膨脹といへば必體膨脹のことである。この體膨脹を測定するには、寒暖計のガラス管の樣な器（第一三一圖）に液體を盛る。その表面を $a$ とする。これを $\theta$ 度溫めると、表面は $a'$ に昇る。$a\,a'$ の間の積を $v_1$ 立方サンチメートルとすると、これはこの液體の見かけの膨脹といふ




第一三一圖

下の實驗で、器を溫めるに圖の樣に湯の中に入れると、液體の表面は最初 $b$ に降り後 $a'$ に昇る。これは液體のまだ溫まらぬうちにまづガラスの器が溫まりその容積が大くなるからである。

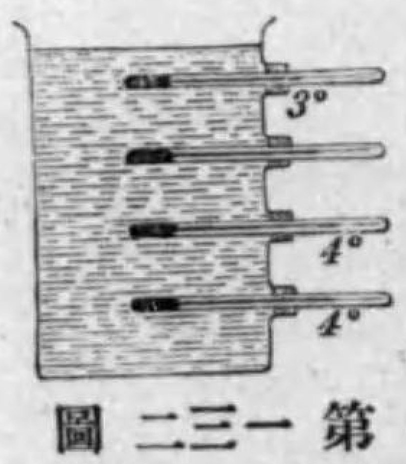
ものて眞の膨脹よりは小い。このガラス器も溫まるに從つて膨脹するから、もしこの液體とガラスとが同樣に膨脹するなら液體もガラスもともに一個の固體と同樣で、液體の表面はやはり $a$ にあつて、見かけの膨脹は零である。このガラス器の $a$ から下の容積はガラスと同樣な割合で $v_2$ 立方サンチメートルだけ膨脹するから、この液體の眞の膨脹は $v_1+v_2$ 立方サンチメートルである。$a$ から下の原の容積を $V$ 立方サンチメートルとすると、この液體の體膨脹の係數は $\frac{v_1+v_2}{\theta V}$ である。次に水銀と水とアルコールとエーテルとの膨脹の割合を示す。

| 溫度 | 水銀 | 水 | アルコール | エーテル |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1·00000 | 1·000一三 | 1·0000 | 1·0000 |
| 10 | 1·00一七九 | 1·000二六 | 1·010五 | 1·01五二 |
| 20 | 1·00三五九 | 1·001七三 | 1·0二一三 | 1·0三一二 |
| 30 | 1·00五三九 | 1·00四二五 | 1·0三二四 | 1·0四八二 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 四〇 | 一·〇〇七二〇 | 一·〇〇七七〇 | 一·〇四四〇 |
| 五〇 | 一·〇〇九〇一 | 一·〇一一九七 | 一·〇五六三 |
| 六〇 | 一·〇一〇八三 | 一·〇一六九四 | 一·〇六九一 |
| 七〇 | 一·〇一二六六 | 一·〇二二六一 | 一·〇八二八 |
| 八〇 | 一·〇一四四八 | 一·〇二八九一 | 一·〇九三四 |
| 九〇 | 一·〇一六三一 | 一·〇三五七四 | |
| 一〇〇 | 一·〇一八一五 | 一·〇四三三三 | |
| 一四〇 | 一·〇二五五六 | | |
| 一八〇 | 一·〇三三〇四 | | |
| 二〇〇 | 一·〇三六八一 | | |
| 二四〇 | 一·〇四四四二 | | |
| 二六〇 | 一·〇五二二〇 | | |
| 三〇〇 | 一·〇五五九七 | | |

水では四度のときの立積を一·〇〇〇〇〇とする。

水はその膨脹の具合が一種特別である。零度の水を溫めるに、四度までは膨脹しないで却つて收縮し、四度を越えると膨脹するので、四度では水の密度が最大である。第一三二圖の樣に、横に數個の寒暖計を挿入した器に、四度の水を盛り、これを零度の室内におくと、上部の寒暖計の示す溫度のみ降り、下の方のは容易に降らぬ。これは、冷えた水はその密度が少くなつて昇り、四度の水はいつも下に降るからである。また、この器を溫かい室内においても、右と同樣な理由で、まづ昇るのは上方の寒暖計の示す溫度で下方のは最後まで四度を示す。



第一三二圖

圓壔狀の器で、上下兩處の横孔には寒暖計を挿入し、兩寒暖計の間で圓壔の外部に環狀の棚のあるものがある。この器に水を盛り、棚の中に寒劑(一三四)を入れると、始の程は下の寒暖計のみ降り、上の寒暖計には格別感じはない。これは寒劑のために冷たくなつた水はますます密になり、器の下部の溫な

水と交換するけれども、上部の水は靜止してゐるのである。下の方の水が四度に達すると、上の寒暖計は急に降り始める。そうして、上のはますます降つて零に達しても下のはなほ四度を示す。これは、四度以下では冷たい水の方が輕いので冷えた水が上へ昇るからである。

液體の膨脹に關して一般に左の事實がある。

(い) 液體の膨脹の係數は、同じ物質の固體のときの體膨脹の係數よりは大い。

(ろ) 液體の溫度昇るほど、その膨脹の係數は大い(水は取除けである)。

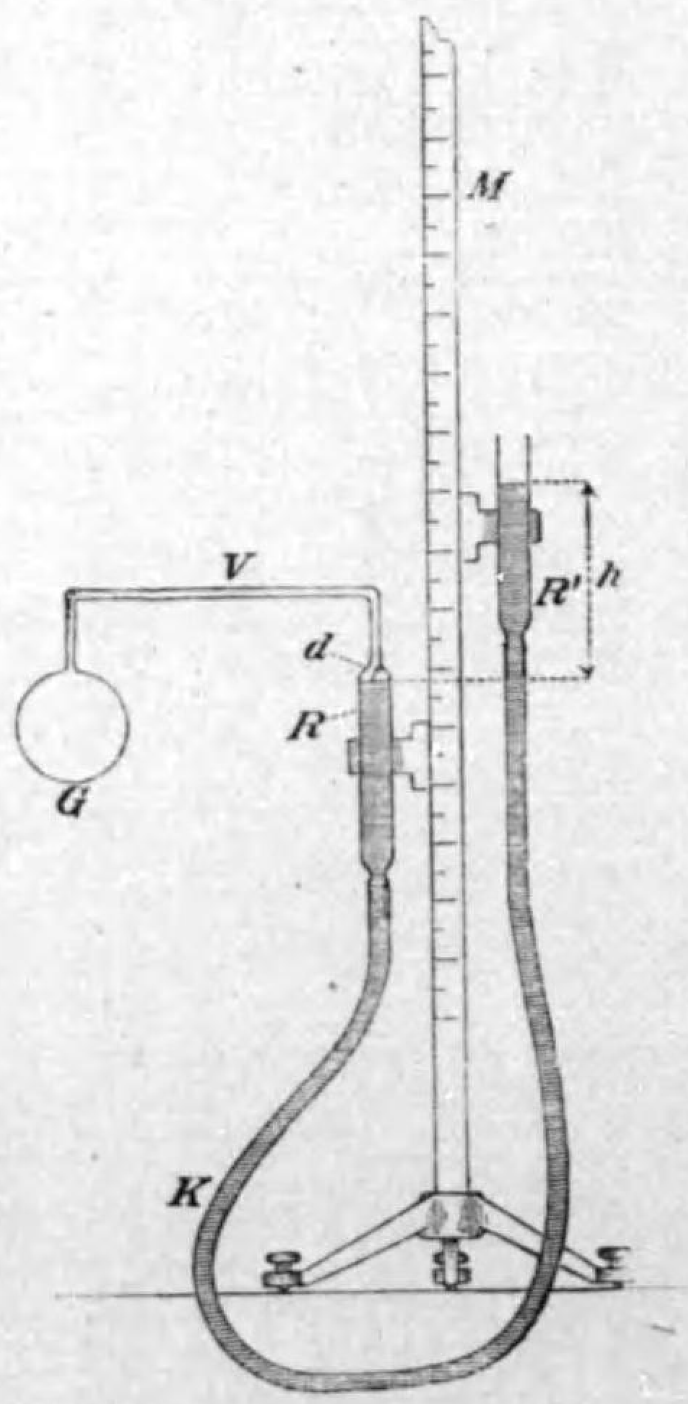
(は) 蒸發し易い液體ほど、その膨脹の係數は大い。

運動分子說(一二二)によると、膨脹にはいつでも分子力に對する仕事が要るので、同一の物質でも膨脹係數の大いときには比熱も大い。

ガラスの膨脹は、氣體のに比べると極めて小いから、下の實驗ではGの容積は變はらぬものとしてある。

**一二五　氣體の壓力と溫度との關係。** ボイルの定律(六五)では氣體の壓力はその立積に逆比例するといふが、これは溫度に變はりのない場合に限る。溫度が變はると、その立積は同じでも壓力は變はる。この關係を實驗するには次の裝置がある。

$G$のガラス器(第一三三圖)は$V$の管で$R$のやや太いガラス管に連なり、この$R$は臺に固定してある。$R'$も$R$と等しいガラス管で、これは上下に動かすことができる樣になつてゐる。$R$ $R'$は丈夫なゴム管$K$でつないである。$G$には氣體を入れ、$R$ $R'$と$K$とには水銀を入れ、$R'$の位置を



第一三三圖

加減して中の水銀面はいつでも管内につけてある突起物 $d$ に丁度達する樣にすると、$G$ に在る氣體の壓力は空氣の壓力と $R$ $R'$ の水銀面の差からできる壓力との和である。まづ $G$ のガラス器を氷で包んで零度になし、その中の氣體の壓力 $p_0$ を測る。次に $G$ を $\theta$ 度に溫め、その時の氣體の壓力 $p'$ を測る。この壓力の增加 $p'-p_0$ は溫度が $\theta$ 度だけ昇つたためにできたのである。一度に對する壓力の增加の割合を $\alpha$ とすると、

$$\alpha = \frac{p'-p}{p_0\theta} \quad \therefore \quad p' = p_0(1+\alpha\theta)$$

の關係になる。この $\alpha$ は空氣水素酸素窒素等では皆等しく、〇・〇〇三六六三である。零度で一氣壓の空氣を立積を變へぬ樣にして一〇〇度に溫めると一・三六六三氣壓になる。

## 一二六　氣體の膨脹。シャールの定律。

氣體の壓力を變へぬ場合で溫度と立積との關係を吟味しよう。零度で $v_0$ 立方サンチメートルの氣體の壓力が毎平方サンチメートル $p$ ダインであるとする。これを $\theta$ 度に溫めるとその壓力は前節により $p(1+\alpha\theta)$ となる。また、溫度 $\theta$ を變へずに、その壓力を再び $p$ に戾すと、その立積 $v$ 立方サンチメートルはボイルの定律で

$$v_0 p(1+\alpha\theta) = vp \quad \therefore \quad v = v_0(1+\alpha\theta)$$

となる。即零度のとき毎平方サンチメートル $p$ ダインの壓力で $v_0$ 立方サンチメートルあつた氣體は $\theta$ 度のときは同じ壓力で $v_0(1+\alpha\theta)$ 立方サンチメートルとなる。これを**シャールの定律**といふ。この $\alpha$ は氣體の體膨脹の係數である。水素酸素窒素等容易に液化せぬ氣體ではこの $\alpha$ は皆同一でその溫度にも壓力にも關係なくいつも〇・〇〇三六六三、即 $\frac{1}{273}$ である。液化し易い氣體では $\alpha$ は少し大い。これらの氣體でも、その密度を極小くするか、その溫度を極高くし

て最大壓力（一二九）に遠ざかつてなる有様にするとやはり$\alpha$は右の$\frac{1}{273}$に近よる。この數を理想の氣體の膨脹の係數といふ。

**一二七　理想の氣體。　絶對溫度。**　零度で毎平方サンチメートル$p_0$ダインの壓力で$v_0$立方サンチメートルの理想の氣體は、その立積が變はらなければ、$\theta$度での壓力は

$$p' = p_0\left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$$

で、もしその壓力が變はらなければ$\theta$度での立積は

$$v' = v_0\left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$$

である。また$\theta$度で壓力も立積も變はつて$p$　$v$となるなら、ボイルの定律で

$$p = p'\frac{v_0}{v}$$

と

$$v = v'\frac{p_0}{p}$$

との關係がある。右の四式から$p'$または$v'$を除くと、どちらからでも

$$pv = p_0v_0\left(1 + \frac{\theta}{273}\right) = p_0v_0\frac{273+\theta}{273}$$

の式がでる。普通に用ゐる溫度の零點は氷點といふ偶然の點だから、他の溫度を零としても少しも差支はない。負二七三度を零とすると氷點は二七三度となり、沸騰點は三七三度となる。この零點から數へた溫度を絶對溫度といひ、この零點を絶對の零點といふ。攝氏の絶對溫度を$\theta$で現はすと、右の式は

$$pv = \frac{p_0v_0}{273}\theta$$

で、この$\frac{p_0v_0}{273}$は定數だから、これを$R$とすると、

$$pv = R\theta$$

となる。即、理想の氣體はその立積が變はらなければその壓力が絶對溫度に比例し、その壓力が變はらなければ立積が絶對溫度に比例する。

**アヴォガドロの定律**によると色色の氣體のグラム分子はみな零度一氣壓では二二・四二リットルの立積であるから、$p$と$v$とを氣壓とリットルとで計ると前の式は

$$pv = \frac{22.24}{273}\theta = 0.0821\theta$$

となり、この式はあらゆる種類の理想の氣體にあてはまる。

**問題**。一グラム分子の氣體の一氣壓で五〇度のときの立積はいくらか。

答。二六・五二リットル。

## 一二八　狀態の變り。融解。

同一の物質で固體液體氣體の三體に變はるものもある。氷に熱を加へると水となり、なほ熱を加へると水蒸氣となる。水銀や水油から熱を奪ふと固體となり、炭酸ガスやアンモニアも熱を奪ふと液體となり、または固體となる。

固體の熱を得て液體となることをゆーかい（融解）といふ。蠟や飴やは熱を與へると、その溫度の昇ると共に漸次柔軟となり、終に液體となる、これらの物體では固體液體の限界が明瞭でないので、幾度から液體となつたといふことは確かりとは云へぬ。氷のやうなものは一定の溫度に達すると、いかに熱を加へてもその溫度は融解を全く終るまで少しも昇らぬ。この溫度をゆーかいてん（融解點）といふ。逆に液體の熱を奪つて融解點に達すると凝固して固體となる。この溫度を凝固點ともいふ。木紙などの有機體は熱を加へても液化せぬうちに化學的變化が起こる。液體はみな

熱を奪へば固體となる。

固體の融解するときは一般にその體積増して密度減る。ただし、氷その他小數の物質は融解と共に收縮してその密度増す。油の下の方から凍るのは固體のときの方が密度が大く、水の表面から凍るのは氷の方が密度が小いからである。

固體が融解するときにはその溫度は變はらぬでも、分子の配置に大變動があるので、この仕事のために多分の熱のエネルギーがいる。一グラムまたは一グラム分子の物質を融解するに要する熱を**融解の熱**といふ。氷の融解の熱は八〇カロリーであらゆる他の物質よりは非常に大い。それで、水の氷るときには澤山な熱が放出されるので急に寒くなることがなく、積雪の融けるときには長い時間が要るので洪水が起こらぬ。左に數種の物質の融點と融解の熱との表を掲げる。



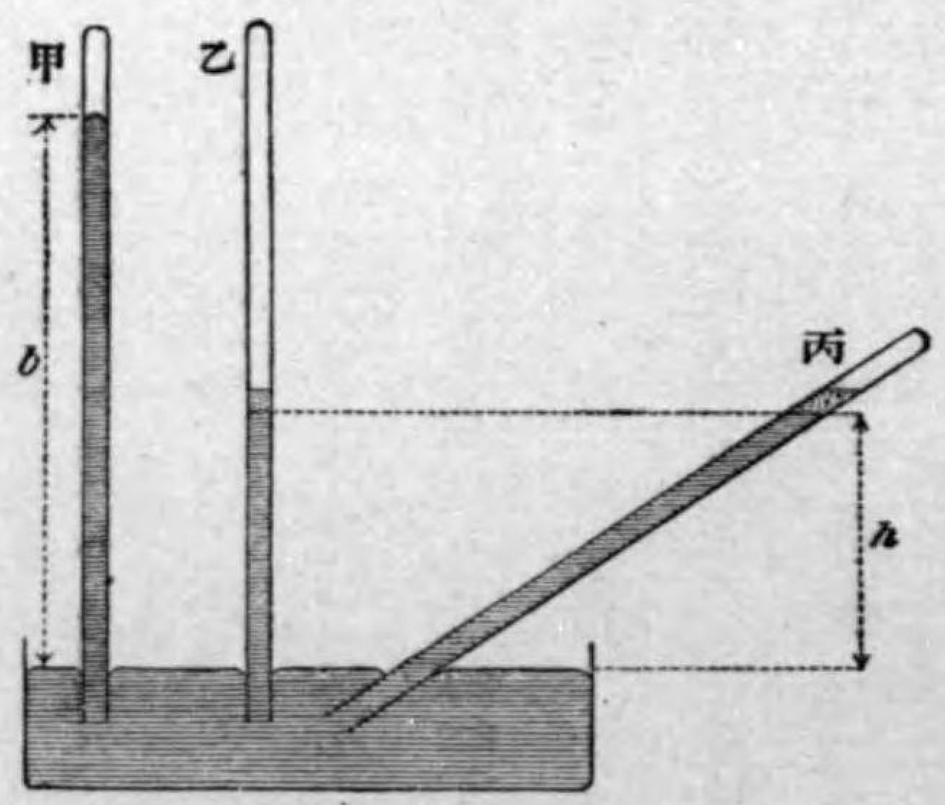
| 物質 | 融解點または凝固點 |
|---|---|
| 窒素 | 負二一四 |
| 一酸化炭素 | 負二〇七 |
| アルゴン | 負一九〇 |
| メタン | 負一八六 |
| 酸化窒素 | 負一六七 |
| エーテル | 負一一七 |
| 鹽酸 | 負一一六 |
| 硫化炭素 | 負一一三 |
| 鹽素 | 負一〇二 |
| 弗化水素 | 負九二 |
| アンモニア | 負七七 |
| 二酸化硫黄 | 負七六 |
| 二酸化炭素 | 負五七 |
| テレビン油 | 負一〇 |

| 物質 | 融解點 | 融解の熱 一グラム | 一グラム分子 |
|---|---|---|---|
| 水銀 | 負三八・八五 | 二・八二 | |
| 臭素 | 負七・三 | 一六・二 | 一二九五 |
| 氷 | 〇 | 七九・二 | |
| ベンゼン | 四・五 | 三〇・ | |
| 硫酸 | 一〇・五 | 二四・〇三 | |
| 醋酸 | 一六・七 | 四四・ | |
| 燐 | 四四・四 | 四・七四 | 一四七 |
| パラフィン | 五二 | 三五・一 | |
| 蜜蠟 | 六一・八 | 四二・ | |
| ナフタレン | 八〇 | 三五・六 | |
| 硝酸ナトリウム | 三一六 | 六五・ | |
| ウードの合金 (蒼鉛四鉛二錫一 カドミウム一) | 六五 | | |
| ローズの合金 (蒼鉛二鉛一錫一) | 九五 | | |

| 物質 | 融解點 | 融解の熱 一グラム | 融解の熱 一グラム分子 |
| --- | --- | --- | --- |
| ナトリウム | 九七・六 | 七・六 | 一七五 |
| 沃素 | 一一三～一一五 | 一一・七 | 一四八〇 |
| 硫黄 | 斜方晶 一一二～一一七　單斜晶 一二〇 | 九・四 | 三〇一 |
| 錫 | 二三二 | 一四 | |
| 蒼鉛 | 二六九 | 一二・四 | 二六〇〇 |
| カドミウム | 三二一 | 一三・七 | 一四三五 |
| 鉛 | 三二八 | 五・八 | 一二〇〇 |
| 亞鉛 | 四一八 | 二八・一 | 一八四〇 |
| アンチモン | 四二五～四五〇　無定形 六二九 | 一二・四 | 一四六五 |
| アルミニウム | 六五四 | | |
| 黄銅 | 九〇〇 | | |
| 銀 | 九六八 | 二一・一 | 二二八〇 |
| 眞鍮 | 一〇一五 | | |
| ガラス | 一〇〇〇～一四〇〇 | | |
| 金 | 一〇七二 | | |
| 銅 | 一〇八二 | | |
| コバルト | 一四〇〇 | | |
| ニッケル | 一四八四 | | |
| パラヂウム | 一五八七 | 三六 | 三八四〇 |
| 鑄鐵 | 一〇〇〇～一二〇〇 | | |
| 鋼鐵 | 一三〇〇～一四〇〇 | | |
| 鍛鐵 | 一五〇〇～一六〇〇 | 三〇 | 一七〇〇 |
| 白金 | 一七七五 | 二七・二 | 五三〇〇 |
| イリヂウム | 一九五〇 | | |

**一二九　蒸發。**　液體または固體の表面の分子が靜に氣體になることをじょうはつ（蒸發）といふ。また通常液體や固體であるものが變じてできた氣體をじょうはつき（蒸發氣）といひ、水の蒸發氣は單にじょうき（蒸汽）ともいふ。大氣の中にアルコールや水の様な液體、または樟腦の様な固體をおくとだんだんに蒸發して蒸發氣はみな空中に飛散してしまう。また廣い眞空の中にこれらの物體をおくと、ほとんど瞬間に蒸發してしまう。しかし、密閉した一定の場所ではいつも蒸發に極限がある。

第一三四圖甲の様に晴雨計の管を立て、この管の中にアルコール エーテルまたは二硫化炭素を少し容れると管中の水銀は直に乙の様に降る。空氣の溫度を二〇度とすると水銀の降る




第一三四圖

ことアルコールでは四・四五サンチメートル、エーテルでは四二・二サンチメートル、二硫化炭素では三〇・二サンチメートルほどである。これは管の中へ容れた液體からできた蒸發氣が右の様な壓力を水銀に加へるのである。この管を丙の様に斜めにすると、蒸發氣の一部分は再び液化して水銀は乙と同じ高さになり、この管を再びたてると、蒸發氣はまた殖え乙の様になる。これは蒸發氣の密度に一定の極限があるからである。この極限に達してゐる蒸發氣を壓縮するとその一部分は再び液化してその壓力も密度も少しも増さぬ。この極限に達してゐる最大壓力の蒸氣を飽和蒸氣といふ。この最大壓力は同じ液體でも溫度に依つてちがふ。左に水蒸氣の最大壓力の表を示す。

| 溫度 | 壓力(ミリメートル水銀柱) | 溫度 | 壓力(ミリメートル水銀柱) |
|---|---|---|---|
| 負三〇 | 〇・三九 | 一〇〇 | 七六〇 |
| 負二〇 | 〇・九一 | 一二〇 | 一五〇三 |
| 負一〇 | 二・〇八 | 一四〇 | 二七二五 |
| 〇 | 四・四一 | 一六〇 | 四六三四 |
| 一〇 | 八・八四 | 一八〇 | 七四九五 |
| 二〇 | 一六・八七 | 二〇〇 | 一一六二五 |
| 三〇 | 三〇・七五 | 二二〇 | 一七九七九 |
| 四〇 | 五三・七六 | 二四〇 | 二五一六七 |
| 五〇 | 九〇・四五 | 二六〇 | 三五七六一 |
| 六〇 | 一四三・五〇 | 二八〇 | 五〇五九七 |
| 七〇 | 二三〇・八四 | 三〇〇 | 六七六二〇 |
| 八〇 | 三五二・三七 | 三二〇 | 八八三四三 |
| 九〇 | 五三・七四 | 三四〇 | 一一三八二八 |
| 一〇〇 | 七六〇・〇〇 | 三六〇 | 一四一八六五 |

固體も場合によつては液體の有樣を經ずに直に蒸發氣となる。樟腦や沃素を少し溫めると、直に蒸發する。なほ強く熱すると、

一部は蒸發しながら殘部は融解する。氷も同樣な現象を示す。右の表によると、零度での水蒸氣の最大壓力は水銀柱〇・四四サンチメートルであるからこの溫度の氷も始終蒸發しつゝある。冬季乾いた氣候のとき雪の融けずに消失するのはこの理である。

液體が空氣中または他の氣體の中で蒸發するときは外氣の壓力があるために眞空でよりは遲いけれども、やはり液體から出る蒸發氣のみの壓力が最大壓力に達するまでは蒸發を續ける。たとへば、一五度での水蒸氣の最大壓力は一二・七ミリメートルである。空氣の壓力がすでに七六〇ミリメートルもあつても、水蒸氣のみの壓力がその最大極限に達するまでは蒸發は止まぬ。

**問題一。** 壓力七六〇ミリメートル溫度二〇度の大氣の飽和するまで水が蒸發したときには空氣はどうなる。

答。水蒸氣を飽和した空氣の壓力はやはり七六〇ミリメートルで、その中水蒸氣のみの壓力が一六・八七ミリメートルであるから眞の空氣のみの壓力は七四三・一三ミリメートルである。

**問題二。** この空氣が密閉してあるときはどうである。

答。空氣のみの壓力が七六〇ミリメートルで水蒸氣のみの壓力が一六・八七ミリメートルだから、飽和空氣の壓力は七七六・八七ミリメートルとなる。

**一三〇　濕度。** 人體に感ずる空氣の濕りの度合は空氣の中の水蒸氣の絕對の量には拘はらぬ。空氣中にある水蒸氣の壓力とその溫度での水蒸氣の最大壓力との割合による。この割合を百分比で表したものを空氣の濕度といふ。濕度が一〇〇であるときは空氣中にある水は最早少しも蒸發せぬ。それで、濕つた物は少しも乾かぬ。空氣の濕度が小いと濕つたものは速く乾く。また濡れたものを乾かすときにそれから出る水蒸氣のためにその近邊の空氣は濕めるから、風があつてこの濕めつた空氣がはやく他の乾いたのと更

代するときは乾きかたが速い。また空氣を溫めると水蒸氣の量は同じでも濕度が減るので乾きかたは速くなる。

**問題一。** 空氣の溫度が一〇度のとき水蒸氣の壓力が八・一ミリメートルなら濕度はいくらか。

答。九二。

**問題二。** 溫度二〇度のとき水蒸氣の壓力一〇ミリメートルならこのときの濕度はいくらか。

答。五九。

**問題三。** 水蒸氣の密度は同溫度同壓力の空氣の密度の〇・六二三倍である。壓力七六〇ミリメートル溫度二〇度で濕度八〇の空氣の密度はいくらか。但しこの壓力で〇度で乾いた空氣の密度は〇・〇〇一二九三である。

答 〇・〇〇一一九七CGS單位。

**一三一 沸騰。** 水などの樣な液體を空氣の中で熱すると、漸次に溫まり表面の蒸發は次第次第に活潑となる。 ある一定の溫度に達すると、液體の下層よりも泡沫を生じ、ふっとー(沸騰)を始める。それから後はいくら盛んに熱してもただ盛んに沸騰するばかりで溫度は少しも昇らぬ。この溫度をその液體の**沸騰點**といふ。 液體の內部の壓力は常に外氣の壓力よりは少し大いから、その蒸發氣の最大壓力が外氣の壓力より小い間は蒸發氣は液體の內部に成立つことはできぬ。けれども最大壓力が外氣の壓力に等しいか、或は少し高い位になれば、蒸發氣は液體の表面ばかりでなく、液體中如何なる部分にも成立つことができて液體の直接に熱を得る部分、卽最下面に泡沫を生ずる。そうして如何に急に熱を加へても、この熱を受ける液體は直に蒸發するから液體の溫度は之より昇ることはない。 沸騰點は最大壓力と外氣の壓力と等しいときの溫度であるといふことを示す簡單な實驗がある。 水またはぬる湯

を容れた器を空氣ポンプの釣鐘ガラスの内におき、空氣をぬくと、水の蒸發は次第次第に活潑になり終に沸騰する樣になる。またフラスコに半分ほど水を容れこれを熱して沸騰させるとフラスコの上部の空氣はみな排出せられて水蒸氣のみになる。そこでフラスコを火からおろして栓をし、倒にしてその底に靜かに冷水を灌ぐとフラスコの中の水蒸氣は一部凝結してその壓力が減り水は再び沸騰する樣になる。

高山の上では空氣の壓力が少いので、水は低い溫度で沸騰する。

問題。富士山の絶頂では空氣の壓力はおよそ四七五ミリメートルである。そこで湯を沸かすと何度で沸騰するか（一二九）。

答。およそ八七度。

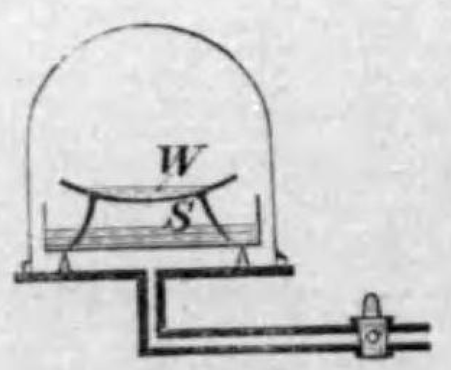
**一三二 氣體の液化。** 蒸發氣にはみなその溫度に相當する最大壓力があつて、すでにその壓力に達してをる蒸發氣をなほ壓縮すると、その一部分は液化する。たとへばシヤンと二酸化硫黄とは零度で通常の壓力では氣體であるけれども、これに三氣壓の壓力を加へると液化する。同樣に鹽素は四氣壓、アンモニアは六・五氣壓、鹽化水素は二七氣壓、二酸化炭素は三九氣壓で液化する。然るに酸素や窒素は零度では勿論、負一二〇度位の溫度では、數千氣壓の壓力を加へても決して液體にならぬ。各の氣體には、それぞれ一定の極限があつてそれより高い溫度ではその氣體は如何なる壓力を加へても液化せぬ。この溫度をその氣體の界溫度といひ、界溫度での最大壓力を界壓力といふ。次にいろいろの物質の界溫度と界壓力とを示す。

| 物質 | 界溫度 | 界壓力（氣壓） | 物質 | 界溫度 | 界壓力（氣壓） |
|---|---|---|---|---|---|
| 水素 | 負二三四・五 | 二〇 | 空氣 | 負一四〇 | 三九 |
| 窒素 | 負一四六 | 三五 | 一酸化炭素 | 負一三九・五 | 三五・五 |

| | | |
|---|---|---|
| 酸素 | 負 一一八・八 | 五〇・八 |
| 一酸化窒素 | 負 九三・五 | 七一・二 |
| メタン | 負 八一・八 | 五四・九 |
| エチレン | 一〇・一 | 五一・〇 |
| 二酸化炭素 | 三〇・九二 | 七七・〇 |
| エタン | 三五・〇 | 四五・二 |
| 亞酸化窒素 | 三五・四 | 七五・〇 |
| 鹽化水素 | 五一・二五 | 八六・〇 |
| 硫化水素 | 一〇〇・〇 | 八八・七 |
| アンモニア | 一三〇・〇 | 一一五・〇 |
| 鹽素 | 一四一・〇 | 八三・九 |
| 二酸化硫黄 | 一五五・四 | 七八・九 |
| エーテル | 一九七・〇 | 三五・八 |
| アルコール | 二四三・六 | 六二・七六 |
| 二硫化炭素 | 二七五・〇 | 七七・八 |
| ベンゼン | 二八〇・六 | 四九・五 |
| 臭素 | 三〇二・二 | — |
| 水 | 三六四・三 | 一九四・六一 |

あらゆる氣體は界溫度以下に冷却し、その溫度での最大壓力を加へるとみな液體となる。この方法により液化した二酸化炭素は、ラム子の製造、物體の冷却などいろいろな應用がある。ドイツではビヤホールで樽ビールを押しだすのに用ゐるため澤山な需用があつて十リットル入りの鐵の瓶に入れたもの一本一・二圓づつで市中に配達してゐる。また近年は空氣なども隨分多量に液化することができ、いろいろな應用がある。

**一三二　蒸發の熱。**　液體と氣體とは分子の配置にちがひがあるから變化を起こすにもエネルギーがいる。一三一の實驗の樣に空氣ポンプの釣鐘ガラスの内に、水をすこし容れたうすい時計ガラスをおき（第一三五圖）、空氣をぬくと、水蒸氣は盛んに蒸發する。この時計ガラスの下に強硫酸を容れた器をおくと、この硫酸が水蒸氣を吸收するために蒸發はなほいちじるしい。



第一三五圖

水は始めは沸騰するが蒸發のために澤山のエネルギーを要するので、その溫度は漸次に低くなつて終には氷結する。

身體をエーテルやアルコールの如き蒸發し易い物で濡らすと、寒冷を感ずるのはその蒸發のために身體の熱をとられるからである。

一グラムまたは一グラム分子の液體を蒸發するに要する熱量をその物

液體二酸化炭素の沸騰點は、一二八の表にあるその融解點よりも低い。この物質の外に同樣な性質を持つてゐることの知れてゐるものは炭素 アルセン 弗化珪素である。

質の蒸發の熱といふ。次にいろいろの液體の沸騰點とその沸騰點での蒸發の熱との表を示す。

| | 沸騰點 | 蒸發の熱（一グラムの） |
|---|---|---|
| 液體窒素 | 負一九三・ | |
| 液體空氣 | 負一九一・四 | |
| 液體酸素 | 負一八一・四 | |
| 液體二酸化炭素 | 負七九・五 | 一四二・三 |
| 液體アムモニア | 負三八・五 | 二九四 |
| 液體鹽素 | 負三三・六 | |
| 液體二酸化硫黃 | 負一〇・一 | 九一 |
| エーテル | 三四・九 | 九〇 |
| 二硫化炭素 | 四七・ | 一〇六 |
| 臭素 | 五九—六三 | 四四 |
| クロロフォルム | 六一・二 | 五八・五 |

| | 沸騰點 | 蒸發の熱（一グラムの） |
|---|---|---|
| アルコール | 七八 | 二〇二 |
| ベンゼン | 八〇・四 | 九三・五 |
| 硝酸 | 八六 | 一一五 |
| 水 | 一〇〇 | 五三六 |
| 蟻酸 | 一〇〇・六 | 一二〇 |
| 醋酸 | 一一八・一 | 八五 |
| 沃素 | 二〇〇以上 | 二四 |
| 燐 | 二八七 | |
| グリセリン | 二九〇 | |
| 水銀 | 三五七 | 六二 |
| 硫黃 | 四四八 | 三六二 |



| | |
|---|---|
| セレニウム | 六六四—六八三 |
| カドミウム | 七二〇—八六〇 |
| ナトリウム | 七四二—九五四 |
| 亞鉛 | 八九一—九四二 |
| マグネシウム | およそ 一一〇〇 |
| アルミニウム | およそ 一四五〇 |
| 鉛、錫、蒼鉛 | およそ 一五〇〇 |

蒸發の熱はその物質の一グラムが氣體であるときに持つてゐるエネルギーと液體であるときに持つてゐるエネルギーとの差で、これらのエネルギーの量はその溫度によつて異なるから、蒸發の熱は蒸發するときの溫度によつて異なるはづである。左に水 エーテル クロロフォルムの蒸發の熱と溫度との關係を示す。

| | 零度 | 二〇度 | 四〇度 | 六〇度 | 八〇度 | 一〇〇度 | 一二〇度 | 一四〇度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水 | 六〇六・五 | 五九二・六 | 五七八・七 | 五六四・六 | 五五〇・六 | 五三六・五 | 五二二・三 | 五〇八・〇 |
| エーテル | 九三・五 | 九一・一 | 八八・三 | 八五・二 | 八一・五 | 七七・六 | | |
| クロロフォルム | 六七・〇 | 六五・二 | 六三・四 | 六一・四 | 五九・三 | 五七・〇 | | |

**一三四 溶解の熱。** 氣體でも液體でも固體でも同溫度の液體に溶解するときは一般に熱が現はれたり消失したりする。一グラムまたは

一グラム分子の物質が充分澤山な溶解液に溶解するとき現はれる熱量をその物質の**溶解の熱**といふ。

次の表は一八—二〇度の水にこれらの物質の溶解するとき現はれる熱を示す。負號は消失するのを示す。液體の溶解の熱は一般に氣體のよりは少く、固體のはなほ少く多くは負である。これは分子說によつて手易く說明ができる。氣體の分子が溶液にいると、その自由の運動ができなくなるので、必多少の運動のエネルギーが熱になる。液體と固體とは、一旦氣體になつてから溶解すると想像すると、その氣體での溶解の熱と蒸發の熱との差がその溶解の熱であるので後者の大い固體は多く負數となる。

| 氣體 | | 一グラム | 一グラム分子 |
|---|---|---|---|
| 鹽素 | $Cl_2$ | 六八・七 | 四八七〇 |
| 二酸化炭素 | $CO_2$ | 一三四・ | 五八八〇 |
| アムモニア | $NH_3$ | 四九四・一 | 八四三〇 |
| 鹽化水素 | $HCl$ | 四八八・一 | 一七三一〇 |

| 液體 | | 一グラム | 一グラム分子 |
|---|---|---|---|
| メチルアルコール | $CH_4O$ | 六二・五 | 二〇〇〇 |
| エチルアルコール | $C_2H_6O$ | 五五・一 | 二五四〇 |
| エチルエーテル | $C_4H_{10}O$ | 八〇・〇 | 五九四〇 |
| 醋酸 | $C_2H_4O_2$ | 七・〇 | 四二〇 |
| 硫酸 | $SO_4H_2$ | 一八二・〇 | 一七八五〇 |

| 固體 | | 一グラム | 一グラム分子 |
|---|---|---|---|
| 苛性カリ | $KOH$ | 二二三・七 | 一二五〇〇 |
| 苛性カリ（結晶） | $KOH+2H_2O$ | 〇・四 | 負　三〇 |
| 鹽化ナトリウム | $NaCl$ | 二〇・一 | 負　一一八〇 |
| 鹽化カリウム | $KCl$ | 五九・六 | 負　四四四〇 |
| 鹽化水銀 | $HgCl_2$ | 一一・一 | 負　三〇〇〇 |
| 鹽化銀 | $AgCl$ | 一一〇・二 | 負　一五八〇〇 |
| 蔗糖 | $C_{12}H_{22}O_{11}$ | 二・四 | 負　八〇〇 |

小量の水に、溶解の熱の負數であるものを澤山溶解すると、溶液の溫度は降る。この樣な混合物を寒劑といふ。二つの固體の混合物が液體となる場合には融解のためにも熱を要するから混合物の溫度はなほ一層多く降る。食鹽卽鹽化ナトリウムの水溶液は適當の濃さなら負二一度まで液體であるから、氷の碎いたのと食鹽とを混合すると溶解のためと氷の融解のためとに

熱が消失するので、混合物の溫度はいちじるしく降る。次に種種の寒劑の表を示す。

| 混合物 | 割合 | 最初の溫度 | 最後の溫度 |
|---|---|---|---|
| 鹽化ナトリウム<br>雪 | 三三<br>一〇〇 | 〇 | 負三 |
| 鹽化カルシウム<br>雪 | 一〇〇<br>七〇 | 〇 | 負五四・九 |
| 硝酸アムモニア<br>雪 | 一〇〇<br>一三一 | 〇 | 負一七・五 |
| 固體の二酸化炭素<br>エーテル | | | 負七七 |

**一三五　化合の熱。** 化合の熱とはある化合物の一グラム分子がその原素から化合するときに放出する熱のエネルギーである。ある化學反應に關係するあらゆる物質の化合の熱が知れてなると、その反應のときに現れる熱量を計算することができる。ある化學方程式の左方の物質の化合の熱を右方の物質の化合の熱の和から減じたものがこの反應に現れる熱量である。次の表は重要な化合物の化合の熱を示す。第三段は物質の有樣の適要である。方程式の一方が氣體であるときは氣壓に對する仕事を加減しなくてはならぬ。たとへば、第一行の酸素と水素とが化合して水になる場合には一・五グラム分子の氣體が液體に變じて極少しの立積になるから空氣の壓力のする仕事に相當するだけ餘計な熱が現れる譯である。また、第二行第三行ではCが金剛石であるときの數が與へてあるから、もしCが黑鉛なら五〇〇カロリー木炭なら三三四〇カロリーだけ表の數よりは多くの熱が現れる。これは同じ炭素でも金剛石と黑鉛と木炭とはその分子の配置が異なるからである。

| 反應の式 | 一グラム分子 | 適要 | 反應の式 | 一グラム分子 | 適要 |
|---|---|---|---|---|---|
| $2H+O=H_2O$ | 六七、五三〇 | 水 | $C+O=CO$ | 二六、六〇〇 | 金剛石 |
| $C+2O=CO_2$ | 九四、三〇〇 | 金剛石 | $S+2O=SO_2$ | 七一、〇八〇 | 斜方晶 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $H+F=HF$ | 三八,六〇〇 | Fは氣體 | |
| $H+Cl=HCl$ | 二二,〇〇〇 | Clは氣體 | |
| $H+Br=HBr$ | 八,四〇〇 | Brは液體 | |
| $H+I=HI$ | 負 六,一〇〇 | Iは固體 | |
| $N+3H=NH_3$ | 一二,〇〇〇 | | |
| $N+O=NO$ | 負 二一,〇〇〇 | | |
| $N+2O=NO_2$ | 負 七,七〇〇 | | |
| $2N+4O=N_2O_4$ | 負 二,六〇〇 | | |
| $K+F=KF$ | 一〇九,五〇〇 | | |
| $K+Cl=KCl$ | 一〇五,六〇〇 | | |
| $K+Br=KBr$ | 九五,三〇〇 | | |
| $K+I=KI$ | 八〇,一〇〇 | | |

有機物の化合の熱は一般に澤山の酸素のなかでの燃燒によつて測定する。燃燒の發生物は水二酸化炭素二酸化硫黄等であつて、その化合の熱が知れてるから有機物の化合の熱も分かる。次に重要な有機物の燃燒の熱を示す。また、熱を得る最普通の方法は燃料を燒くのであるから、主な燃料一グラムまたはリットル一リットル毎の燃燒の熱をも示す。

| 有機物の燃燒の熱 | | 一グラム分子 |
|---|---|---|
| アルコール | $C_2H_6O$ | 三四〇,〇〇〇 |
| マンニト | $C_6H_{14}O_6$ | 七二七,〇〇〇 |
| セルロース | $C_6H_{10}O_5$ | 六八〇,〇〇〇 |
| 蔗糖 | $C_{12}H_{22}O_{11}$ | 一,三五五,〇〇〇 |
| 醋酸 | $C_2H_4O_2$ | 二一〇,〇〇〇 |
| 安息酸 | $C_7H_6O_2$ | 七七二,〇〇〇 |
| 醋酸エチル | $C_4H_8O_2$ | 五五四,〇〇〇 |
| 尿素 | $CON_2H_4$ | 一五二,〇〇〇 |

| 燃料一グラムの燃燒の熱 | |
|---|---|
| 石炭 | 七五〇〇 |
| コークス | 六五〇〇 |
| 褐炭 | 四五〇〇 |
| 泥炭 | 三〇〇〇 |
| 木炭 | 七〇〇〇 |
| 薪 | 二八〇〇 |
| 石油 | 一〇〇〇〇 |

| 氣體燃料一リットルの燃燒の熱 | | 原料一キログラムよりできるガス(立方メートル) | |
|---|---|---|---|
| 天然ガス | 七九〇〇 | | |
| 石炭ガス | 六一〇〇 | 石炭 | 〇・三 |
| シーメンスガス | 一三〇〇 | 石炭 | 四・五 |
| ダウソンガス | 一四〇〇 | 石炭 | 四・八 |
| 水成ガス | 二六〇〇 | コークス | 一・一 |

| 主な國國の一九〇一年石炭の | 產出高(百萬トン) | 消費高(百萬トン) | 炭坑渡し一トンの價(圓) |
|---|---|---|---|
| イギリス | 二三九 | 一六一 | 四・六 |
| 合衆國 | 二六二 | 二五六 | 二・八 |
| ドイツ | 一〇九 | 九七 | 四・六 |
| フランス | 三三 | 四五 | 六・三 |
| ベルギー | 二三 | 一九 | 六・一 |
| ロシア | 一六 | 二〇 | — |
| オーストリアホンガリア | 三三 | 一八 | — |
| 日本 | 九 | 六 | 三・四 |
| 全世界 | 七〇〇 | — | — |



**問題一。** 二〇度一氣壓で酸素一グラム分子と水素二グラム分子と

一九〇四年の石油の産出高（百萬トン）。
合衆國　一六
ロシア　一一
全世界　二九

一九〇三年までの日本
石炭産出高
九、九七九、〇〇〇トン
石油産出高
一、〇六五、〇〇〇石
石炭消費高
船舶用
一、七一七、〇〇〇トン
鐵道用
七二二、〇〇〇トン
工場用
三、六一七、〇〇〇トン
鹽製用
八一九、〇〇〇トン
合計
六、八六四、〇〇〇トン

が化合する場合に、空氣の壓力の仕事のためにできる熱量はいくらか。

答。**一二七**により酸素と水素との立積は $0.0821(273+20)$ リットルで、一リットル氣壓の仕事は二四・三カロリー（**一一八**問題**二**）に相當するから空氣の仕事のためにできる熱量は上の二數と三との乘積一七五〇カロリーである。

**問題二**。方一メートル深さ五〇サンチメートルの湯槽に一杯の水を一五度から四〇度まで熱するにはいくらの燃料がいるか。

答。一・八キログラムの木炭または四・五キログラムの薪

**問題三**。石炭ガスシーメンスガスダウソンガスは、これを燃料として用ゐると、その原料の石炭を直に燃料とする場合の幾割の熱を出すか。

答。石炭ガス二・四割。シーメンスガス七・二割。ダウソンガス九割。

**動物のエネルギー**。動物の活動に要するエネルギーはみなその食物から來る。人の食物の主成分は蛋白質脂肪澱分等の如き復雜な有機物で、これらは空氣から來る酸素と化合して人體にエネルギーを供給し、尿素尿酸二酸化炭素水などの比較的簡單なものとなつて體外に排出せられる。脂肪の出すエネルギーは一グラムにつき九一〇〇カロリーで、蛋白質澱分等はおなじく四一〇〇カロリーである。いろいろの食物はその成分さへ分かれは、右の數によりその人體に與へうるエネルギーの量を計算することができる。左に主な食物一〇〇グラムのエネルギーをカロリーで計つた數を示す。

| | | | |
|---|---|---|---|
| 牛乳 | 六七、五〇〇 | 米 | 三五〇、〇〇〇 |
| 玉子 | 四一〇、〇〇〇 | パン | 二五八、八〇〇 |
| 牛肉 | 一四二、〇〇〇 | 饂飩 | 三五三、〇〇〇 |
| 鳥肉 | 一〇六、〇〇〇 | 豆 | 三一八、〇〇〇 |
| 魚肉 | 七〇、〇〇〇<br>一三〇、〇〇〇 | | |

食物の成分は同樣でもその消化のよしあしによつて人體の得るエネルギーに多少のあるのは勿論である。

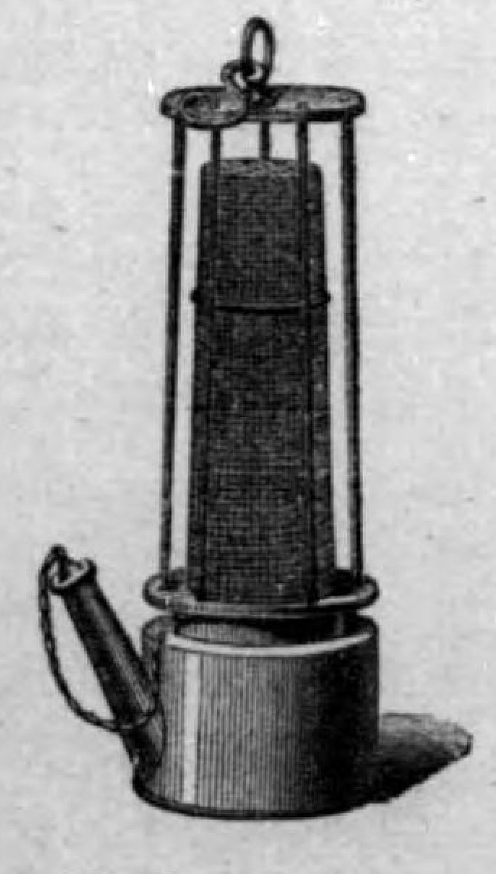
人の毎日要するエネルギーはその體量一キログラムについて、大人なら三五、〇〇〇から四〇、〇〇〇カロリー小兒なら一〇〇、〇〇〇カロリー位である。

## 一三六　熱の傳導。

熱が物體の高溫度の部分から低溫度の

部分に分子から分子へと傳はるのをでんどー（傳導）といふ。これは分子の運動のエネルギーが次ぎ次ぎの分子へ傳はるのである。金屬棒の一端を熱すると、他端も熱くなつて持つことのできぬ様になるのは、この一例である。傳導の速さは物質によつてちがふ。金屬の様によく傳へるものを良導體といひ、木・毛布などの様によく傳へぬものを不良導體といふ。

やや太い銅の棒に堅く紙を巻きつけ、これを暫時炎の上においても紙が焦げぬのは銅が良導體であるために紙が急に熱くならぬのである。また金網をアルコールランプの炎の上におくと炎は網の上に出ぬのも同理による。石炭坑の中では時時澤山なガスができ空氣と混じ炎に觸れて爆發することがある。これを豫防するために坑内では第一三六圖の様な**安全燈**といふものを用ゐる。これは炎の周圍を目の細い金網で包んだものである。

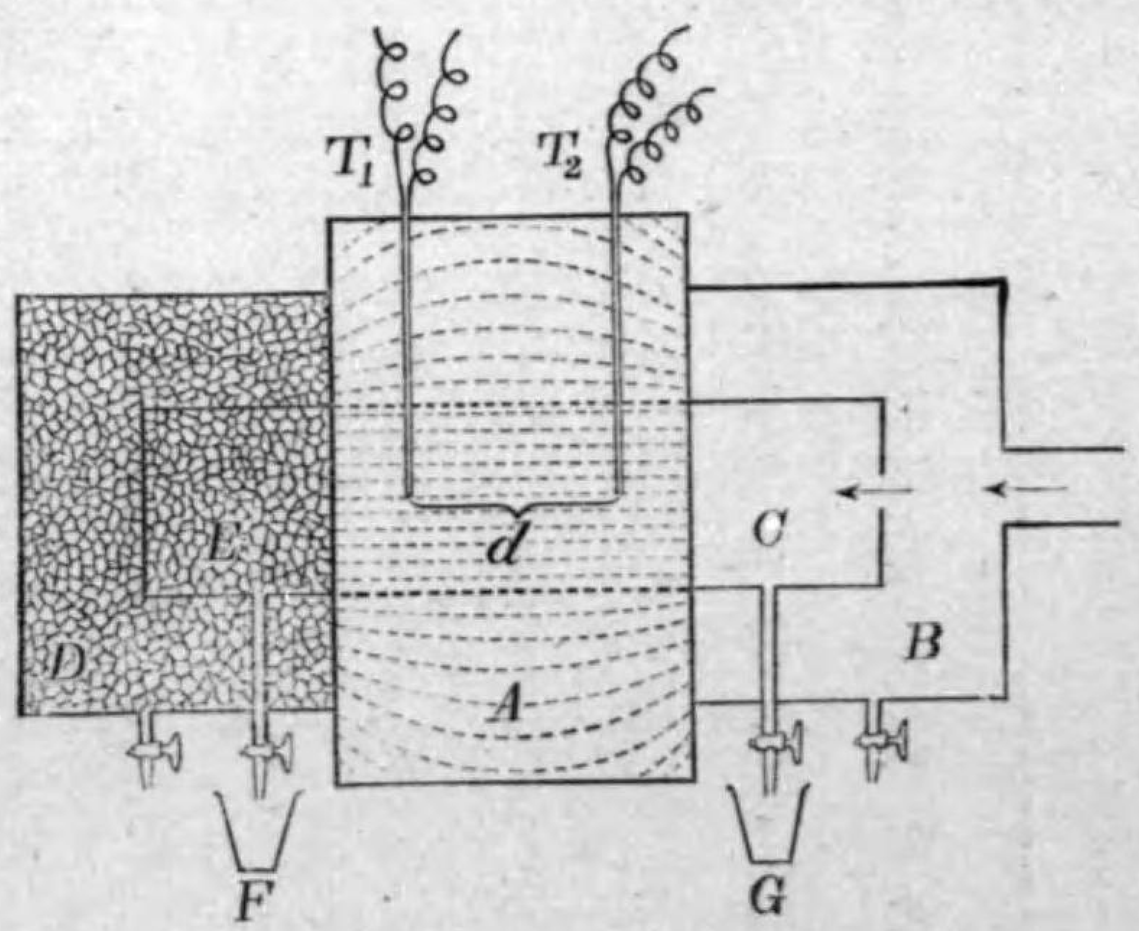


第一三六圖

厚さ $e$ サンチメートルの大な板の兩方の溫度を $\theta_1$ $\theta_2$ とすると、その $A$ 平方サンチメートルだけの面積を横ぎ切つて高溫度の面から低溫度の方へ $t$ 秒時間に傳はる熱量 $Q$ カロリーは $A$ と $\theta_2-\theta_1$ と $t$ とに比例し $e$ に逆比例する。即

$$Q = k\frac{A(\theta_2-\theta_1)}{e}t$$

である。$k$ は厚さ一サンチメートルの板の兩方の溫度の差が一度であるときに一サンチメートル平方だけの




第一三七圖

面積を横切つて一秒時間に傳はる熱をカロリーで計つたもので、これをその物質の傳導度といふ。第一三七圖Aは傳導度をためすべき物質でCに蒸氣Eに氷を入れると、Aの兩方は一〇〇度と零度とになる。Cの熱の他に傳はらぬためにBの蒸氣で包み、Eの氷に他から熱の來ぬためにEをまたDの氷でつつんである。$t$秒時間にEの氷の融けてFに流出した量によつて、Eに接してをるだけの面積を横切つてこの時間にAを通過した熱量を測る。次に色色の固體の普通の溫度での傳導度の表がある。

| | | | |
|---|---|---|---|
| 銀 | 一・〇九六 | 氷 | 〇・〇〇六 |
| 銅 | 一・〇四一 | 黑鉛 | 〇・〇〇五 |
| アルミニウム | 〇・三四四 | 大理石 | 〇・〇〇五 |
| 亞鉛 | 〇・三〇三 | ガラス | 〇・〇〇二五 |
| 鐵 | 〇・一六七 | コルク | 〇・〇〇〇七 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 硫黃 | 〇・〇〇〇六七 | 角 | 〇・〇〇〇〇九 |
| パラフィン | 〇・〇〇〇三 | | |

液體は、融解した金屬の外、その傳導度は一般に小い。試驗管に水をいれ氷塊に重りをつけてその中に沈め、アルコールランプで管の上部を熱すると、水は沸騰しても氷はみな融けぬ。これも水の傳導度の小いことを示す一例である。液體のいつた器を底から熱すると液體の溫まつた部分は膨脹して上騰し他の部分が入り代つて器の底に來るので、液體の全體が溫まる。この現象をたいりう(對流)といふ。ガラス器の中の水に鋸屑をいれ、これを底から熱すると鋸屑の運動によつて對流の道が知れる。

氣體の中で熱の傳播するのも主に對流による。液體や氣體では對流のために傳導度の測定は餘程困難である。次に主な液體と氣體との傳導度を示す。

| 液體 | |
|---|---|
| 水銀 | 0·0一五二 |
| 水 | 0·00一四 |
| グリセリン | 0·000七 |
| アルコール | 0·000四 |
| エーテル | 0·000三 |

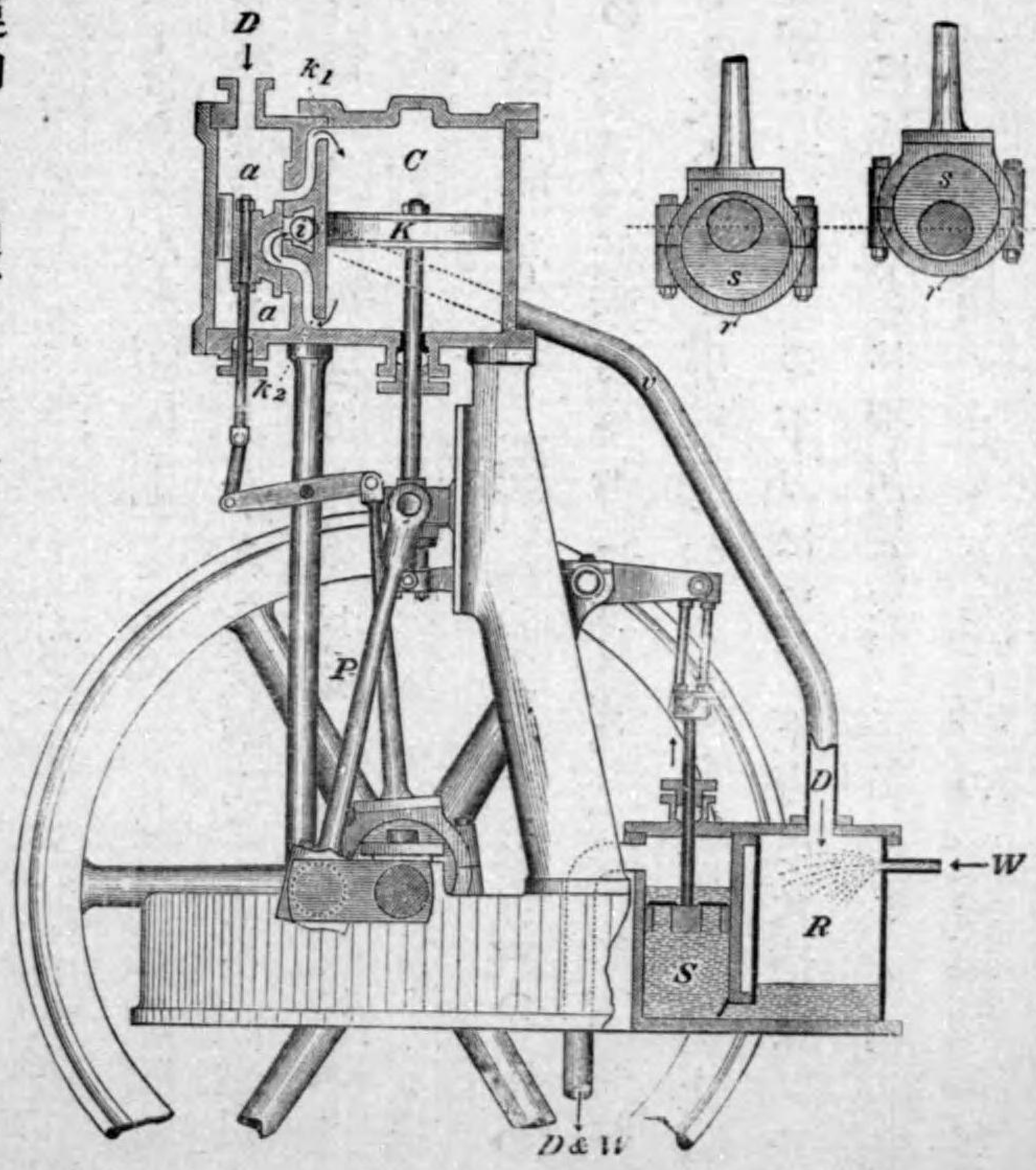
| 氣體 | |
|---|---|
| 水素 | 0·000四0 |
| 空氣 | 0·0000五六 |
| 二酸化炭素 | 0·0000三 |

熱の一所から他所に傳はるにはなほ一法がある。それは物體の熱のエネルギーが輻射のエネルギーになつて空中に傳播し、他の物體に達して再び熱のエネルギーになるのである。これも通常熱の傳播の一法として數へるけれども、熱が中間では他種のエネルギーに變形するのであるから、これは純粹の熱の傳播ではない。輻射のエネルギーのことは第五編で論ずる。

## 第一一章　熱機關

**一三七　蒸汽機關。**　第三編に云つた熱源動機の最普通なものはじょーききかん(蒸汽機關)である。第一三八圖はその最簡單な形を示す。じょーきがま(蒸汽罐)で作つた高壓力の蒸汽は、$D$の口から$a$を通つて$K$のピストンの一方$C$に入り、その他方にある蒸汽は$iv$の管により$R$のコンデンソルに通ふ。$K$のピストンは、蒸汽罐から來る蒸汽とコンデンソルの中の蒸汽の壓力との差で、低壓力の方に押される。$K$が下端に達すると、$a$にあるすべりべん(滑り瓣)と稱する蓋の樣なものは上方に滑り、$D$より來る蒸汽は$K$の下方にいり、上方の蒸汽は$iv$によつてコンデンソルに通じ、ピストン$K$は押しあげられる。このピストン$K$の往復運動は、クランク滑り連鎖の作用でクランクとはづみ車の廻轉運動となる。また

この廻轉運動から通常クランク滑り連鎖(この圖ではそれと四つ棒連鎖との組合せたもの)によつて、滑り瓣の往復運動を起こす。このクランク



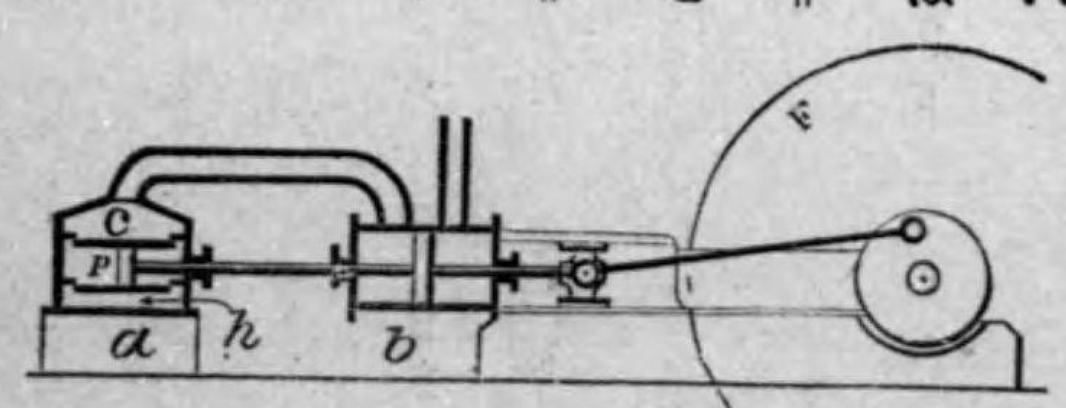

第一三八圖

滑り連鎖の(この圖では四つ棒連鎖の)クランクは通常圖の上方に別に示してある樣な特別な形にしてある。sの圓板は軸に固着して、つがひ棒の下端の環rがそれにはまつてゐるから、sが軸とともに廻轉するとつがひ棒の上端は上下に往復運動をする。このsの圓板が通常のクランク滑り連鎖のクランクに相當する部分である。これをひがらわといふ。ひがら輪と、ピストンに附屬するクランクとの間の角によつて滑り瓣の位相の加減ができる。

コンデンスルはピストンの一方の壓力を成るべく小くするためのものである。コンデンスルの附いてゐる蒸汽機關を低壓機關といふ。Wの孔からポンプで冷水を吹きこむとその中の蒸汽は冷えて凝結し、そこに殘つてゐる空氣も吸收する。この水はSのポンプでまた他に送り出す。この水は多少温まつてゐるからその熱を利用するために特別のポンプでまた蒸汽罐の中に送りこむこともある。小形の蒸汽機關では構造を簡略

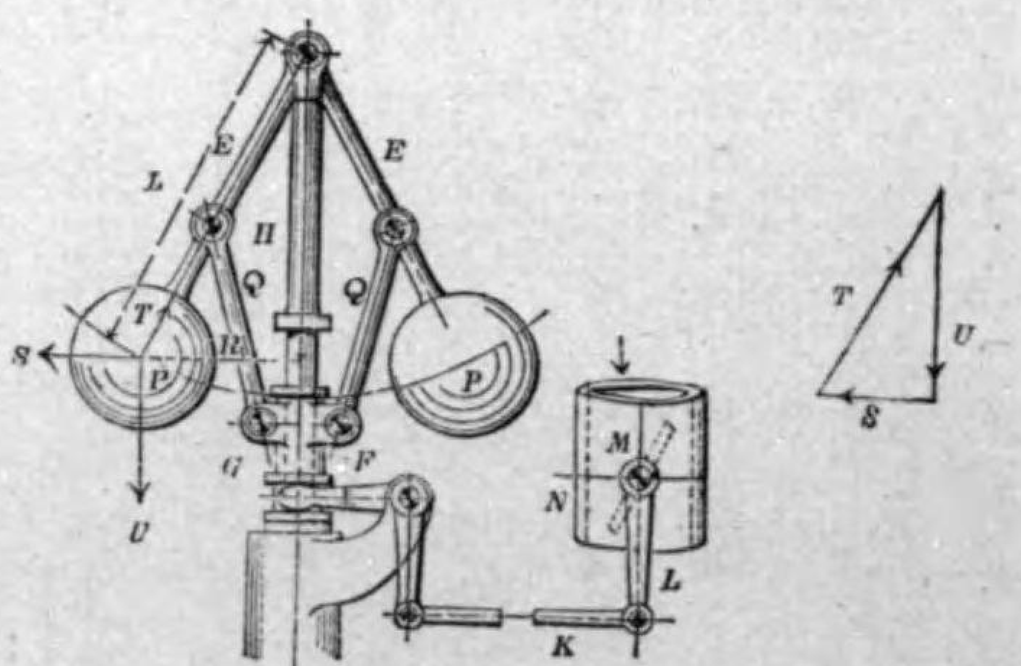
にするためにコンデンソルを用ゐぬ。　この機關ではピストンの押し出す蒸汽は直に外氣の中へでる樣になつてをるから、その壓力は一氣壓以上である。　この樣な機關を**高壓機關**といふ。

蒸汽機關には無數の異つた形のがある。　しかし、前圖の樣な**たてきかん**（竪機關）と第一三九圖の樣**よこきかん**（横機關）などが最も普通である。　この横機關ではシリンドル$b$の後にコンデンソル$a$がある。　$b$から排出される蒸汽は$c$に通じ、ここに噴出する冷水に觸れて凝結する。　$P$は$b$のピストンに續く棒で運轉する空氣ポンプである。　その往復運動で$c$にたまる湯や空氣を$h$に押しだす。　$h$の湯はまた特別なポンプで蒸汽罐に送りこむ。



第一三九圖

**一三八　調速機。**　蒸汽機關の荷が急に輕くなるとはづみ車の廻轉は速くなり、荷が重くなると遲くなる。　この不同を調整する裝置を**調速機**といふ。　第一四〇圖はその最も簡單なものである。　$EE$の棒は$H$の上端とまはり對をなし、$QQ$はその上端では$EE$と、下端では$G$とまはり對をなし、これらのまはり對の軸はいづれも圖の面に垂直である。　$G$は$H$に傍うて上下に滑るから、$PP$の球は外方に動くことができる。　調速機を圖の樣に竪に取りつけその軸$H$を適當な齒車連鎖ではづみ車に連結すると、調速機ははづみ車の速さに比例して廻轉し、その廻轉數が大くなると$PP$の球は外方に出で$G$は昇り、小くなると$PP$は内方に入り$G$は降る。　$F$は直角に



第一四〇圖

曲つたてこで、その一端は$G$の二つの鍔の間に狹まり、その他端は$K$の棒とまはり對をなす。$N$は機關のシリンドルに蒸汽を送る管で、$M$はその中の瓣である。管の外にある腕$L$を左に引くと瓣は管を塞ぎ、右に押すと瓣は開く。それで、はづみ車が急に速くなり$G$が昇ると、$FK$が$L$を引くから管は少し塞がりシリンドルに入る蒸汽は減る。はづみ車が遲くなり$G$が降ると$K$は$L$を押して管は擴くなる。

$H$ $R$サンチメートルをそれぞれ圖に示す長さとする。この調速機が毎秒$n$回で一樣に廻轉してゐると、球の速さは毎秒$2\pi Rn$サンチメートルで、球が軸の方へ落ちつゝある加速度は毎秒毎秒$\frac{(2\pi Rn)^2}{R}$サンチメートルである。また、球に働いてゐる力は、$E$の張力$T$ダインと球の重さ$U$即$mg$ダインとであるから、その合力が$S$の逆で$\frac{m(2\pi Rn)^2}{R}$ダインでなければならぬ。$EHR$の作る三角形と$TUS$の作る三角形とは相似形だから、

$$H : R = mg : \frac{m(2\pi Rn)^2}{R} \quad \therefore \quad H = \frac{g}{4\pi^2 n^2}$$

で$H$は$n$に逆比例して増減する。

**一三九 蒸汽機關の效率。** 低壓機關で蒸汽罐の湯の溫度を一二五度とすると、蒸汽の壓力は水銀柱一七四四ミリメートルである。コンデンソルの中の壓力を九〇ミリメートルとすると、ピストンの兩面の壓力の差は一六五四ミリメートルである。水銀柱七六〇ミリメートルの壓力は毎平方サンチメートル一・〇三三キログラムに相當するから、ピストンの兩面の壓力の差は二・二五$\left(1.033\,\frac{1744-90}{760}\right)$キログラムとなる。ピストンの面積を五〇〇平方サンチメートルとし、その行程を〇・四メートルとし、一秒に一往復とすると、蒸汽がこの機關にする仕事は毎秒九〇〇〇$(2.25 \times 500 \times 0.4 \times 2)$キログラムメートルで、動力は一二馬力である。

蒸汽船の機關の公稱馬力とは、そのピストンの直徑をインチで測つた數を自乘し、コンデンソルのない機關ではその得數を一〇で割り、ある機關では三〇で割つた數である。聯成機關の場合では各のピストンに就ての自乘得數を加へて一〇または三〇で割る。

この様に蒸汽の壓力とピストンの運動から計算した馬力數を**圖示馬力**といふ。その四分の一ほどは蒸汽機關の諸部分の摩擦等に對して費えるとすると、實際主軸に傳はり動力計で計ることのできるのはおよそ九馬力で、これを**正味の馬力**または**はどめ馬力**といふ。この正味の馬力と圖示馬力との比を蒸汽機關の**機械的效率**といふ。　蒸汽機關は熱のエ子ルギーを有用な仕事に變形する機械であるとして考へるとその效率は正味の仕事と實際蒸汽が機關に持込む熱量との比でなければならぬ。これを蒸汽機關の**全效率**といふ。

**一四〇　熱力學の第二の定律。エ子ルギーの衰頽。**　熱量と機械的のエ子ルギーの量との關係を示す原則（一一九）はまた熱力學の第一の定律ともいふ。外に熱力學の第二の定律といふものがある。　一般に熱を機械的エ子ルギーに變形する熱機關では、必同時にある熱量を高溫度の物體から低溫度の物體に移さなければならぬ。　蒸汽機關はある熱量を蒸汽の溫度で吸收するとその一部分を機械的のエ子ルギーとなし、他の一部分は必低溫度の蒸汽と共にコンデンソルに放出する。　この様な熱機關の效率はこの機械的エ子ルギーと高溫度で吸收した熱量との比であつて、熱力學の第二の定律によると、その價に最大の極限がある。　熱の源の絶對溫度を $\theta_1$ とし、放出する熱を受ける物體の絶對溫度を $\theta_2$ とすると、效率の理論上の極限は $\frac{\theta_1-\theta_2}{\theta_1}$ である。　熱力學の第二の定律の説明はこの書中には全く省略するけれども、元來この定律は第一の定律と共に最重要な定律である。　宇宙にある機械的のエ子ルギーは漸次熱のエ子ルギーに變形するに、熱の第二の定律によると、いかなる方法を用ゐてもただその一部分のみ機械的エ子ルギーにもどすことができる。　それで宇宙のエ子ルギーは漸次有用な仕事をさせるこ

とのできぬ熱となつてしまふ。そのことを**エネルギーの衰頽**といふ。

前の例の蒸汽機關でコンデンソルの溫度を四〇度とすると、$\theta_1$は三九八度$(125+273)$、$\theta_2$は三一三度$(40+273)$だから理想の效率$\frac{\theta_1-\theta_2}{\theta_1}$は〇・二一$\left(\frac{125-40}{125+273}\right)$でなければならぬ。しかし、實際の機關では摩擦などを外にしてもいろいろの原因から、この理想の效率は得られぬ。たとへばコンデンソルの中に多少の空氣があるのでその壓力は$\theta_2$度の水蒸汽の最大壓力より大い。これも效率を小くする一つの原因である。大な蒸汽機關で實際得られる效率は一〇〇の一三から一五位である。小いのでは一〇〇分の三から四位にすぎぬ。

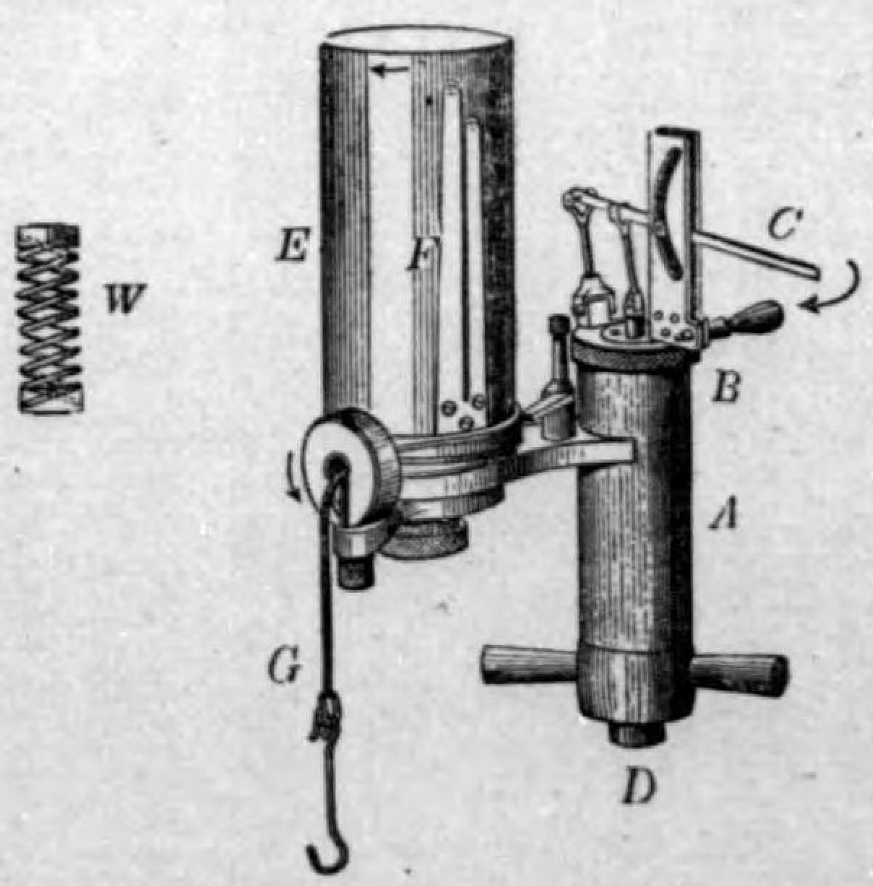
問題一。正味五馬力の蒸汽機關を運轉するに毎時一〇キログラムの石炭を要する。この蒸汽罐と蒸汽機關とを合せた裝置の全效率はいくらか。

答。一三五の表の石炭の燃燒の熱と、一一八のカロリーの價と、九八の馬力の價とを用ゐると效率は〇・〇四二である。

問題二。理想の熱機關で熱を取る處の溫度を二〇〇〇度とし、熱を捨てる處の溫度を二〇度とすると、その效率はいくらであるべきか。

答。〇・八七一。

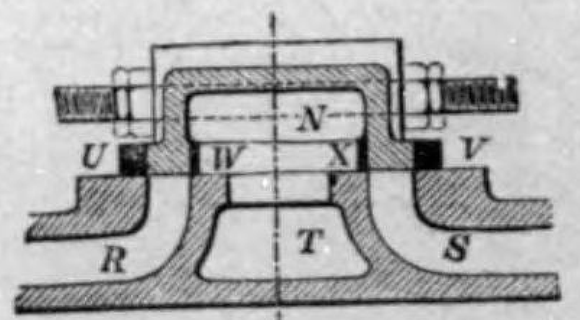
**一四一 インヂカトル。** **インヂカトル**は蒸汽機關のシリンドルの中の蒸汽の壓力の變遷を自記するもので、第一四一圖はその最普通な形を示す。$A$のシリンドルの中にあるピストンと$A$の上端との間には、$W$の様なばねが入れてある。このピストン棒の上端は圖の様に$C$のてこに連なつてをるから、ピストンが上下に動くと$C$の外端にある筆は上下に



第一四一圖

直線を畫く。$B$ $C$の部分を圖にある取手により矢の方向に廻轉すると、この筆は左方の圓壔$E$に接する。$E$の圓壔はその内部にあるばねで止めてあつて、$G$の綱をひくと、圓壔はその上部に示してある矢のむきに廻轉し、綱をゆるめると原の位置にもどる。$E$の圓壔に紙を巻き$F$で押さへ、$B$ $C$を廻はして$C$の筆を紙につけておくと、$F$の廻轉に從つて筆は紙に横の直線を畫く。$A$のシリンドルの内部と蒸汽機關のシリンドルの内部とを瓣を備へてなる管で續け、$G$の綱をピストン棒に從つて小距離の往復運動をする部分に絆く。蒸汽機關を一様に運轉すると$E$の圓壔は往復的に廻轉するから、瓣が閉ぢてあると筆は單に横の直線を畫き、瓣が開いてあると筆は縱に動き紙には第一四三圖(二)(第三四六頁)の様な曲線を畫く。この圖を**インヂカトル線圖**といふ。

**一四二 蒸汽の膨脹の仕事。** まづすべり瓣は第一四二圖で斜線の引いてある部分だけの様な形であるとする。ピストンがシリンドルの一端に達し、瓣の後の高壓力の蒸汽の入り口が$R$の口に續き始めると同時に、$S$の口は$T$の吐き出し口に續く。ピストンがシリンドルの他端に達すると、$S$の口は、突然吐き出し口より離れ蒸汽の入り口に續く。この様な瓣を用ゐると

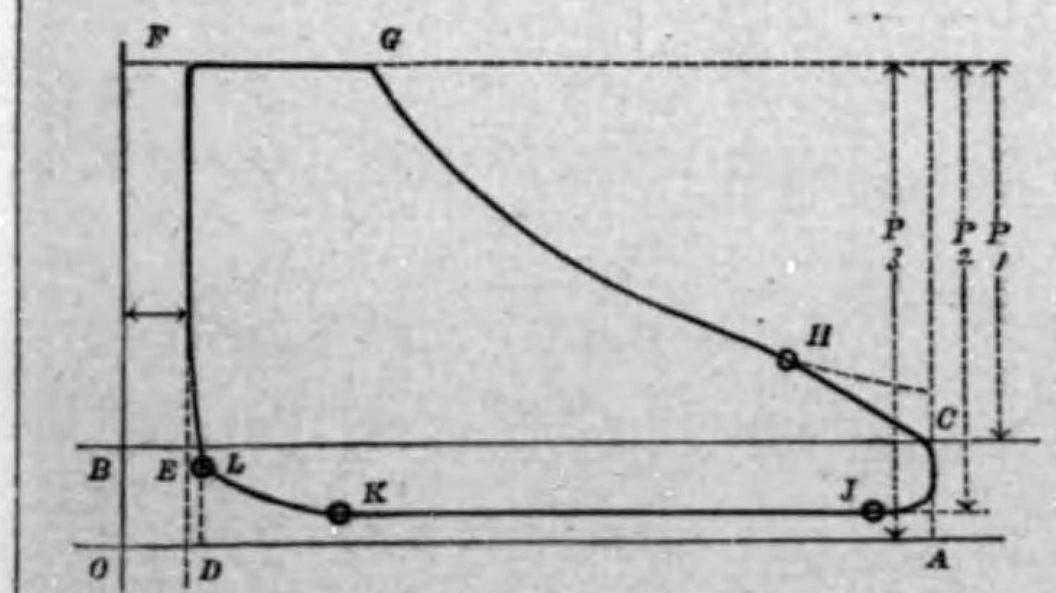


第一四二圖

**一三九**の例の様に、ピストンが一方に動く間はその後方には始終高い壓力の蒸汽があつて、ピストンの動くむきの變はるときにはこの蒸汽は直に低い壓力のコンデンソルに放出されることになる。蒸汽は、この壓力の差だけ膨脹する間に、なほ澤山の仕事をすることができる。この仕事を利用するために、第一四二圖で$U$ $V$ $X$ $Y$に黒く示してある**ラップ**と稱する部分を附着し、ピストンがその行程の一部分たとへば始めから四分の一だけ進んだとき蒸汽の入口を閉ぢ、それから

後はすでにシリンドルの中に入つた蒸汽が膨脹してピストンを押す様にする。そうすると$R$または$S$が蒸汽の入り口に續くのはすべり瓣の半往復の時間の小部分となり$R$ $S$が$T$に續くのも半往復の時間よりも小くなる。なほひがら輪の位置を適當に加減し蒸汽の入口に續くのが丁度ピストンの行程の始めの部分に當る様にする。

ラップの附けてないすべり瓣を用ゐる蒸汽機關のインヂカトル線圖は單に長方形であるが、ラップの附いてゐるすべり瓣を用ゐるもののインヂカトル線圖は第一四三圖の様になる。$EC$はインヂカトルの内部を外の空氣に通じてその圓壔を廻轉したときにできる線である。$OA$は壓力の零線で$DE$または$AC$は空氣の壓力(水銀柱七六〇ミリメートル即毎平方サンチメートル一・〇三三キログラムの壓力)を表はす。$EF$即$P_1$は空氣と高壓力の



第一四三圖

蒸汽との壓力の差、$P_2$はピストンの兩方の壓力の差即前の例の毎平方サンチメートル二・二五キログラムを表はし、$P_3$は蒸汽の絶對の壓力を示す。ピストンの一方たとへは左方をインヂカトルに續け機關を運轉すると、ピストンがシリンドルの左端にあるときはインヂカトルの筆は$F$にある。ピストンが右方に進むに從つて筆は$FG$を書き、$G$で高壓力の蒸汽の入口は切斷される。ピストンがなほ右方に進む間はすでにシリンドルに入つてゐる蒸汽が膨脹して仕事をなし壓力はだんだん減じて筆は$GH$を書く。$H$で蒸汽は吐き出し口に續き壓力はますます減る。ピストンが右端$(C)$に達し少し戻るころ$(J)$には、蒸汽の壓力はコンデンソルの中と等しくなり、ピストンはますます抑し戻され終に$(K)$吐き出し口は塞がり、殘りの蒸汽は再び壓縮せられてその壓力は殖え再び蒸汽の入り口に續く$(L)$。

インヂカトル線圖によつて、ピストンの一往復行程の間にその一方にある蒸汽がピストンに仕た仕事を計り、それによつて計算した蒸汽機關の馬力數がその圖示馬力である。$DA$の長さはピストンの行程$s$メートルを表はし、$F$點と$K$點との$OA$からの高さは、それぞれ高壓力の蒸汽とコンデンソルの中

の蒸汽との壓力每平方サンチメートル $p$ $p_0$ キログラムを表はす。また、ピストンの面積を $A$ 平方サンチメートルとする。ラップのない瓣を用ゐる場合では、ピストンの一往行程の間に蒸汽がピストンにする仕事は $spA$ キログラムメートル その一復行程の間に蒸汽のする負の仕事は $sp_0A$ キログラムメートルである。それだから、ピストンの一往復行程の間にピストンの一方にある蒸汽がピストンにする仕事は

$$spA - sp_0A = s(p - p_0)A = sP_2A$$

キログラムメートルで、$DA \cdot P_2$ の長方形の面積に相當する。ラップのある瓣を用ゐる $G$ で蒸汽の入り口を閉ぢると、往行程の各部での蒸汽の壓力は $FGHC$ の曲線の縦線が表はすから、この行程中に蒸汽がピストンにする仕事は $DFGHCAD$ の面積が表はし、復行程の間に同一の側にある蒸汽がピストンにする負の仕事は $ACJKLEDA$ の面積が表はす。つまりピストンの一往復の間にその一方にある蒸汽のする仕事は、$FGHCJKLF$ 曲線のふくむ面積が表はす。それだから、蒸汽の膨脹する間に仕事をさせると、ラップのないすべり瓣を用ゐる場合の四分の一ほどの蒸汽の量でその四分の三位の仕事ができ、蒸汽は非常に節約ができる。

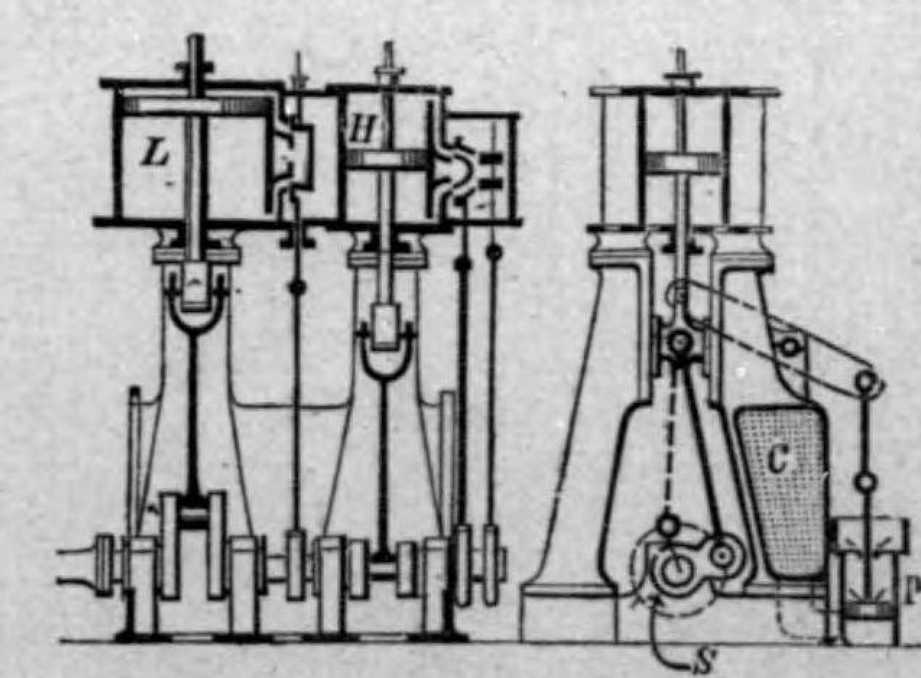
**問題**。ある蒸汽機關のピストンは、その面積六〇〇平方サンチメートル、行程五〇サンチメートルで、每分九〇の往復をしてゐる。この機關に書かせたインヂカトル線圖の巾は、一二サンチメートルで、その面積は九五平方サンチメートルあつた。この蒸汽機關の圖示馬力はいくらか。但し、このインヂカトル線圖の高さ一サンチメートルは每平方サンチメートル〇.六キログラムの壓力に相當する。

答。五七馬力。

**一四三 數段膨脹機關**。熱機關の效率は、ゐる熱と出る熱との溫度の差によるから、低壓機關の效率は同一の溫度の蒸汽を用ゐる高壓機關の(出る蒸汽の溫度一〇〇以上)よりは大い。また、同じく低壓機關でもゐる熱の溫度が高いと、その效率はますます大い。しかし、シリンドルは代る代る高低兩溫度の蒸汽に接するから溫度の差が大いと、シリンドルを溫めるたび每に多量の熱が費える。

**數段膨脹機關**ではこの損失が少ない。

第一四四圖は二段膨脹機關の略圖である。　行程が等しくて直徑の異なる大小二つのシリンドルが幷んでをつて、そのピストンに附いてをるクランクは同一の軸を廻轉する。また小い方のシリンドル$H$の吐き出し口は大いシリンドル$L$の入り口に連る。　高壓の蒸汽はまづその小い方の高壓シリンドル$H$に入り、大い方の低壓シリンドル$L$を經てコンデンソルにいる。　この仕掛では同一の蒸汽は二つのシリンドルで二段に膨脹して仕事をする。　一つのシリンドルの溫度の變化は半分でよいからこのために起こる熱の損失は少なくてすむ。　三段または四段膨脹機關も同じ道理である。　少し大い船舶の機關はみな三段または四段膨脹機關である。

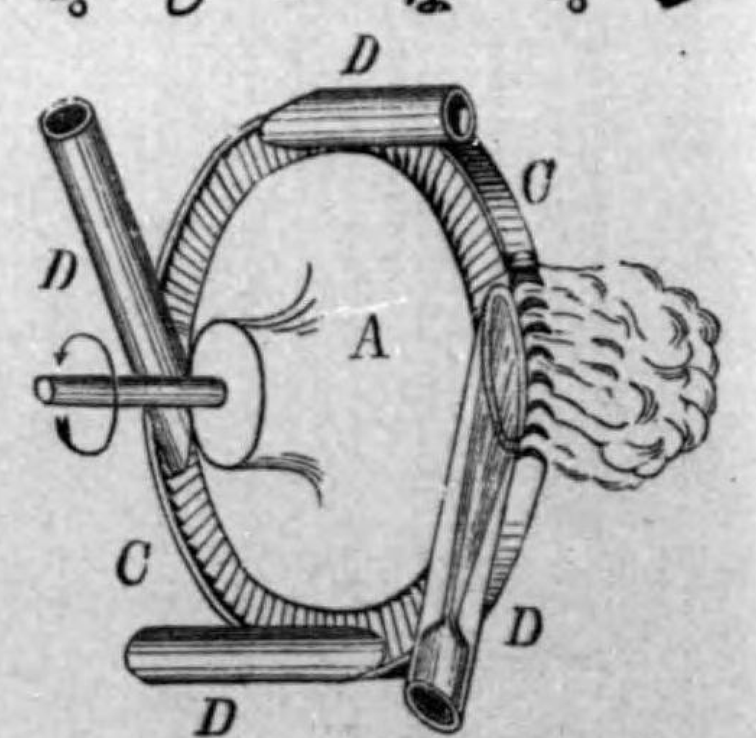


第一四四圖

## 一四四　蒸汽タービン。

**蒸汽タービン**にも壓力タービン直働タービンの二種がある。

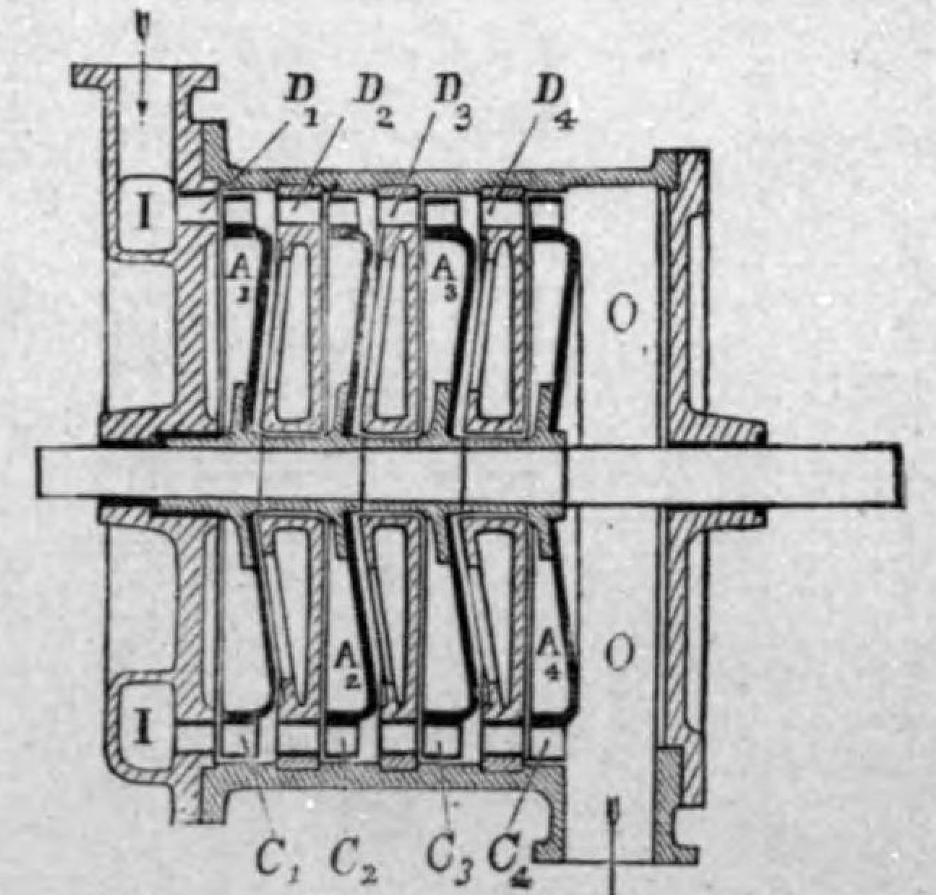
第一四五圖は蒸汽タービンの最簡單なのである。　高壓力の蒸汽は導管$D$ $D$ $D$の圓錐形の出口で充分に膨脹し$A$の車に殆ど切線の方向に噴出する。この蒸汽は車の導板$C$に當つて車を運轉しその切線の方向の速さをほとんど全く失つて車の他の側の空氣中かまたはコンデンソルかに入る。　蒸汽の始めの壓力を一〇－一二氣壓とすると、その導管を出るときの速さは毎秒一〇〇〇メートルからになり、エネルギーを充分に利用するには車のこの點の速さが毎秒五〇〇メートルほどなければならぬ。　從つて車の回轉數は非常に大くなる。　この不都合に大な回轉數を減ずるために數段膨脹の蒸汽機關の様に蒸汽の



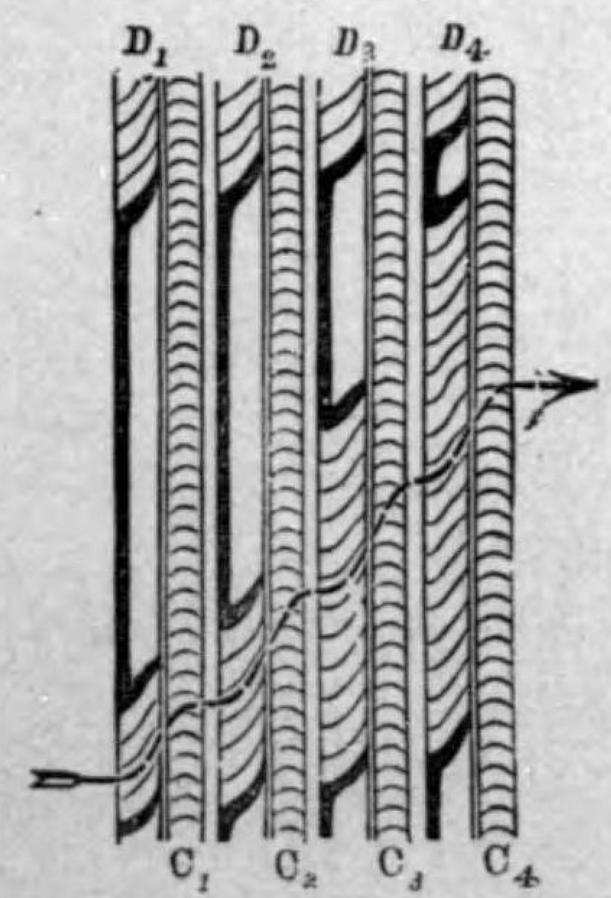
第一四五圖

エネルギーを幾段にも分割して共同の軸に固定したいくつものタービンに與へることにする。

（第一四六圖）ではラトーのタービンに四つの車 $A_1$ $A_2$ $A_3$ $A_4$ が固定してある。　$I$ から入り來る蒸汽は第一の固定導板 $D_1$ でその壓力の幾割かを減じて切線的の速さを得、第一の車の導板 $C_1$ に入り車を回轉してその速さを失ふ。この蒸汽はまた次の固定導板 $D$ でその壓力の幾割かを切線的の速さにして第二の車を回轉する。



第一四六圖



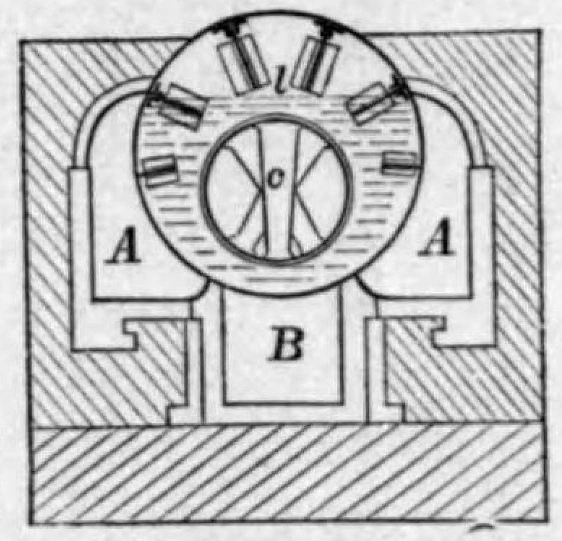
第一四七圖



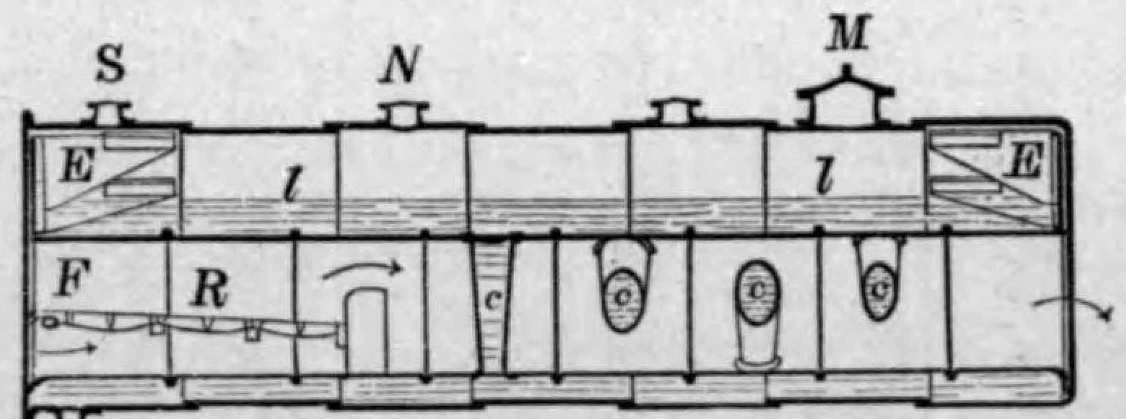
順次この樣に車に働いてその壓力も速さもなくなつた蒸汽は、$OO$ から外氣またはコンデンソルの中に出る。　第一四七圖は固定導板と車の導板とを圓壔狀の面で切つた切口を延べて示したものである。第一の固定導板 $D_1$ は全周中の小部分にあつて、他の部分は圖に黑線で示してある樣に塞いである。$D_2$ $D_3$ $D_4$ の導板は蒸汽の逐次の膨脹をたすけるためにだんだんその數が多くなり、塞いである部分はだんだん小くなつてをる。　屈曲した矢は蒸汽の通る道を示す。

**一四五　蒸汽罐。**　じょーきがま（蒸汽罐）は通常鍛鐵の板ででき、なるべく小量の石炭で澤山な蒸汽を短い時間に作る樣に注意してある。　その形にはいろいろな種類がある。　第一四八圖甲乙はコルニシ罐の横斷面と縱斷面との圖である。　この罐は二重の圓壔を兩端で閉ぢた樣な形で、各の圓壔は乙に示す樣にいくつもの短い圓壔を接ぎ合せてある。　$EE$ は罐の兩端を丈夫にするための三

角形の板で、$M$は罐の中を掃除するため人の出入りする穴である。$C$は水の接する熱い面を大くするため水の通る横管である。$l\ l$まで水を入れ$R$の上で石炭を燒くと、その炎は矢が示す樣に後の口から出で、罐の下$B$(甲圖)を前へ戻り横$A\ A$(甲圖)を後へゆき烟突を昇る樣になつてをるので、炎の尻は罐の外を往復して罐を外部からも溫める。烟突が充分高ければ、その中の熱い烟は外氣よりはるかにかるいので罐の周圍に往復する道は長くても充分なつうき(通氣)ができる。きしゃがま(汽車罐)やはくよーがま(船用罐)で



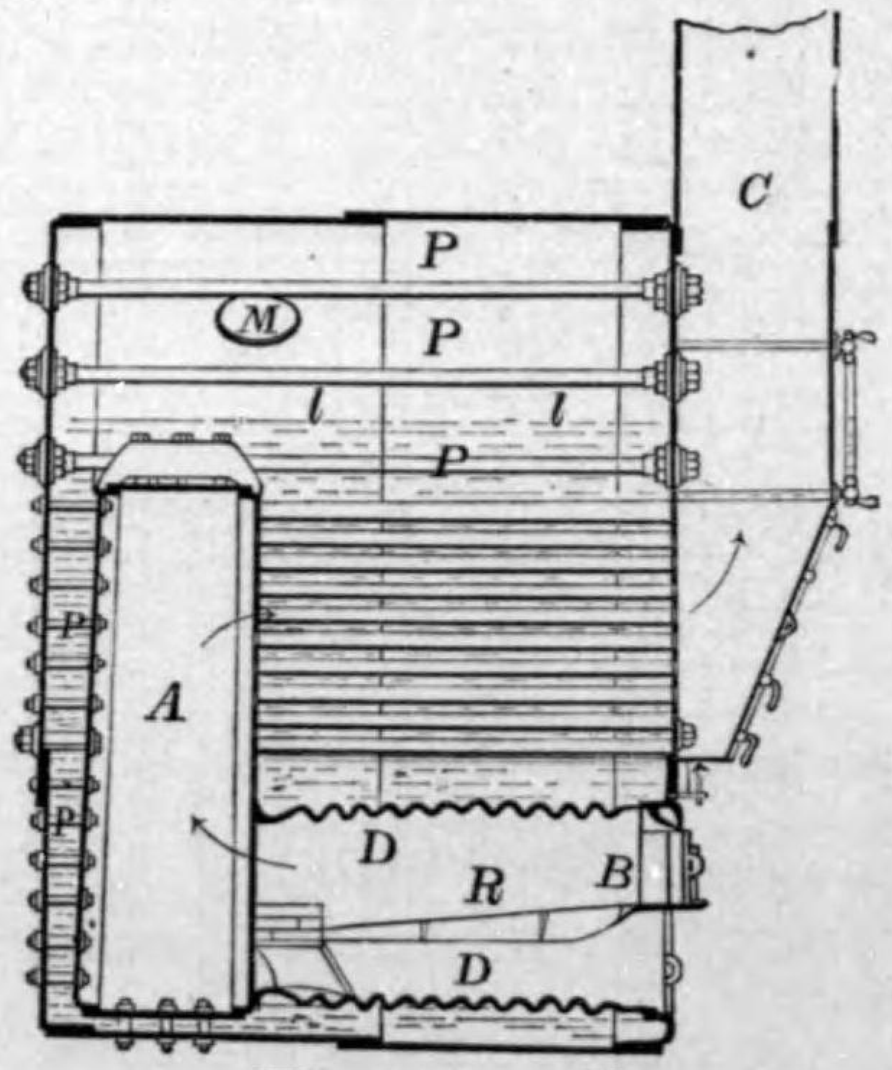
甲



乙

第一四八圖

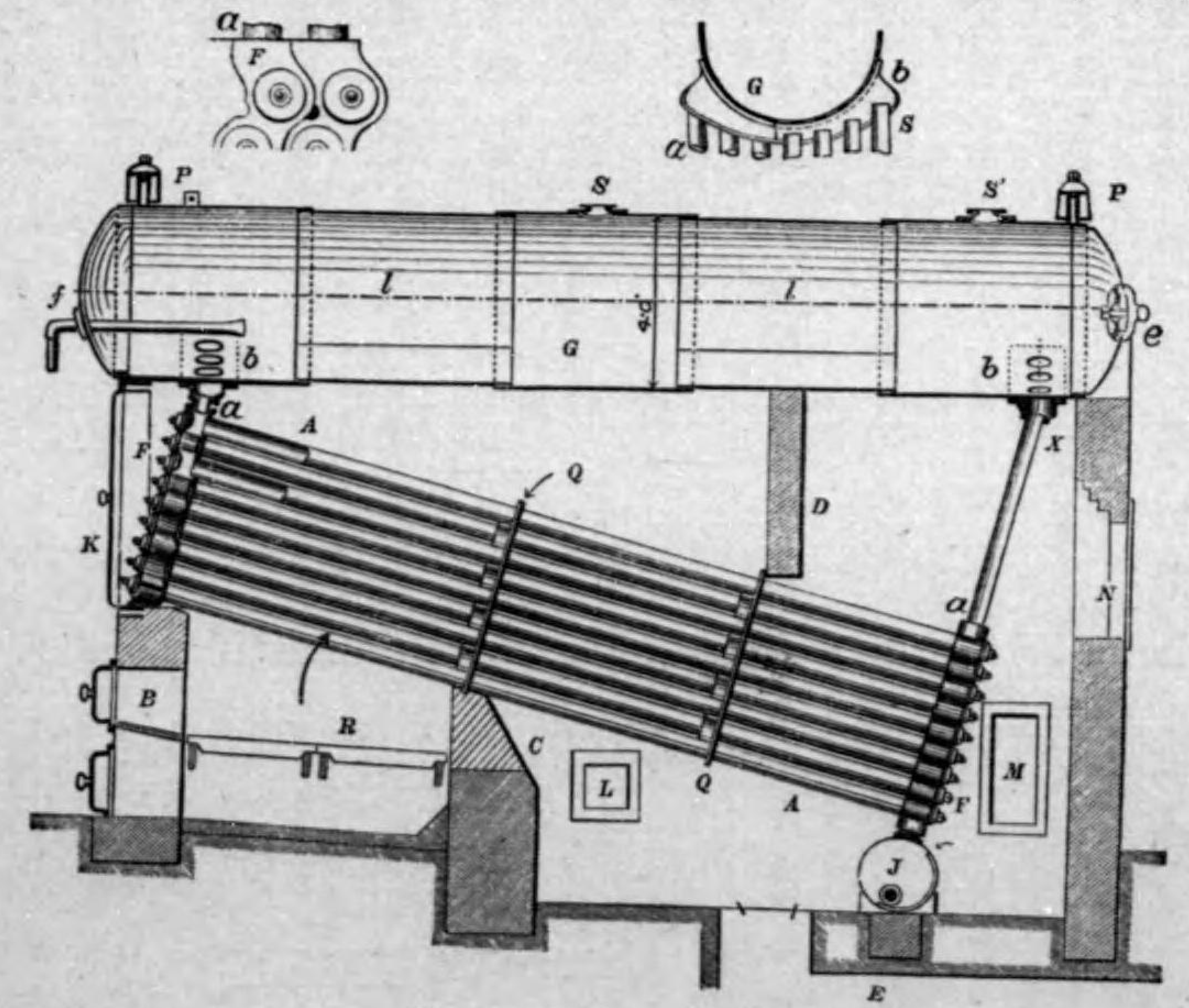
は少時間に殊に多量の蒸汽を作らなければならぬのでねっすいめん(熱水面)を大くする必要がある。第一四九圖は小い船用罐の縱斷面圖である。これは短い圓壔形で、その內に數個の圓壔$D\ D$がある(圖にはただその一つの斷面が示してある)。これらの內部の圓壔はみな$A$に續き、$A$はまた無數の管で$C$に續く。$P\ P\ P$は罐を丈夫にするための控へ棒で、$M$は掃除のため人の出入りする穴である。$l\ l$まで水を容れ、$R$の上で石炭を燒くと、熱いガスは矢の方向に流れ、廣い熱水面で水を溫める。この樣な罐では、管の外面に水があつて、その內を熱い



第一四九圖

下に示す水管罐はバブコックウィルコックス式といつて、電氣事業に多く用ゐられる。

ガスが流れる。近年は管の内部に水があつて、これを外から温める仕方が行はれる。これを**みづくだがま**(水管罐)といふ。第一五〇圖は一種の水管罐の斷面圖である。$AA$の澤山な細い管はその兩端でいくつものうねつた箱$FF$に續いてゐる。各の$F$の箱の上部には(別圖にも示してある様に)

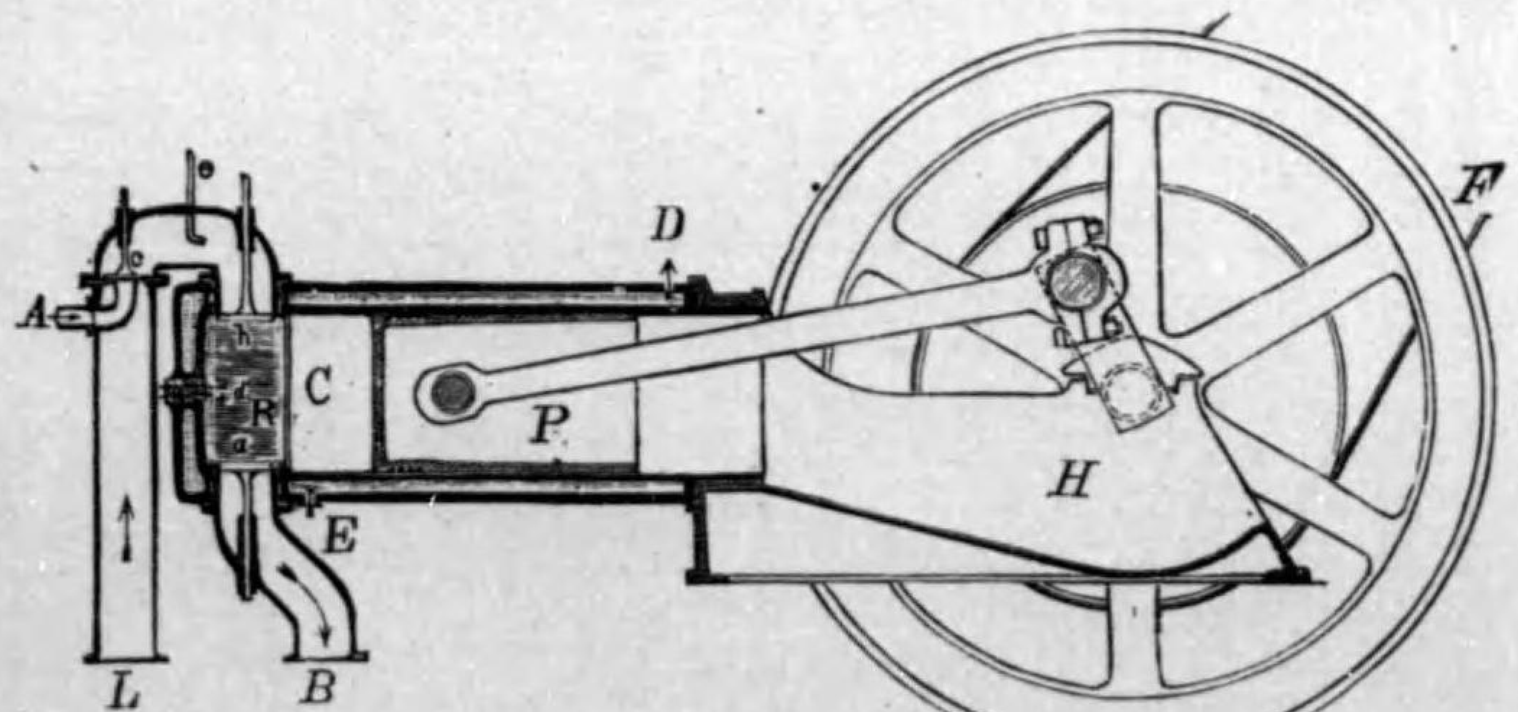



第一五〇圖

$a$の管があり、その管はみな$b$の箱から$G$の溜に續く。$J$は水の中のどろの溜まる處、$KLM$は煤を掃除する穴である。$CD$は壁、$QQ$は板であるから、$R$の上で石炭を燒くと、熱いガスは三度び管を横ぎつて$N$の口から出る。

**一四六 ガス機關。** 石炭をたく蒸汽罐の中の炎の温度は一二〇〇—一五〇〇度である。現今では最高壓力に堪える罐を用ゐても、この炎で沸かした湯の温度は二〇〇度位よりは昇らぬ。熱力學の第二の定律(**一四〇**)によると、この二〇〇度の蒸汽の代りに一五〇〇度のガスをそのまま用ゐることができたら熱機關の效率はよほど大くなる譯である。**ガス機關**は、石炭ガスと空氣との混合物をシリンドルの中で爆發させ、直に高温度のガスを用ゐるからその效率が大く、蒸汽罐の必要がないので餘計な場所を取らず極めて輕便である。石炭ガスが空氣と丁度よい割合になつてゐると、

爆發は甚だ急劇であるけれども、どちらかが多過ぎると、爆發は緩慢になる。第一五一圖は普通のガス機關の略圖である。鑄鐵のシリンドル$C$の中を往復するピストン$P$は、クランク滑り連鎖ではづみ車$F$を囘轉する。シリンドルの左の端には、ピストンが最深く入つたときにも達せぬ場所$R$がある。$R$の兩方に$a$と$b$との瓣があつて、適當なときに開閉する。$a$はシリンドルの中で燃焼したガスの出口で、$b$はこれから燃焼すべきガスと空氣との混合物の入口である。また、$c$は$A$から來るガスと$L$から來る空氣とをまぜる瓣である。




第一五一圖

㋑ピストンが右方にゆくときには、$b$と$c$とが開き、爆發ガスはシリンドルに入る。㋺次にピストンが左方にゆくときには$b$と$c$とは閉ぢ、このガスは$R$に壓縮せられる。$P$が左の極端に達したとたんに、$d$に電流を送つて火花を起こし、ガスに點火すると、ガスの溫度と壓力とは非常に昇り、㋩このガスの壓力で$P$を右方に押し、ガスが膨脹するに從つてその溫度と壓力とは下がる。㋥$P$が戻るときには、$a$が開いてをつて燃焼したガスを放出する。それからまた㋑㋺㋩㋥の作用を操りかへす。この種の機關では、ピストンの四段の作用、はづみ車の二囘轉で、ただ一度ガスが爆發するのだから、はづみ車を一様にまはすにはその質量を餘程大くしておかなければならぬ。シリンドルが非常に熱くなるのを防ぐために、シリンドルは二重にしその間に始終冷水を流す様にしてある。$E$はその入口、$D$は出口である。