

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

П. П. ЛАЗАРЕВА и Э. В. ШПОЛЬСКОГО

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА • 1924

СОДЕРЖАНИЕ.

| | <i>Стр.</i> |
|---|-------------|
| <i>С. Н. Блажко.</i> Николай Коперник | 105 |
| <i>В. Ф. Г. Сван.</i> Нерешенные проблемы космической физики | 120 |
| <i>Ж. Леб.</i> Объяснение коллоидального состояния белковых тел | 156 |
| <i>А. Н. Фрумкин.</i> Тонкие слои на поверхности воды | 172 |
| <i>Э. Резерфорд.</i> Биография альфа-частицы | 187 |
| <i>Л. Фестерд.</i> Северные сияния и верхние слои атмосферы | 205 |

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

| | |
|--|-----|
| <i>И. И. Васильев.</i> Северные сияния и структура верхних слоев атмосферы | 210 |
|--|-----|

БИБЛИОГРАФИЯ.

| | |
|--|-----|
| <i>W. Oerlich.</i> Materie. Elektrizität. Energie. <i>Э. В. Шпольский</i> | 213 |
| <i>G. W. C. Kaye.</i> Practical applications of X-Rays. <i>Э. В. Шпольский</i> | 213 |
| <i>С. И. Вавилов.</i> Действия света. <i>В. В. Шулейкин</i> | 214 |
| <i>P. Bouger.</i> Essai d'Optique sur la gradation de la lumière. <i>С. И. Вавилов</i> | 215 |

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК.

НИКОЛАЙ КОПЕРНИК.

С. Н. Блажко.

Посвящается проф. В. К. Царскому.

В небольшом прусском городке Торне, недалеко от бывшей русской пограничной станции Александрово, поставлен памятник преобразователю астрономии Николаю Копернику с надписью:

NICOLAUS COPERNICUS THORUNENSIS
TERRAE MOPOR
SOLIS COELIQUE STATOR

г. - е. Николай Коперник, торновец, сдвинувший Землю, остановивший Солнце и небо.

Краткая и выразительная надпись удачно указывает как на основную идею учения Коперника о неподвижности Солнца и звезд и движении Земли, так и на гигантский труд, который он совершил, остановив Солнце и небо и заставив двигаться Землю.

Коперник — преобразователь астрономии, но сказать это не значит сказать все: чисто астрономические воззрения на устройство вселенной определяют в значительной мере и мирозерцание вообще; тот или иной ответ на чисто астрономический вопрос о положении Земли в мироздании определяет собой и положение человека в мироздании и до некоторой степени его роль на Земле. Не даром этот вопрос привлекал к себе в свое время большое внимание со стороны лиц, которым до астрономии, в узком смысле слова, может быть, не было никакого дела. И, чтобы правильно понять роль Коперника в истории развития человечества, необходимо ясно представить себе отношение чисто астрономических фактов и воззрений к общей культуре, к общему мировоззрению.

С незапамятных времен люди стали присматриваться к небу, замечать расположение звезд, заметили, что они не меняют своего взаимного расположения, и на этом основании соединяли яркие звезды

в группы — созвездия, дали каждому созвездию свое имя. Все знают семизвездие Большой Медведицы в виде ковшика; этот ковшик в такой же форме, как видим его мы, видели и древние египтяне, и ассирийяне, и люди, жившие раньше их. Конечно, первые же наблюдения указали на вращение неба, на то, что все небо вращается вокруг нас, вокруг Земли. Это вращение неба, а в особенности восход и закат Солнца определили собой уже в самом начале культурного развития первую меру времени — сутки. Смена лунных фаз — лунный месяц — стала второй, бóльшей единицей для измерения времени, и день первого появления «новой» Луны в виде узкого серпа вскоре после заката Солнца в лучах вечерней зари стал отмечаться как начало нового месяца; так оно отмечается и до сих пор у правоверных мусульман. Таким образом небесные явления с самого начала получили чисто практическое значение для людей. Но свет и тепло Солнца так явно влияют на ход жизни на Земле, по большей части благотворно, иногда, при продолжительной засухе, губительно, что естественно явилась мысль о могуществе этого светила, приведшая затем к его обожествлению. Светило ночи — Луна, при стремлении первобытного человечества олицетворять все окружающее, также со временем стала богиней. Не трудно было заметить, что Луна не стоит все время в одном и том же месте среди звезд, а переходит из одного созвездия в другое, совершая полный обход всегда в одном направлении, с запада на восток, по определенному ряду созвездий в течение месяца, немного быстрее, чем время от одного новолуния до следующего. Труднее было подметить, что и Солнце тоже перемещается по тем же созвездиям, как и Луна, и всегда в том же направлении, с запада на восток, но значительно медленнее, так что полный обход по этим «зодиакальным» созвездиям оно совершает лишь в 12 с половиною лунных месяцев, или в 365 суток; не сразу, конечно, время этого обхода Солнца по небу было определено в точности, и лишь постепенно оно стало третьей мерой времени — годом. Было конечно, подмечено, что каждый год, в связи с перемещением Солнца по созвездиям, приблизительно одинаково повторяются некоторые явления, напр., смена холодной и теплой или дождливой и сухой погоды, разлитие плодотворного Нила в Египте и т. под. Но, кроме Солнца и Луны, с незапамятных же времен было замечено на небе еще пять особенных светил, которые с виду похожи на очень яркие звезды, но существенно отличаются от них тем, что, между тем как звезды не изменяют своего взаимного расположения, эти светила, независимо друг от друга, переходят от одного зодиакального созвездия в соседнее и притом не всегда движутся среди звезд с запада на восток, как Солнце и Луна, но иногда и в другом направлении: с востока на запад; одни бывают всегда недалеко на небе от Солнца, другие же могут отходить от него и в противоположную сторону неба. Эти «небесные странники» известны теперь под именем планет, т.-е. странствующих,

блуждающих светил. С давнего времени движения их привлекали внимание людей, интересовавшихся тем, что происходит вокруг них, и не довольствовавшихся тем, чтобы быть сытыми и одетыми и проводить время без печали. Конечно, сначала все наблюдения светил производились без всяких инструментов,—звезды служили опорными точками при исследовании движения Солнца, Луны и планет; потом, по мере развития науки, были созданы и специальные инструменты. Понятно, все эти наблюдения могли развиваться не в таком месте, как, например, Москва, где полгода не видно неба; наша астрономия преимущественно перешла к нам от греков, которые начатки ее получили от египтян и халдеев. Там, на юге, где почти черней, где звезды ярче, родилась астрономия, и там не родиться она не могла.

Необычные движения планет, естественно, заставляли заподозрить, что они, подобно Солнцу и Луне, тоже имеют какое-то, хотя и неясное, влияние на ход событий на Земле, определяя своим положением в разных созвездиях характер погоды в тот или иной год. И раз они влияют на Землю, то, значит, они одарены какою-то сверхъестественною силою, значит, они имеют могучую власть, значит, они—боги. И вот явилось обожествление планет. Не даром же их имена суть имена римских божеств. Но если так, естественно предположить, что они влияют и на судьбу человека, в тесной связи с верованием, что судьба человека предопределена в момент его рождения, и на судьбу человеческих предприятий. Так родилась астрология, не выдуманная, не сочиненная, но результат недостаточного знания. Для того, чтобы судить по расположению светил на небе о будущей судьбе, нужно знать это расположение светил; а для этого нужно знать их движения, чтоб для любого момента времени уметь вычислить их места среди звезд и расположение светил над горизонтом любого места на Земле. Таким образом чисто материальная сторона, желание знать будущее, требовала развития астрономии. Конечно, в основе всех таких соображений лежала определенно сознаваемая мысль, что Земля, это—главная вещь во вселенной, и человек—царь мироздания. Но на-ряду с таким узко утилитарным взглядом на астрономию существовало, и в Греции особенно проявилось, и чисто научное отношение к небесным явлениям. Мы наблюдаем эти явления с Земли. Как же они происходят на деле в небесном пространстве? Как объяснить видимое движение Солнца среди звезд, неодинаковую скорость этого движения в течение года, как объяснить сложное движение Луны, как объяснить еще более сложное движение планет то с востока на запад, то с запада на восток, то сходящихся с Солнцем в одном созвездии, то отходящих от него в противоположную сторону неба? Какой принцип положить в основание астрономической теории? Непосредственное наблюдение всего происходящего на Земле показывает ее неподвижность; смешно было бы предполагать, что Земля

движется. Итак, она неподвижна, и слишком скромные наблюдения над движением тел на Земле, полное отсутствие опытов привели греков к своеобразным доказательствам неподвижности Земли,—доказательствам с нашей точки зрения совершенно не убедительным, совершенно не научным. Их иногда называют логическими или метафизическими. С точки зрения теперешнего естествознания, это — вовсе не доказательства. Но нельзя нашу точку зрения применять к прошлым векам. В свое время они соответствовали общему уровню естествознания и потому были доказательны. Итак, земной шар неподвижен. Далее: Солнце, Луна, планеты движутся. По каким путям? Плавное торжественное движение этих могучих светил может ли быть неравномерным, и не подобает ли им двигаться лишь по самым совершенным кривым, т.е. равномерно по кругам? Это с метафизической точки зрения. А с чисто геометрической всякое сложное движение, хотя несколько похожее на круговое, естественно рассматривать как состоящее из простых равномерных круговых движений. Но следовало объяснить кажущиеся неправильности. И вот постепенно была создана такая система мира: в середине вселенной неподвижно покоится круглая Земля, вокруг нее движутся Луна и Солнце по кругам и равномерно, но центры этих кругов не совпадают с центром Земли.

Для планет приходилось придумать более сложную систему. Каждая планета движется по кругу, но центр этого круга сам движется по другому кругу, центр которого близок к Земле, но с ее центром не совпадает.

Греки были хорошие геометры, и один из них, превосходный геометр, александрийский ученый Птолемей, основываясь на трудах своих предшественников, последовательно развил эту систему мира, вывел из наблюдений числовые «величины для размеров всех кругов, для времени обращения каждой точки, каждой планеты, и во II веке по Р. Х. его сочинение «Великое Построение» явилось сводом всей тогдашней астрономической науки, — великое творение, бессменно царившее вплоть до Коперника.

Идеи этой Птолемеевой системы мира, опирающиеся на непосредственном впечатлении неподвижности Земли, лежали в основе всего мирозерцания, они вошли в плоть и кровь всех, интересовавшихся небом и Землею.

В истинности Птолемеева учения так же мало можно было сомневаться, как в истинности божественного откровения; ему опорой служила физика Аристотеля. И вот Библия. Аристотель, Птолемей — три фундамента учености, на которых естественно опиралась наука, когда после многих бурных веков в Западной Европе стали возникать школы, университеты и академии. Всякое сомнение в истинности Птолемеевой системы рассматривалось как ересь. Но откуда же могли возникнуть сомнения? А они возникали. Дело в том, что для точного согласо-

ния Птолемеевой системы кругов с наблюдениями планет оказалось необходимым не ограничиваться простой схемой двух кругов: основного, центр которого близ Земли, и второго, по которому движется планета и центр которого движется по окружности первого. Приходилось на второй круг насаживать третий, на третий четвертый и так далее, и в конце концов система приобретала такую сложность, что естественно могла вызвать сомнения в своей истинности. С другой стороны, еще из греков кое-кто высказывал мысль о том, что животворному Солнцу, как явно главному предмету во вселенной, подобает быть в середине всего, а не Земле, темной и живущей светом и теплом Солнца. Сомнения были. После возрождения классической древности стали известны эти воззрения некоторых греческих философов о центральном положении Солнца, неясные, мистические, не научные. Нужно было, чтоб явился ум свободный, сильный, математически развитой, который не только посмел бы пойти против очевидности, но который сумел бы новые идеи, идущие вразрез со всем мирозерцанием, развить до конца и на место старой системы мира поставить новую. В науке роль личности несомненна; сотня рядовых ученых не могут заменить одного гения. Таким гением, ниспровергшим старое учение, был Коперник.

Астрономия родилась на юге; она возмужала на севере.

Николай Коперник родился в 1473 году в небольшом городе Торне; был ли он родом немец, или поляк, установить не удалось, несмотря на обширные исследования по этому вопросу; каждая из этих наций считает его своим, поляки с большей настойчивостью и с большим правом. 9-ти лет от роду он потерял отца, и воспитанием его занялся его дядя по матери; он слушал лекции в Краковском университете, потом десять лет провел в итальянских университетах, изучая математику, астрономию, право и медицину. В Риме он читал лекции по астрономии. В эти итальянские годы, давшие Копернику столь разностороннее образование, возникли у него идеи о строении солнечной системы, детальному развитию которых он посвятил затем всю жизнь. 33-х лет от роду он вернулся на родину и здесь в «отдаленнейшем уголке земли», как он выражался в посвящении своего труда папе Павлу III, он прожил большую часть своей жизни до конца дней своих в 1543 г.

Он был членом Капитула, т.е. церковного управления провинцией в городе Фрауенбурге, состоял при соборе при алтаре св. Варфоломея, но священником в точном смысле слова не был, так как не имел надлежащего посвящения. Он принимал деятельное участие в управлении епархией, как врач, оказывал помощь больным и в тиши своего кабинета и своей скромной обсерватории пересоздавал мир. Повидимому, к 1530 г. он завершил, быть может уже вполне, разработку своих идей. Он не спешил с опубликованием своего труда, но

сообщал о своих исследованиях в письмах к своим друзьям, и слава о нем, как о проницательном астрономе, который создал новсе объяснение небесных движений при допущении движения Земли, уже распространялась по Европе, возбуждая хвалебные отзывы одних, насмешки и даже угрозы других. Его друзья — Ретик, профессор математики в Виттенбергском университете, Николай Шонберг, кардинал Капуанский, Тидеман Гизий, епископ Кульчуский — побуждали, однако, его к опубликованию его труда. Рукопись была, наконец, сдана в печать в Нюренберге и вышла в свет в 1543 г. под названием: *De revolutionibus orbium coelestium*, т.-е. об обращении небесных шаров.

В шести частях своего труда преобразователь астрономии строгими геометрическими соображениями показывает, что все видимые движения Солнца, Луны, планет и звезд вполне точно можно объяснить, положив в основу рассуждений допущение, что Земля не есть какой-нибудь особенный предмет во вселенной, но что это планета, подобная пяти другим планетам в том смысле, что она, подобно им, движется вокруг Солнца и, кроме того, вращается вокруг одного из своих диаметров, как около оси. Главнейшие неправильности небесных движений с чрезвычайной простотой и естественностью объясняются тем, что Земля вращается и что действительные движения планет вокруг Солнца мы наблюдаем с движущейся вокруг него Земли.

Я не могу, конечно, разбирать это сочинение подробно, но несколько извлечений из него будут не лишни. Всегда поучительно познакомиться с первоисточниками наших знаний; всегда интересно исследовать истоки великой реки.

Труд посвящен папе Павлу III. Вот несколько мест из посвящения ¹⁾.

«Думается мне, святейший отец, что некоторые лица, как только узнают, что я в сочинении моем о движениях небесных сфер допускаю движение земного шара, без дальнейшего разбора осудят меня и мои воззрения. Я вовсе не столь высокого мнения о своей теории, чтоб не обращать внимания на мнения других. Хотя знаю, что мысли философа довольно далеки от суждения народного, так как первый обязан во всем доискиваться истины настолько, сколько дано от бога уму человеческому, но, тем не менее, я полагаю, что должно отрешиться от взгляда, далекого от истины. По этой причине я рассуждал сам с собою о том, как нелепым покажется всем знакомым с утвердившимся в продолжение стольких веков мнением о неподвижном положении земли в центре вселенной, если я, наоборот, стану утверждать, что Земля движется. Я долго колебался обнародовать ли в печати мои исследования, или же следовать мне примеру пифагорейцев

¹⁾ Перевод взят из книги Я. Вейнберга: Николай Коперник и его учение. СПб. 1873.

и других, которые передавали тайны философии не письменно, а словесно...

Но друзья мои заставили меня прекратить долговременное мое медление и нерешительность. Мне не следует, говорили они, из одной боязни далее медлить обнаружением моего труда для общей пользы математиков. Чем бессмысленнее в настоящее время многим покажется мое учение о движении земли, тем более заслужит оно благодарности и удивления, если изданные мои исследования, благодаря ясным своим доводам, рассеют мрак кажущегося противоречия. В этой надежде и уступая увещаниям этим, я предоставил друзьям моим распорядиться о столь долго ожидаемом ими издании моего труда.

«Но, быть может, святейшество твое не столько удивится тому, что я осмелился издавать мое сочинение в свет, сколько тому, каким образом осмелился я, вопреки давнему мнению математиков и вопреки, так сказать, общепринятому воззрению и здравому смыслу, подумать о движении земли. Не скрою от твоего святейшества, что я не чем иным не был приведен к мысли придумать иной способ вычисления движений небесных тел, как только тем обстоятельством, что относительно исследований этих движений математики несогласны между собой...

«Обдумывая долгое время шаткость передачных нам математических догматов касательно взаимного соотношения движений небесных тел, наконец стал я досадовать, что философам, обыкновенно стремящимся к распознаванию самых даже ничтожных вещей, до сих пор еще не удалось с достоверною верностью объяснить ход мировой машины, созданной лучшим и любящим порядок Зодчим. Поэтому я принял на себя труд прочесть доступные мне сочинения всех философов, с целью убедиться, допускал ли кто-либо из них иной род движения, чем тот, который преподается в наших школах. И вот нашел я сперва у Цицерона, что Хицетас допускал движение земли, а из одного места Плутарха усмотрел я, что иные были того же мнения...

«Побуждаемый этим, и я, в свою очередь, начал придумывать движение земли, и, хотя мнение это казалось мне неправдоподобным, я, тем не менее, полагал, что, подобно тому, как и до меня позволялось придумывать произвольные круги для объяснения небесных явлений, мне позволено попытаться, не найду ли я, для истолкования этих движений, более правдоподобные объяснения, предполагая движение земли.

«Допустив те движения, которые придают земле в этом сочинении, я, после долгих и многократных исследований, пришел наконец к заключению, что если отнести движения прочих блуждающих светил к кругу, по коему движется земля, и на этом основании вычислить движения каждого светила, то не только представляемые ими явления будут вытекать, как следствия, но что самые светила и пути оных, по последовательности или величине своей, и само небо явятся в такой

между собою связи, что нигде, ни в одной части нельзя что-либо изменять, не запутывая остальных частей и всего целого...

«Если бы нашлись пустые болтуны, которые, хотя вовсе не сведущие в математических науках, дозволили бы себе осуждать или опровергать мое предприятие, намеренно искажая какое-либо место Священного Писания, то я не стану на них обращать внимания... Математические предметы пишутся для одних математиков...»

При суждении об этом посвящении необходимо иметь в виду, что, ведь, это в XVI веке правоверный католик духовного звания пишет папе, главе церкви и своему высшему начальству. Спокойный, уверенный и откровенный тон посвящения ясно показывает уверенность автора в своем праве исследовать затронутый им вопрос со строго научной точки зрения, убежденность его в своей правоте, и вполне опровергает предположение, будто Коперник выставлял свое учение лишь как простую гипотезу. Он не сомневался в нем и представил этому все доступные для него доказательства.

В начале своего труда Коперник говорит о том, что «вселенная имеет форму шарообразную, ибо шар из всех геометрических тел совершеннейшее, не нуждающееся в опоре; шар заключает наибольший объем, и по этой причине главнейшие тела, каковы солнце, луна, и звезды, также имеют форму шарообразную. И капли воды и других жидкостей стараются принять форму шара, стремясь ограничивать самих себя. Поэтому не может быть сомнения, что шаровидная форма присуща и небесным телам».

Это рассуждение вполне в духе древней философии: оно априорно основано на аналогии, но, тем не менее, заключения Коперника, как мы теперь знаем на основании наблюдений, верны относительно Солнца и планет, и, поскольку мы на основании всех наших знаний о свойствах материи можем судить о звездах, это верно и относительно звезд.

Далее доказывается шарообразность Земли на основании наблюдений; доказательства те самые, которые и до сих пор приводятся в учебниках начальной астрономии.

Затем Коперник рассматривает движение небесных тел. «Все эти движения, — говорит он, — должны происходить по окружностям, не имеющим ни начала, ни конца. Вся вселенная кажется нам вращающеюся с востока на запад, исключая земли. Движение это есть мерило всякого движения и служит для измерения времени по суткам. Но мы замечаем еще и обратные движения, то-есть с запада на восток. солнца, луны и пяти планет; солнце и луна движутся то скорее, то медленнее. Планеты же кажутся нам то движущимися прямо, то стоящими неподвижно, то движущимися обратно. Но, тем не менее, нужно допускать, что движения эти совершаются или по кругу, или по различным кругам, потому что неравенство это не могло бы подлежать известным законам, не могло бы совершаться периодически, если бы

движение не совершалось по кругам. Не может быть, чтобы простое небесное тело двигалось неравномерно по одной орбите. Последнее может случиться лишь благодаря непостоянству движущей силы или особенным свойствам движущегося тела, или же неоднородности частей оного. Но так как разуму нашему противно такое допущение, недостойное совершенства создания, то остается предположить, что равномерное движение только кажется нам неравномерным...»

Это рассуждение вполне в духе древней философии. Коперник сохраняет идею о необходимости кругового равномерного движения небесных тел и старается оправдать ее.

Далее Коперник предлагает вопрос: имеет ли Земля круговое движение и какое она занимает место?

«Земля есть шар, — говорит он, — но следует ли отсюда и движение ее? Какое место занимает земля в пространстве? Вот что должно уяснить, дабы дать себе отчет об ее движении. Почти все писатели согласны между собою в том, что земля неподвижна; противное мнение им кажется даже смешным. Но если всмотреться внимательнее, то оказывается, что вопрос этот вовсе нельзя считать решенным, и им отнюдь не следует пренебрегать. Всякая замечаемая нами перемена положения предмета происходит или вследствие его движения, или же движения наблюдателя, или же вследствие относительного их движения; если движения обоих равны, то перемещение бывает незаметно. Мы наблюдаем небо над землею: если последняя имеет движение, то небо покажется нам движущимся в обратную сторону.

«Весь небесный свод имеет движение с востока на запад; если вообразим небесный свод в покое, а дадим земле движение обратно, т.-е. с запада на восток, то получим одни и те же явления. Так как небо есть содержащее, а земля есть содержимое, то не видно причины, почему не приписать лучше движения содержимому, чем содержащему». Таким образом вводится понятие об относительном движении и о возможности «кажущихся» движений. В следующей затем главе говорится о бесконечности небесного свода в сравнении с Землей. Это доказывалось тем, что повсеместно на поверхности Земли горизонт делит небесный свод на две равные части.

«Если справедливо, что небесная сфера бесконечна, то как понимать, что она обращается в 24 часа? Не естественнее ли предполагать, что движение это принадлежит земле и только ей одной. Иначе, если б она вращалась вместе с небесной сферой, но несколько медленнее, чем последняя (по причине меньшего объема земли), то мы не замечали бы ни малейшего изменения в положении светил на небесном своде: солнце и звезды относительно наблюдателя казались бы постоянно на одном и том же угловом расстоянии от меридиана. Поэтому естественно предполагать, что земля обращается вокруг своей оси, а что небесная сфера неподвижна».

Затем следует разбор учений древних о движении.

Земле и воде, — говорит Аристотель, — как телам более тяжелым, подобает стремиться вниз и занимать срединное место; воздух же и огонь, как тела легчайшие, должны находиться сверху и стремиться от середины вверх. «Если бы земля обращалась около своей оси, — говорит Птолемей, — то мы видели бы обратное явление предыдущему: земля распалась бы на части, ибо что могло бы противостоять страшной ее скорости вращения? Кроме того, ни одно тело, брошенное вверх, не упало бы на прежнее свое место по перпендикуляру; облака и все носящееся в воздухе казалось бы нам унесенным с востока к западу». Коперник опровергает мнения древних частью метафизическим рассуждением, частью же фактами. «Если допустим вращение земли около оси, — говорит он, — то должны также допустить, что движение это не есть насильственное, а натуральное. Все принужденное, насильственное, вызванное посторонними причинами, может разрываться, разложиться; все же естественное сохраняет неизменно первоначальный свой вид. Поэтому напрасно Птолемея опасно относительно разрыва земли и рассеяния ее в пространстве. Если действительно это может воспоследовать от вращения земли, то тем более это могло бы случиться вследствие суточного вращения небесной сферы, скорость которого, по причине громадного расстояния этой сферы от земли, должна бы быть неизмеримо больше, чем скорость вращения земли». После рассуждений о конечности или бесконечности небесной сферы, Коперник опять обращается к суточному движению Земли. «Неоспоримо, — говорит он, — что земля имеет вид шара: движение подобает этой форме; почему же нам не допустить этого движения, не заботясь о том, чего мы знать не можем? Люди, находящиеся на корабле, приписывают его движение внешним предметам; то же самое бывает и с нами: небо кажется нам вращающимся потому, что в действительности вращается земля. Что же сказать теперь об облаках и о всех телах, носящихся по воздуху, если не то, что они тоже участвуют в движении земли? Движение это — общее всей атмосфере или, по крайней мере, части ее, ближайшей к земле; эта часть, прикасаясь к суше и к воде, следует тому же движению, как и вся земля, постоянно прикасаясь к ней и не будучи ничем удерживаема. Хотя казалось бы, что и верхние части атмосферы также участвуют в этом движении, подобно как и кометы участвуют в суточном движении земли, но, по причине значительного расстояния от земли, верхняя часть атмосферы может быть принимаема неподвижною. Воздух кажется нам совершенно спокойным, если не возмущается ветром или иными причинами; разве ветер в воздухе есть что иное, как волны в море? Что касается падающих тел, то движение их есть составное из прямолинейного и кругового. Своею тяжестью они падают к центру земли, но, составляя часть последней, они также участвуют в ее вращении. Тяжелые тела

падают, огненные же поднимаются вверх; пламя есть огненный дым. Прямолинейное движение имеют лишь тела, выведенные из естественного своего положения. Быть вне своего места — противоречит порядку целого, и потому тела эти стремятся достигнуть прежнего своего положения. При этом тела эти движутся неравномерно, между тем как круговое движение есть всегда равномерное, нигде не имеющее ни начала, ни конца. Части земли должны участвовать и в последнем движении, даже при прямолинейном и неравномерном падении своем на землю».

В этом рассуждении о движении и опровержении древних учений интересно отметить смесь вполне правильных заключений из наблюдений, до сих пор повторяемых в учебниках, с соображениями, еще вполне носящими характер древних рассуждений с их априорными допущениями, которые излагались, как очевидные.

В следующей, десятой, главе, носящей название: «О порядке небесных орбит», излагается вся сущность Коперниковой системы. «Никто не сомневается, — говорит он, — что небо (сфера) неподвижных звезд — самое отдаленнейшее. Древние философы распределяли планеты по продолжительности их обращения, следуя правилу, что, при равном для всех планет движении, планеты наиболее отдаленные должны казаться нам движущимися всех медленнее. Они полагали, что луна ближе к нам, чем все планеты, так как она совершает обращение в кратчайшее время; что Сатурн должен быть самая дальняя планета, ибо он для обращения своего употребляет наибольшее время. Ниже его они ставили Юпитера и потом Марса. Относительно Венеры и Меркурия мнения были раздельны, так как удаление их от солнца иное, чем остальных планет...»

«По всем изложенным здесь причинам достойно внимания мнение, по которому Венера и Меркурий обращаются вокруг солнца, занимающего средину, и вследствие того могут удаляться от него лишь на величину, соответствующую радиусу их орбит; эти планеты не обнимают своими орбитами землю, подобно другим планетам, но орбиты их обращены к ней своею выпуклостью. А что ж это означает, как не то, что солнце находится в центре этих орбит? Таким образом орбита Меркурия заключается внутри орбиты Венеры, более чем вдвое большей ее, и находит достаточное для себя место. Основываясь на этих рассуждениях, безошибочно можно отнести Сатурна, Юпитера и Марса к тому же центру: остается только дать орбитам их радиусы, достаточные для того, чтоб орбиты эти заключали внутри себя орбиту земную.

«Планеты эти, во время своего противоположения, находятся на ближайшем расстоянии от земли; во время же соединения они наиболее удалены от земли, а это служит достаточным доказательством тому, что солнце служит центром их орбит, подобно как это мы видим у

Венеры и Меркурия. Но, подчинив все эти тела одному срединному телу, необходимо поместить в пространстве, остающемся между выпуклою орбитою Венеры и вогнутою — Марса и вокруг этого же центра, сферу или орбиту земли со спутником ее — луной и со всем, что содержится под луной, ибо мы никаким образом не можем отделить от земли луну, столь близкую к ней, и для которой в этом пространстве находится вполне достаточное и удобное место. И потому не постыдимся допустить, что лунная орбита и центр земли в течение года обращаются вокруг солнца по большой орбите, в центре которой находится солнце. Солнце мы примем неподвижным, и на этом основании все кажущиеся движения могут быть объясняемы движением земли. Радиус этой орбиты, как он ни велик, все же весьма ничтожен сравнительно с расстоянием неподвижных звезд; с этим можно согласиться тем легче, что это пространство наполнено множеством орбит, что допускают даже те, которые принимают землю за центр. Нужно взять пример с природы, которая ничего не производит лишнего, ничего бесполезного, а, напротив, из одной причины умеет выводить множество следствий. Все это покажется неудобопонятным и даже невероятным; но, с божьею помощью, мы докажем это яснее солнца, по крайней мере, для знакомых с математикой.

«Исходя из начала, более других удобоприемлемого, что с увеличением орбит планет увеличивается и скорость обращения, мы получим следующий порядок сфер, начиная с высшей: первая из сфер, заключающая в себе все прочие, есть сфера неподвижных звезд; она неподвижна, и к ней мы относим все движения и положения звезд... Под этой сферой — сфера Сатурна, совершающего обращение свое в 30 лет; далее следует Юпитер, обращающийся в 12 лет; потом Марс, совершающий обращение свое в 2 года, и далее Земля, обращающаяся в 1 год; Венера обращение свое совершает в 9 месяцев, и, наконец, Меркурий — в 88 дней. В середине всех этих орбит находится солнце: ибо может ли прекрасный этот светоч быть помещен в столь великолепной храмине в другом лучшем месте, откуда он мог бы все освещать собою? Поэтому не напрасно называли солнце душою вселенной, а иные управляющим миров...» «И, таким образом, солнце, как бы восседая на престоле царском, управляет вращающимся около него семейством светил. Земля пользуется услугами луны, а в то же время земля оплодотворяется солнцем и носит в себе плод в течение года. Этот порядок обуславливает собою удивительную симметрию мироздания и такое гармоническое соотношение между движением и величинами орбит, какого мы другим образом находить не можем...»

«Все эти явления в движениях планет обуславливаются движением земли. Мы не видим подобных явлений в неподвижных звездах, по причине громадного их расстояния, для которого годичное перемещение земли почти незаметно. Что между крайней планетой Сатурном

и сферой неподвижных звезд существует громадное пространство, доказывает сверкание последних, и этим отличаются они от планет, а в этом состоит важное различие между движущимися и неподвижными телами. Так велико и божественно творение всемогущего!»

Нельзя отрицать, что характер доказательств Коперника, в сущности, древний; в его время и физика и механика не ушли далеко вперед по сравнению с тем, каковы они были у греков. Характер доказательств прежний, но выводы противоположные. Существенно, однако, что доказательства Коперника были согласны с духом тогдашней науки о физических явлениях, и потому они казались достаточными и имели значение для его современников, но заключения, к которым он приходил, шли вразрез с установившимся мировоззрением, они выводили астрономию из тупика на широкую дорогу, и поэтому-то его выводы и ценны для развития науки. Не важно, что Коперник не мог привести таких доказательств своего учения, какими обладаем теперь мы; он привел доказательства, достаточно убедительные для того, чтоб его учение могло приобрести последователей, которые развивали это учение дальше и довели астрономию до того состояния, в каком она теперь находится.

Попутно его основная идея, конечно, в корне подрывала всякую астрологию. Она сводила Землю с ее исключительного, почетного места во вселенной; она заставила пересмотреть и взгляды на положение человека во вселенной. Земля — планета, на ней развилась жизнь, на ней живут существа, и между ними такие, которых мы называем разумными. Земля — планета: может быть, другие планеты тоже земли; может быть, на них тоже есть жизнь и существа, которых мы, если бы знали их, не отказались бы признать разумными? На некоторые возражения против движения Земли Коперник отвечал указанием на громадность расстояний от нас звезд. В его книге, правда, нет ни слова о том, что такое звезды. Но уже вскоре после него естественно стала проникать в сознание его последователей мысль о том, что звезды, это — солнца, подобные нашему Солнцу; если так, то около них тоже могут быть холодные планеты, а на этих планетах тоже жизнь и, быть может, разумные существа. Правда, мы до сих пор не можем ни утверждать этого, ни отрицать. В этом вопросе каждый может думать так, как хочет, но сама мысль такова, что, конечно, существенным образом расширяет наш кругозор и коренным образом изменяет представление о положении человека в мироздании. Понятно, что эта мысль может воспламенить особенно живой ум и по своей естественности может казаться несомненной. Один из самых горячих последователей коперниканского учения, философ и публицист Джордано Бруно, смело покинул осторожный, строго последовательный и научный путь Коперника, стал первым горячим проповедником множественности населенных миров и, между прочим, за эти смелые пропс-

веди был сожжен в 1600 году в Риме; теперь памятник на месте его казни напоминает о жертве, принесенной смелым защитником нового мирозерцания в угоду косности обычного человеческого ума.

Труд Коперника был посвящен главе церкви. Многие духовные лица, достаточно образованные не только для того, чтоб интересоваться этими вопросами, но и для того, чтоб понимать геометрические рассуждения Коперника, уже раньше высказывали интерес, внимание и сочувствие к новому учению. Они не принадлежали к тем, про которых говорил Коперник, что «люди, хотя несведущие в математических науках, позволяют себе осуждать или опровергать его теорию, намеренно искажая какое-либо место Священного Писания». Книга Коперника при своем появлении никакого запрета из Рима не получила. Она свободно распространялась, и через 20 лет появилось уже второе издание ее. Тем интереснее указать, что, напротив, реформаторы в церковной области встретили учение Коперника решительным осуждением. Лютер выражался резко: «Какой-то дурак хочет извратить все искусство астрономии, но, как говорит Священное Писание, Иисус Навин велел остановиться Солнцу, а не Земле». Более мягкий Меланхтон, учитель Германии, не выражался так грубо, но на основании некоторых текстов Библии и физики Аристотеля не признавал движения Земли и требовал, чтоб было запрещено излагать учение Коперника в университетах.

Распространение нового учения, конечно, шло медленно, но постепенно захватывало все больший круг последователей, которые, сохраняя его основную идею о движении Земли, дополняли его, совершенствовали и тем делали его все более убедительным. Но вне круга специалистов-астрономов распространение его все же шло очень медленно и не прекратилось до сих пор. Еще много десятилетий попрежнему, даже в образованной массе, царил прежний антропоцентрическое, астрологическое мировоззрение. Для характеристики — вот небольшая цитата из поэмы Торквато Тассо: «Освобожденный Ерусалим», вышедшей в свет через 40 лет после книги Коперника. В 60-й строфе IX-й песни описывается, как ангел летел на помощь франкам¹⁾.

«Он золотые крылья распустил
И полетел быстрее, чем мгновенье.
Огонь и свет полетом просквозил
Блаженных душ предвечные селенья.
(Локализация рая.)

А дальше через чистый он кристалл
И сферу звезд недвижимых пролетал.
Ни видом, ни влияньем не равны
(Астрологические воззрения.)

¹⁾ Цитируется по переводу Р. Брандта.

Планеты ниже стройные вертятся,
Что ангелами в ход приведены,
Так что в пути не могут заблуждаться.

Это — своеобразное удовлетворение требованиям механики: нужно было объяснить, какая сила заставляет планеты двигаться, не сбиваясь со своего пути; и так как идеи механики еще не были развиты, хотя уже у Коперника есть намеки на притягательную силу Солнца, то пришлось прибегнуть ко вмешательству сверхъестественных сил.

И в следующие века и в нашем веке появлялись и появляются возражения против движения Земли; создалась целая антикоперниканская литература, чем дальше, тем яснее подтверждающая слова самого Коперника в его посвящении: «математические вещи пишутся для математиков» и эпиграф к его книге: «Не знающий геометрии пусть не входит». Это не значит, чтоб для полного ознакомления с учением Коперника требовались какие-либо глубокие познания в математике. Но ясные геометрические представления — прежде всего! Их-то по большей части и нехватает современным «антикоперниканцам». А астрология? Вера в то, что по звездам можно знать будущее? Разве она совсем умерла? Старые идеи живучи. Кажется, будто идеи наследственны, подобно физическим свойствам, и даже образованная часть человечества лишь с большим трудом освобождается от идейного наследия давнопрошедших времен и очень медленно проникается новыми идеями.

НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ¹⁾.

В. Ф. Г. Сван.

Я слышал, что когда к Роуланду обратился за советом студент, аппарат которого не дал ожидаемого результата, Роуланд ответил: «Делайте с ним что-нибудь, пока чего-нибудь не добьетесь». Каждый экспериментатор признает мудрость этого совета; но, увы, человек, изучающий космическую физику, не способен воспользоваться им в сколько-нибудь значительной степени. Очень мало он может

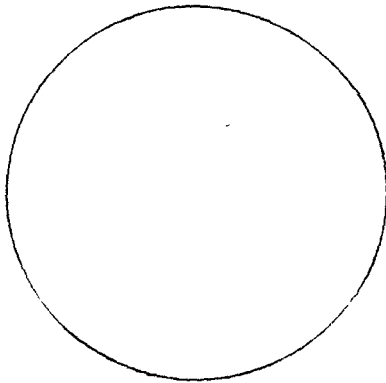


Рис. 1.

сделать со многими из тех аппаратов, с которыми ему приходится иметь дело, — с Солнцем, звездами и планетами. Он может только смотреть и ждать, что случится. Как хотелось бы ему заключить наш земной шар со всей его атмосферой в свинцовый ящик в несколько метров толщиной и посмотреть, какие перемены при этом произойдут в явлениях атмосферного электричества, или изменить в обратную сторону направление вращения Земли и изучить перемены в магнитном поле Земли на протяжении нескольких миллионов лет! Однако он скоро убеждается, что весьма трудно найти человека, который захотел бы финансировать подобные проекты, а потому для него не остается ничего иного, как ждать, наблюдать, что возможно, воспроизводить явления природы, насколько это ему удастся в малом масштабе в своей лаборатории, а прежде всего — упорно думать.

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

Рис. 1 изображает круг. Толщина линии невелика, однако же по отношению к размерам Земли, изображаемым кругом, она представляет собой слой, по толщине превышающий в 7 раз тот, каким практически огра-

¹⁾ W. F. G. Swan. Journ. of the Franklin Institute. 195, p. 433, 1923.

ничиваются все наши наблюдения над атмосферным электричеством. Мы знаем, что внутри этой области существует электрическое поле, перпендикулярное к поверхности земли и создаваемое отрицательным зарядом на поверхности и положительным зарядом — в атмосфере. Поле это достигает приблизительно 150 вольт на метр на поверхности и подвергается чрезвычайно правильным изменениям в течение дня и года, — изменениям, достигающим 50 и более процентов его величины. Оно уменьшается вместе с высотой и на высоте около 10 км достигает ничтожной величины сравнительно с той, какую имеет у поверхности.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ АТМОСФЕРЫ.

Атмосфера есть проводник электричества, хотя и очень слабый, так что положительный заряд в атмосфере имеет тенденцию к нейтрализации отрицательным зарядом поверхности земли. Электропроводность атмосферы происходит от присутствия в ней заряженных молекул азота и кислорода, называемых ионами. Последние, в силу своего заряда, движутся в электрическом поле и отдают свои заряды окружающим телам, которые они таким образом разряжают. При обычных условиях в каждом кубическом сантиметре воздуха содержится около 1000 ионов каждого знака, — цифра, весьма малая сравнительно с 30-ю миллионами миллионов молекул, содержащихся в этом кубическом сантиметре воздуха. Положительный ион образуется вследствие отделения от нейтральной молекулы одного из тех электронов, на которые современная физика учит нас смотреть, как на одну из основных составных частей всякой материи. Отрицательный электрон рано или поздно сам присоединяется к какой-нибудь нейтральной молекуле и, зарядив ее таким образом, образует отрицательный ион. Выбрасывание электрона из атома происходит под влиянием какой-нибудь внешней причины. Существует три главных категории таких причин, соответствующих излучениям, испускаемым веществами подобными радио, который находится в состоянии непрерывного самопроизвольного распада.

Первою из этих причин является альфа-частица, — положительно заряженный атом гелия, движущийся со скоростью 20 000 километров в секунду. Вторую является бета-лучи, которые представляют собою просто отрицательные электроны, движущиеся со скоростью, близкой к скорости света. Наконец, третью представляют гамма-лучи, являющиеся некоторым видом волнообразного движения в эфире. Когда альфа-луч приближается к атому, он старается сорвать с места электрон, совершенно подобно тому, как комета, прилетевшая в нашу солнечную систему, могла бы иметь тенденцию сорвать с места луну. Бета-луч стремится отбросить электрон силой отталкивания, совершенно подобно тому, как комета с чудовищным атмосферным вихрем на своей поверхности могла бы иметь тенденцию увлечь воздушным током луну. Наконец, гамма-лучи действуют тем, что вызывают некоторого рода вол-

нение в эфире, в силу которого электрон приобретает достаточно большую скорость, чтобы быть в состоянии покинуть атом.

Значительная доля ионизации, а следовательно, и электропроводности атмосферы обуславливается присутствием в ней эманации радия. На кубический сантиметр атмосферы в среднем приходится лишь около одной с половиной молекулы эманации, тогда как в нем содержится около 30 миллионов миллионов молекул воздуха; тем не менее и такого количества эманации достаточно для того, чтобы дать весьма заметный эффект ионизации. Альфа-бета-и гамма-лучи, испускаемые радиоактивными эманациями в воздухе, гамма-лучи, испускаемые радием почвы, а может быть, и проникающее излучение космического происхождения составляют главные источники ионизации в атмосфере. То обстоятельство, что ионизация над поверхностью больших океанов, где нет радиоактивных веществ, одного порядка с ионизацией над поверхностью суши, наводит на мысль, что космическое излучение может играть важную роль, хотя недавние эксперименты породили некоторые сомнения относительно реальности этого излучения, по крайней мере, относительно присутствия его на небольших высотах. Суммируя изложенное, можно сказать, что определенные лучи, а именно α - β и γ -лучи, а возможно и некоторое космическое излучение, являются причиной испускания электронов небольшим числом молекул воздуха, вызывая таким путем образование положительных и отрицательных ионов, сообщающих электропроводность атмосфере.

Проводимость атмосферы у земной поверхности совершенно ничтожна по сравнению с проводимостью такого вещества, как медь. Так, воздушный цилиндр длиной в 1 дюйм оказывает электрическому току такое же сопротивление, какое оказывал бы медный кабель такого же поперечного сечения, протянутый 20 раз от земли к звезде Арктуру и обратно. Тем не менее и такая электропроводность была бы достаточно для того, чтобы 90% заряда земли исчезло в течение 10 минут, если бы эти потери не пополнялись. Объяснение факта сохранения заряда земли составляет важную проблему в учении об атмосферном электричестве. Количественно это пополнение заряда, нуждающееся в объяснении, невелико. Ток, исходящий от всей земной поверхности, достигает лишь около 1 000 ампер, т.-е. величины, потребляемой тремя тысячами лампочек накаливания; но наши сведения относительно природы электрических явлений настолько определены, что мы обязаны внести существенные критические ограничения в возможные процессы, которыми можно было бы объяснить такое пополнение.

СОХРАНЕНИЕ ЗАРЯДА ЗЕМЛИ.

Очевидно, что если отрицательное электричество уходит из земли или положительное входит в нее благодаря градиенту потенциала, существующему в проводящей атмосфере, то должен существовать некото-

рый компенсирующий электрический ток, возникающий вследствие процессов, действующих в направлении обратном электрическим силам поля. Предложенные теории распадаются в большей своей части на два класса, а именно такие, в которых основным действующим агентом, заставляющим заряды двигаться против поля, является сила тяжести, и такие, в которых возвращение отрицательных частиц в землю происходит, несмотря на обратное поле, благодаря весьма большой скорости, приобретаемой ими тем или иным путем.

Теории, основанные на тяготении. Примером теории первого рода может служить теория К. Т. Р. Вильсона, утверждающая, что пополнение происходит благодаря дождям. Теоретические соображения показывают, что дождевые капли должны образовываться на атмосферных ионах — притом, на отрицательных ионах — в большем количестве, нежели на положительных, так что можно ожидать, что дождь в общем будет иметь отрицательный заряд. Заряженные капли, падая на землю под влиянием силы тяжести, будут действовать противно электрическому полю, и будут давать пополнение заряда земли. Эта теория вызывает два основных возражения. Прежде всего, дождь действительно заряжен, притом, быть может, в достаточной степени для объяснения необходимого пополнения заряда; однако, установлено, что 90% выпадающего дождя имеет положительный заряд. Кроме того, по видимому, весьма затруднительно теоретически допустить возможность конденсации воды на атмосферных ионах в форме капель заметной величины, так что эта теория в настоящее время всеми оставлена.

Близко подходит к разрешению задачи и, несомненно, отчасти объясняет происхождение заряда земли теория Эберта. Теория эта, представляющая собою видоизменение более старой теории Эльстера и Гейтеля, исходит из того факта, что если ионизированный воздух проходит через тонкую трубку, то отрицательные ионы диффундируют к стенкам трубки быстрее, чем положительные, так что выходящий из трубки воздух имеет положительный заряд. Эберт прилагает это явление к объяснению проблемы атмосферного электричества, высказывая предположение, что воздух, находящийся в скважинах почвы и ионизированный действием почвенных радиоактивных веществ, выходит из этих скважин в течение периодов падения барометрического давления, оставляя избыточный отрицательный заряд на стенках скважин. Положительный заряд, выходящий наружу, должен был бы держаться в непосредственной близости к почве под влиянием отрицательного заряда, но здесь Эберт привлекает на помощь воздушные потоки, направленные вверх, которые переносят этот заряд, против поля, в более высокие области атмосферы. Эта теория вызвала критику на том основании, что испускание ионов почвой недостаточно, а течения, направленные вверх, слишком слабы. Я ду-

маю, однако, что одно из наиболее серьезных возражений надо искать в том выводе, который сравнительно просто вытекает из теоретических соображений: а именно, из такого рода теории следовало бы, что прежде чем восходящий положительный заряд поднялся бы до высоты, примерно, в 1 км, он исчез бы почти совершенно, поглощаясь отрицательным зарядом, непрерывно доставляемым снизу, от земли, через посредство проводящей атмосферы ¹⁾. Мы получили бы в таком случае положительный заряд в атмосфере, отрицательный заряд — на поверхности земли, ток проводимости и градиент потенциала; но все эти явления были бы ограничены слоем атмосферы толщиной, приблизительно, в 1 км. Весь положительный заряд атмосферы заключался бы в этом слое, и, будучи равен отрицательному заряду поверхности земли, как бывший его спутник в нейтральном веществе, он уничтожил бы поле на всякой более значительной высоте.

Существуют и другие трудности в теории Эберта и в теории «осаждения ионов», принадлежащей К. Т. Р. Вильсону. Так, согласно обеим этим теориям, соответственные плотности положительного и отрицательного заряда явно должны были бы оставаться в областях своего возникновения, вследствие чего в других частях земли

¹⁾ Основание этого таково: пусть ρ будет плотность, v — скорость восходящего положительного электричества. Пусть X будет градиент потенциала, а λ — электропроводность в некотором пункте атмосферы; пусть, наконец, ось x будет направлена вертикально вверх от земной поверхности.

Равновесие между током проводимости и конвекционным током на всех высотах требует, чтобы

$$\rho v + X\lambda = 0 \dots \dots \dots (1)$$

Уравнение Пуассона дает

$$\frac{\partial X}{\partial x} = 4\pi\rho \dots \dots \dots (2)$$

таким образом из (1) и (2) следует, что

$$r \frac{\partial X}{\partial x} + X\lambda = 0,$$

откуда

$$X = X_0 e^{-4\pi \int_0^h \frac{\lambda}{v} dx} \dots \dots \dots (3)$$

где X — градиент потенциала на высоте h .

Но так как λ возрастает вместе с высотой, а v — уменьшается, то значение X , даваемое уравнением (3), несомненно, меньше, чем значение, полученное подстановкой в него значения λ/v или соответственно λ_0/v_0 для поверхности.

Таким образом,

$$\frac{X}{X_0} < e^{-4\pi \frac{\lambda_0}{v_0} h}.$$

Если $\lambda_0 = 3 \times 10^4$ — электростат. единицы, а $v_0 = 100$ см сек. и если мы примем $h = 1.000$ метров, то найдем, что значение $\frac{X}{X_0}$ на такой высоте меньше 0, 02.

вовсе не было бы электрического поля. Бесполезно обращаться к ветру для переноса положительного заряда атмосферы в отдаленные области, ибо 90% его исчезло бы в течение 10 минут пути вследствие электропроводности атмосферы. На трудности такого же рода наталкивается всякая теория, согласно которой пополнение заряда происходит посредством разделения зарядов на изолированных местах таким путем, что положительные и отрицательные заряды остаются на сравнительно близком расстоянии друг от друга. Трудности становятся менее серьезными, если мы примем правдоподобную гипотезу, что нижний слой атмосферы окружен некоторым проводящим слоем. Существование такого слоя представляется необходимым для объяснения факта отражения волн беспроводного телеграфа в слоях, окружающих землю; серьезные основания предполагать существование такого слоя дают также наши сведения о механизме колебаний земного магнетизма, которые рассматриваются ниже.

В присутствии такого слоя под влиянием заряженного облака должна устанавливаться разность потенциалов между слоем и землей, передающаяся вокруг во все стороны ввиду того, что разность потенциалов между землей и слоем должна быть во всех местах одинакова. Подробное рассмотрение действия такого слоя

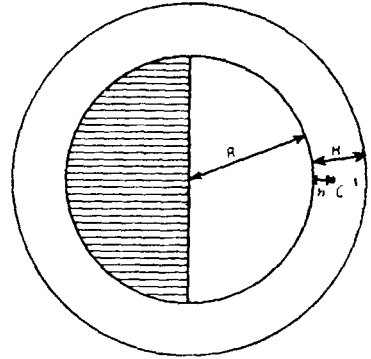


Рис. 2.

показывает, что если заряженное облако C (рис. 2) находится на высоте h над поверхностью земли и если H — высота проводящего слоя, а R — радиус земли, то полушарие земли, симметрически удаленное от заряженного облака (заштрихованный полукруг на рис. 2) получило бы число силовых трубок в $\frac{R}{H}$ раз большее, чем то, какое оно получило бы при от-

сутствии слоя, или долю $\frac{h}{H}$ того числа, какое оно получило бы, если бы заряд земли и заряд облака были распределены равномерно, первый — по земле, а второй — в атмосфере. Таким образом, если бы дождь шел с облака, находящегося на высоте 5 км, и если бы эффективная высота проводящего слоя равнялась 50 км, то среднее значение градиента потенциала на заштрихованном полушарии было бы равно 0.1 той величины, какую он имел бы, если бы заряды были равномерно распределены по земле и в атмосфере, и более чем в сто раз превосходит ту величину какую он имел бы при отсутствии проводящего слоя. Мы видим, таким образом, что при существовании проводящего слоя всякий центр обособления заряда, каков, например, дождевой поток, может оказывать влияние. — положительное или отрица-

тельное, в зависимости от обстоятельств — на общий градиент потенциала в каждой части земли ¹⁾).

Однако, хотя трудности, связанные с допущением локализации градиента потенциала, устраняются предположением существования проводящего слоя, остаются все же другие достаточно серьезные затруднения, о которых мы говорили и которые делают маловероятным, чтобы теория Эберта учитывала главную причину земного заряда.

Корпускулярные теории. Мы обращаемся теперь к теориям, в которых пополнение заряда приписывается действию наэлектризованных частиц («корпускул») большой скорости, попадающих на землю. Первая из таких теорий предложена Г. К. Симпсоном (G. C. Simpson). Эта теория предполагает, что солнце испускает отрицательные и положительные частицы с большой проникающей способностью. Предполагается, что первые (отрицательные) проходят прямо насквозь через нашу атмосферу и заряжают землю, тогда как последние обладают меньшей проникающей способностью и застревают в атмосфере. Таким образом земля будет непрерывно получать отрицательный, а атмосфера — положительный заряд. При этом обычный процесс атмосферной электропроводности будет создавать постоянный ток электричества между атмосферой и землей, так что стационарное состояние будет достигаться в том случае, когда нейтрализация заряда под влиянием этого последнего процесса будет в количественном отношении в точности уравновешиваться заряжающим действием притока частиц. Эта теория требует существования частиц с таким значительным пробегом, что они могут проходить через всю толщину земной атмосферы, которая по поглощающей силе эквивалентна столбу ртути высотой приблизительно в 76 см. Наибольший пробег, наблюдавшийся в воздухе для β -лучей радия, равен приблизительно 7 или 8 метрам. Электроны, имеющие скорость в 99% скорости света, могут пройти только через слой алюминия, толщиной в 1.3 см, что по поглощающей силе эквивалентно приблизительно 10 метрам воздуха при атмосферном давлении.

Хотя, согласно электромагнитной теории, скорость света представляет максимальную скорость, какой может достичь частица, однако, было бы неосторожно предполагать на основании того, что частицы со скоростью, равной 99% скорости света, имеют пробег в воздухе только в 10 метр., что никакие частицы не могут иметь большего пробега. В самом деле, электромагнитная теория показывает, что частицы со скоростью даже в 99% скорости света весьма далеки по своим свойствам от частиц, которые приближаются к этому пределу в гораздо большей степени. Как известно, масса частицы возрастает вместе со

¹⁾ Заметим, кроме того, что указанное действие проводящего слоя легко сводит к минимуму то возражение против теории Эберта, которое основывается на невозможности для положительного заряда достигать высот, превышающих приблизительно 1 км.

скоростью последней, так что частица должна обладать бесконечно большой энергией, чтобы достичь скорости света. Теория поглощения электронов в материи для больших скоростей была разработана Н. Бором, и таблица I дает для различных скоростей, приближающихся к скорости света, величины пробега, вычисленные на основании формулы Бора, в связи с экспериментальными величинами, полученными Р. В. Вардером (R. Varder) для меньших скоростей, доходящих до 0,99 скорости света. Согласно теории Бора, при скорости, равной скорости света, пробег теоретически достигает бесконечной величины.

ТАБЛИЦА I.

ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕГО ПРОБЕГА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ.

| $\frac{\text{Скорость частицы.}}{\text{Скорость света.}}$ | Средний пробег в метрах. |
|---|-----------------------------|
| 0,80 | 0,7 |
| 0,85 | 1,1 |
| 0,90 | 1,9 |
| 0,95 | 3,5 |
| 0,99 | 10,5 |
| 0,996 | 18,0 |
| 0,998 | 26,0 |

Обыкновенно для скоростей, еще более близких к скорости света, чем приведенные в таблице I, принимаются в расчет дополнительные соображения; характер этих соображений таков, что они дают в результате еще большие пробеги, чем вытекающие из формулы Бора.

Теория Симпсона и ей подобные приводят к интересным выводам в отношении изменения плотности атмосферного тока в зависимости от высоты. Вытекающие отсюда идеи можно изучить всего проще, если рассмотреть такой случай, когда весь корпускулярный поток через тропосферу состоит из отрицательных частиц, так как носители положительного электричества застревают в верхних слоях атмосферы.

Само собою очевидно, что при стационарном состоянии плотность корпускулярного тока, направленного вниз, должна быть равна во

всяком пункте атмосферы плотности тока проводимости, направленного вверх. Но если частицы сплошь поглощаются при своем опускании вниз, то плотность нисходящего корпускулярного тока будет уменьшаться по мере приближения к земной поверхности, так что плотность восходящего тока проводимости будет возрастать вместе с высотой. Если бы, например, плотность корпускулярного тока при нисхождении с высоты 10 км до 5 км уменьшалась вдвое по сравнению со своей первоначальной величиной, то плотность тока проводимости возрастала бы на 100% при его восхождении с высоты 5 км до 10 км. Имеющиеся у нас данные относительно изменения плотности вертикального тока проводимости в зависимости от высоты не очень богаты. Однако же, поскольку они имеются, они не обнаруживают больших изменений в зависимости от высоты. Мы видим, таким образом, что пробег, требуемый теорией Симпсона и ей подобными, превышает то значение этого пробега, которое необходимо для простого объяснения факта достижения частицами земли. Необходимо также объяснить этот факт при условии отсутствия поглощения, как это вытекает из постоянства плотности тока проводимости на разных высотах¹⁾.

Мы чувствовали бы себя более удовлетворенными, если бы могли придумать такую теорию, которая не требовала бы столь высокого предела проникания, как теория Симпсона. Имеется один или два способа, какими мы можем этого достичь. Вообразим себе, что в силу радиоактивности или какой-либо другой причины некоторое количество молекул воздуха будет разрушаться каждую секунду с испусканием отрицательной частицы высокой скорости.

В таком случае, хотя эти частицы могут быть испускаемы в общем во всех направлениях, но некоторые частицы будут попадать из атмосферы в землю, и последняя таким образом будет приобретать заряд, пока ток проводимости, направленный обратно в атмосферу, не уравновесит корпускулярного тока. Практически все частицы, попадающие в землю, будут притекать туда с расстояния, сравнимого со средним пробегом частицы. Как бы ни был короток этот пробег, мы можем обеспечить необходимое пополнение заряда земли, если допустим достаточно обильное испускание этих частиц каждым кубическим сантиметром. Однако, если только мы не допустим очень большой величины пробега, мы натолкнемся на трудности, связанные с изменением тока проводимости в зависимости от высоты. Предположим, например, что средний пробег равен 10 метрам, так что практически все частицы,

¹⁾ Поскольку положительные частицы поглощаются легче отрицательных.—включение первых в анализ, вообще говоря, понизит скорость уменьшения плотности чистого корпускулярного тока по мере его нисхождении в атмосфере. Во всяком случае только при весьма специфических условиях законы поглощения двух родов частиц могут быть таковы, чтобы плотность чистого корпускулярного тока оказалась независимой от высоты.

падающие в землю, происходят из слоя, толщина которого сравнима с указанной цифрой. На высоте, порядка 10 метров, результирующий корпускулярный ток будет равен нулю, так как нижним слоем воздуха будет испускаться вверх столько же частиц, сколько будет испускаться вниз верхним слоем. Фактически корпускулярный ток будет изменяться в силе, начиная с максимума у поверхности земли до нуля — на названной высоте, и так же будет изменяться как ток проводимости, так и градиент потенциала.

Мы видим, таким образом, что если предположить равное испускание частиц каждым кубическим сантиметром атмосферы и равномерное уменьшение величины пробега с каждым сантиметром пути, то практически необходимо будет предположить, что средний общий пробег равен той высоте, до которой мы желаем объяснить градиент потенциала. Таков же будет результат, если мы предположим определенное испускание частиц каждым граммом атмосферы, ибо хотя в этом случае давление и плотность будут уменьшаться вместе с высотой, однако же в той же мере будет увеличиваться величина пробега. Мы можем избавиться от этого нежелательного заключения, предположив возрастание испускания на каждый грамм вместе с высотой; подобный случай мы имели бы, если бы вообразили, что испускание вызывается некоторого рода внешним излучением, постепенно поглощаемым по мере своего нисхождения. Чтобы получить на самом деле постоянную плотность тока проводимости, необходимо было бы предположить возрастание испускания в зависимости от высоты, сравнимое с двойной величиной требуемого корпускулярного тока, при массе воздуха, соответствующей среднему пробегу частиц.

Небезынтересно рассмотреть порядок величин, требуемых такого рода теорией. Оказывается, что если предположить пробег равным 5 км, то необходимо лишь допустить, что каждые 200 куб. см испускают приблизительно одну частицу в секунду. Но мы знаем, что на каждый куб. см образуется около 6 ионов в секунду; таким образом, необходимо лишь предположить, что только один из 1200 таких ионов образуется с испусканием частицы с большим пробегом.

Мы можем избежать гипотезы самопроизвольного испускания и получить некоторые другие выгоды, приняв гипотезу, до некоторой степени сходную с предыдущей. Стало обычным предположение, что через нашу атмосферу проходит сильно проникающее излучение, происходящее либо из наружных областей атмосферы, либо от некоторого космического источника, например, от солнца. Это предположение выдвинуто для объяснения образования ионов, происходящего, как известно, в закрытом сосуде, освобожденном, насколько это возможно, от радиоактивного воздуха, — явление, которого нельзя объяснить иначе, даже если принять во внимание исходящие от почвы γ лучи, которые могут проникать сквозь стенки сосуда. В силу основа-

ний, в детали которых я здесь не имею надобности входить, было предположено, что это излучение представляет собой некоторый род γ -лучей, но более проникающего типа, чем обычно наблюдаемое излучение радия. Но γ -лучи обладают способностью производить ионизацию, г.-е. заставлять газ, через который они проходят, испускать электроны, при чем природа их действия такова, что направление движения испускаемого электрона почти совершенно совпадает с направлением γ -лучей.

Мы можем, таким образом, ожидать, что такого рода излучение, приходящее сверху, будет вызывать испускание электронов воздухом, при чем последние будут направляться вниз и пройдут некоторое расстояние, прежде чем остановиться. Электроны, испускаемые в пределах соответствующего расстояния от земли, будут достигать ее и заряжать. Их места займут другие электроны, возникающие в верхних слоях, которые будут поглощены, прежде чем успеют достичь земли. Одно из преимуществ этого типа корпускулярной теории состоит в том, что для объяснения образования частиц она обращается к фактору, существование которого уже признано по другим основаниям; другое ее преимущество заключается в том, что она не требует искусственного приспособления теории для объяснения тока проводимости, практически независимого от высоты. По мере увеличения высоты, испускание частиц на кубический сантиметр будет уменьшаться, но расстояния, проходимые частицами, будут соответственно возрастать, так что если интенсивность проникающего излучения сама по себе не зависит от высоты, то и корпускулярный ток также будет оставаться независимым от высоты.

Далее, подвергая теорию математической обработке, мы приходим к величинам, отнюдь не представляющим немислимых. Так, если мы допустим, что на каждый кубический сантиметр испускается в секунду только 3 частицы с большой скоростью, — количество, сравнимое с тем, которое, как предполагается, испускается под влиянием проникающего излучения, — то необходимо лишь допустить, что эти частицы имеют пробег в 9 метров в воздухе, — и мы получим объяснение пополнения заряда земли¹⁾. Мы увидим сейчас, что для объяснения ионизации желательнее приписать частицам большую величину пробега, чем 9 метров; но, чтобы объяснить одно только пополнение заряда земли, достаточно пробега и в 9 метров.

Возражения против корпускулярных теорий. — Обращаясь теперь к двум главным возражениям, которые могут быть выдвинуты против корпускулярных теорий всякого рода. Первое из них происходит от неудачи попыток открыть какой-либо эффект в

¹⁾ Теория, родственная с приводимой здесь, была развита совершенно независимо Швейдлером (E. v. Schweidler) несколько времени спустя после появления оригинального сообщения автора.

смысле приобретения заряда изолированным телом, подвергнутым действию частиц. Если частицы притекают на землю сверху, то изолированная масса металла должна была бы постепенно приобретать заряд от попадающих в нее частиц, если только, впрочем, частицы эти не обладают столь сильной проникающей способностью, что проходят прямо насквозь через массу. Для того, чтобы соответствующий опыт был ценен, необходимо взять очень толстый кусок металла, так как частицы, прошедшие через земную атмосферу, эквивалентную 76 см ртути, не обнаружат большого поглощения при прохождении через добавочные несколько сантиметров металла. Я произвел такого рода эксперимент в 1915 г., но не мог обнаружить какой-либо электризации искомого типа. В более недавнее время такого же эффекта искал Швейдлер, но безуспешно. Однако я уже тогда чувствовал, что мои собственные опыты, которые были произведены с бруском меди длиной около 25 см и диаметром 5 см, помещенным вертикально, должны быть повторены с большей массой металла, тогда как эксперименты Швейдлера были произведены с еще меньшей массой. Во всяком случае, если мы найдем, что металлический шар, скажем, в один метр диаметром, не испытывает никакой электризации, то теории, приписывающие пополнение заряда притоку частиц, встретились бы с серьезным затруднением. Затруднение это, однако, не непреодолимо, если мы примем последний из взглядов, изложенных мною, а именно тот, согласно которому испускание частиц молекулами воздуха производится под влиянием чрезвычайно жестких γ -лучей, падающих сверху. В самом деле, если, согласно этому взгляду, γ -лучи будут достаточно проникающими, чтобы пройти прямо сквозь металл, то они будут с одной стороны выталкивать частицы из нижней части массы, а с другой вталкивать их в верхнюю часть. Простое вычисление показывает, что, предполагая интенсивность γ -лучей не изменяющейся при прохождении через металл, легко прийти к заключению, что из нижней части массы будет выталкиваться столько же электронов, сколько будет вталкиваться в верхнюю часть: для этого необходимо лишь сделать предположение, что отношение числа испускаемых частиц на куб. см воздуха и металла равно отношению плотностей этих веществ и что средний пробег частицы в воздухе и металле обратно пропорционален плотностям. Оба эти предположения вполне согласуются с тем, что нам известно о законах, относящихся к действию γ -лучей и к прохождению частиц через материю.

Второе крупное и, быть может, на первый взгляд наиболее серьезное возражение против всякой корпускулярной теории состоит в том, что при прохождении частиц с большой скоростью на их пути к земле через атмосферу можно было бы ожидать более сильной ионизации, чем та какая наблюдается на самом деле. Положение таково: корпускулярный ток, необходимый для уравновешения атмосферного эле-

трического тока, равняется притоку 1500 частиц на квадратный сантиметр в секунду. Но мы знаем, что электрон со скоростью, приближающейся к скорости света, производит на сантиметре своего пути около 40 ионов; поэтому мы можем ожидать, что на каждый куб. см будет возникать приблизительно 60000 ионов в секунду, между тем как опыт показывает, что они образуются лишь в количестве, равном одной десяти тысячной приведенной цифры. Для того, чтобы понять, каким образом мы можем избежать этой трудности, интересно рассмотреть несколько ближе механизм ионизации.

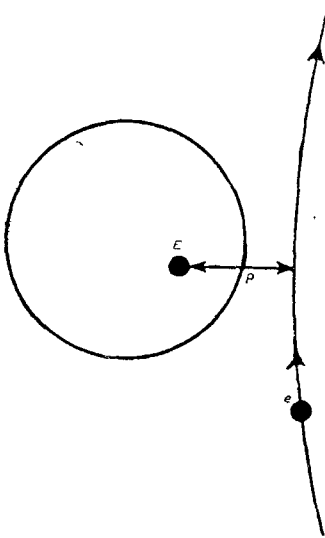


Рис. 3.

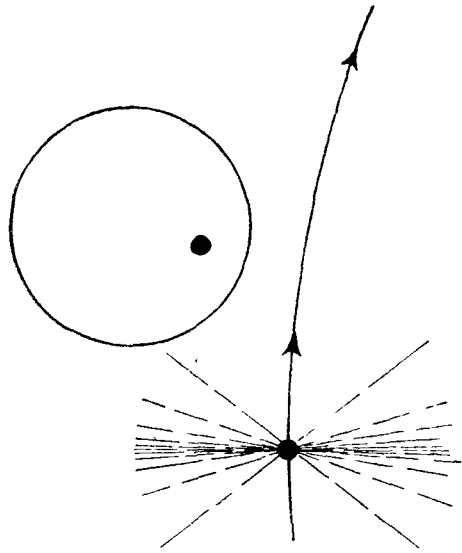


Рис. 4.

Отсутствие ионизирующего действия у корпускул, скорость которых приближается к скорости света. — Предположим, что на рис. 3 E — электрон в атоме и что другой электрон — e , который я для отличия буду называть частицей, приближается к атому. Частица при приближении к электрону начнет его отталкивать и будет продолжать оказывать такое же действие при своем удалении; в результате этого электрон будет получать энергию, при чем приобретаемый им момент будет находиться в более или менее перпендикулярном направлении к линии полета частицы. Чем больше скорость частицы, тем короче тот промежуток времени, в течение которого электрон имеет возможность получать от нее импульс. Таким образом сила действия частицы в смысле способности ее вытолкнуть электрон из атома уменьшается вместе с увеличением ее скорости и свелась бы, можно сказать, к нулю, если бы частица могла достичь бесконечной скорости. Но частица не может достичь скорости большей

чем скорость света, и, поскольку речь идет о вышеуказанном эффекте, не обнаруживается очень значительного ослабления ионизирующей силы при возрастании скорости, начиная, скажем, от 95% скорости света, при которой ионизация была измерена, и вплоть до скорости самого света.

Однако с приближением к скорости света обнаруживается новое явление. Поле частицы не остается распределенным равномерно. Согласно известным законам электромагнетизма, ее линии сил будут все больше и больше сдвигаться в экваториальную плоскость, как указывают штриховые линии на рис. 4. В виду этого время, в течение которого частица оказывает действие на электрон, уменьшается в еще большей степени; однако интенсивность действия в течение этого времени возрастает; в результате, как показал Бор, если мы не будем принимать во внимание других соображений, то энергия, сообщаемая электрону прохождением частицы, не потерпит никаких изменений вследствие указанной концентрации силовых линий.

Однако же мы должны принять в расчет еще одно весьма важное соображение.

Если электрон получит даже небольшую скорость в течение очень короткого промежутка времени, то, как известно, он будет излучать большое количество энергии. Его внезапное движение даст сильный толчок эфиру. Соответствующий математический расчет показывает, что если бы даже мы захотели сообщить электрону лишь небольшое количество энергии, но в течение бесконечно малого промежутка времени, то нам необходимо было бы уплатить род налога в виде бесконечно большого количества энергии в форме излучения. Но чем ближе подходит скорость частицы к скорости света, тем быстрее сообщает она электрону энергию. Не входя в слишком большие подробности, мы можем изобразить такое положение следующим образом. Если частица движется со скоростью, приближающейся к скорости света (например, достигая 95% скорости света), но не столь близкой к ней, как та, при которой вступают в силу изложенные соображения относительно излучения, то, как оказывается, частица должна приблизиться к электрону кислородного атома на расстояние, не превышающее $0,7 \times 10^{-10}$ см, чтобы быть в состоянии вытолкнуть этот электрон из атома. Но возможно приписать частице скорость, столь близкую к скорости света, что если бы она подошла к электрону на расстояние $0,7 \times 10^{-10}$ см, то один уже «налог» в виде излучения, сопровождающего выталкивание электрона, превышал бы то количество энергии, которое может ему сообщить частица, и условия таковы, что положение еще более неблагоприятно для выталкивания электрона, если частица подойдет к нему ближе чем на расстояние $0,7 \times 10^{-10}$ см. Не подлежит сомнению, что при отсутствии излучения электрон получит тем больше энергии, чем ближе подойдет к нему

частица, но если принять во внимание излучение, то электрон, к которому частица с достаточно большой скоростью приблизилась бы на расстояние, не превышающее $0,7 \times 10^{-10}$ см, находится в положении человека, заработок которого столь высок, что если он его получит, то падающий на него подоходный налог превысит весь его заработок ввиду очень сильного обложения высоких доходов, так что он больше выиграет, имея меньший заработок. Однако электро-магнитные уравнения милостивы к электрону и позволяют ему при таких условиях отказаться от своего заработка. Прямым результатом всего этого является то, что если скорость частицы достаточно высока, то она будет не в состоянии вытолкнуть электрон, если пройдет от него на расстоянии $0,7 \times 10^{-10}$ см. Она также будет не в состоянии вытолкнуть его, если подойдет к нему на более близкое расстояние, в силу реакции излучения. Но она была бы не в состоянии вытолкнуть его, проходя и на большем расстоянии, чем указанное, если бы соображения, относящиеся к излучению, отсутствовали. В результате она оказывается вообще во всех случаях неспособной вытолкнуть электрон. Произведи соответствующий математический расчет, мы найдем, что частица со скоростью на 200 метров в секунду меньшей, чем скорость света, будет безусловно не в состоянии вытолкнуть электрон из атома азота или кислорода¹⁾.

Интересно следующее замечание: если мы сделаем предположение, что частицы приносятся на землю из пространства вне атмосферы, то,

¹⁾ Не прибегая к этим соображениям и пользуясь лишь более старыми воззрениями, Швейдлер (*Akad. Wiss. Wien Ber. 1918, 127, 2a, стр. 515—533*) пришел к заключению, что ионизация на сантиметр пути будет бесконечно уменьшаться при приближении скорости частицы к скорости света. Как кажется, однако, его аргументация не выдерживает критики. В основании ее лежит то обстоятельство, что, согласно старым теориям, ионизация на сантиметр обратно пропорциональна mV^2 , где m —масса, а V —скорость частицы. Для малых скоростей $\frac{1}{2} mV^2$ есть кинетическая энергия; поэтому говорят, что ионизация на сантиметр пути обратно пропорциональна кинетической энергии. Принимая это положение, Швейдлер ставит на место $\frac{1}{2} mV^2$ выражение, принятое в теории относительности для кинетической энергии, которая становится бесконечной, когда V приближается к скорости света, и, таким образом, приходит к заключению, что ионизация на сантиметр пути должна бесконечно уменьшаться по мере приближения к этому пределу. Однако необходимо заметить, что в первоначальное выражение для ионизации на сантиметр пути формула $\frac{1}{2} mV^2$ входит не потому, что она выражает кинетическую энергию. Включение V^2 в знаменатель этого выражения тесно связано с тем обстоятельством, что время, в течение которого частица находится в эффективной близости к атому, уменьшается с возрастанием скорости. На самом деле это количество V^2 не представляет какой-либо величины, которая действительно стала бы бесконечной, когда V достигла бы скорости света, как это ясно показывает детальное исследование элементов, включенных в печисление ионизации на сантиметр пути.

совершенно независимо от какого бы то ни было поглощения в атмосфере, необходимо допустить некоторую минимальную скорость, чтобы объяснить достижение ими земли, по крайней мере, по соседству с экватором. В самом деле, путь движущейся частицы получает изгиб под влиянием магнитного поля, и этот изгиб может оказаться настолько сильным, чтобы повернуть частицу назад в пространстве. Чем больше скорость частицы приближается к скорости света, тем меньше изгибается ее путь. Уменьшение изгиба есть не столько прямой результат увеличения скорости, сколько возрастания массы, порождаемой увеличенной скоростью. Как оказывается, для того, чтобы частица, вошедшая в нашу атмосферу по соседству с экватором, оказалась в силах достичь поверхности земли, не будучи обращена назад действием земного магнитного поля, она должна обладать скоростью, слишком большой для того, чтобы она могла ионизовать воздух, через который проходит.

Биркеланд (Birkeland) старался объяснить главные свойства зари, предполагая, что она производится внедрением в нашу атмосферу частиц с большой скоростью, испускаемых солнцем. Чтобы объяснить факты в связи с искривлением, которое претерпевают пути частиц в земном магнитном поле, он вынужден допустить, что скорости колеблются в пределах величины, от 400 до 4 м в секунду меньшей, чем скорость света. Таким образом скорость, при которой ионизация должна прекращаться, хорошо укладывается в границы, указанные Биркеландом. Как вытекает из ныне принятой теории, частицы Биркеланда вовсе не будут иметь ионизирующего действия, так что они не могут дать хорошего объяснения зари; но в настоящее время общепринято, что заря не есть результат ионизации, производимой отрицательными электронами, и я напоминаю об этих вычислениях Биркеланда лишь для того, чтобы показать, что, прибегая к скоростям, только на 200 метров в секунду меньшим, чем скорость света, мы отнюдь не прибегаем к еще более «сильно действующим» средствам, чем какие уже применялись в других областях нашей науки.

Заметим, кроме того, что, если мы экстраполируем теорию Бора о поглощении на скорости, сравнимые с величиной, на 200 метров в секунду меньшей, чем скорость света, то мы найдем, что частицы, обладающие такой скоростью, могут проходить в атмосфере расстояния, сравнимые с одним километром. Если мы вспомним, что передача энергии электронам в атомах есть процесс, посредством которого частицы, согласно теории Бора, теряют энергию, то мы увидим, что уменьшение такой передачи, выражающееся в отсутствии ионизации, будет иметь результатом еще большее возрастание величины возможного пробега. Таким образом природа всех относящихся сюда соображений такова, что все они сходятся в следующем взгляде: если ча-

стицы должны вступать в нашу атмосферу со скоростями, достаточно близкими к скорости света, чтобы быть в состоянии достичь земной поверхности по соседству с экватором, не испытав поворота в обратную сторону под влиянием земного магнетизма, то они при этом должны проходить прямо через атмосферу при ограниченном поглощении и не будут ионизовать воздух, через который они проходят.

Таким образом трудности, заключающиеся в том, что всякая корпускулярная теория земного заряда, как могло бы казаться на первый взгляд, должна приводить к ионизации воздуха, не представляются непреодолимыми. Но мы наталкиваемся на новые затруднения: правда, при объяснении одного только факта пополнения земного заряда мы можем избежать гипотезы о больших пробегах, необходимой для теории, согласно которой воздух испускает частицы под влиянием проникающего излучения: однако с другой, стороны, мы должны предполагать для частиц скорости, весьма близкие к скорости света, чтобы объяснить отсутствие ионизации, а это уже само собой приводит, как к следствию, к большим пробегам.

Были сделаны попытки преодолеть предполагаемые трудности, к которым должно привести отсутствие электризующего эффекта в случае изолированного тела, сделав предположение, что приток частиц происходит в поясе северного сияния. Быть может, полезно будет указать, что если даже мы сделаем такое предположение, то не избежим трудностей, к которым приводит факт ионизирующего действия таких частиц, если мы не примем какой-нибудь теории, вроде набросанной мною; в самом деле, если мы примем обычную ионизацию на сантиметр пути, то необходимо будет допустить воссоединение ионов, чтобы уменьшить плотность ионов, притом в такой степени, что мы должны были бы предполагать площадь падения частиц, составляющей менее одной тысячной площади земли: с другой стороны, сообщаемая при этом воздуху электропроводность будет настолько велика, что при градиенте потенциала в 150 вольт на метр весь ток проводимости для одной этой области будет иметь, как показывает вычисление, большую величину, чем корпускулярный ток.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА.

То обстоятельство, что земля обладает способностью определять направление магнитной стрелки, было известно еще древним. Действительно, земля ведет себя приблизительно так, как если бы она представляла собой исполинский магнит с двумя полюсами, из которых один лежит недалеко от северного географического полюса, а другой — недалеко от южного. Проблема объяснения этого факта была одной из наиболее увлекательных областей в космической физике.

Конечно, мы можем сказать, что внутренность земли содержит большое количество вещества, обладающего магнитными свойствами, вроде железа, которое приобрело магнетизм тем или иным путем и в то или иное время. Однако мы не можем так уж легко избавиться от ответственности за это объяснение; в самом деле, мы знаем, что если нагреть стальной магнит до температуры в 785 градусов по Цельсию, то он теряет свой магнетизм, а мы имеем основания думать, что внутри земли температура гораздо выше указанной. Мы можем избавиться от этого вывода, если предположим, что большие давления, господствующие внутри земли, повышают температуру, при которой утрачивается магнетизм. Но пока не добыты дальнейшие и действительные данные относительно влияния давления в этом направлении, мы можем пытаться поискать более основательную причину для объяснения магнитного состояния земли.

Трудно противостоять искушению (ему поддавались многие), предположить, что земной магнетизм связан тем или иным путем с вращением земли. Несомненно, что наиболее простые теории, основанные на этом взгляде, приводят к состоянию магнетизации, симметричной по отношению географической оси, и, кроме того, из них не вытекает сама собой замечательная черта земного магнетизма, выражающаяся в его вековых изменениях. Тем не менее, мы могли бы чувствовать большое удовлетворение своими успехами, если бы нам удалось указать какой-либо путь, с помощью которого такое тело, как земля, могло бы приобрести магнетизацию, сравнимую по величине с наблюдающимся в действительности земным магнетизмом.

Теории, прибегающие к вращению электростатически заряженных систем. — Мы знаем, что электрический ток, протекающий по круговому проводу, создает магнитное поле, и если бы мы обмотали поверхность шара одним слоем колец и затем пропустили через кольца ток, то мы получили бы магнитное поле приблизительно аналогичное полю земли. Но так как земля электрически заряжена, то первая мысль, которая может нам прийти в голову, — это мысль о том, не даст ли заметного поля ток, образуемый вращением этого заряда вместе с землей. Плотность заряда известна, известна также и скорость вращения земли, так что сравнительно легко вычислить результат. Пренебрегая действием положительного заряда атмосферы, мы найдем, что создающееся таким путем магнитное поле достигает величины лишь одной стомиллионной доли земного поля. Поскольку заряд земли создает весьма значительное электрическое поле на ее поверхности, мы видим, что плотность заряда, необходимая для образования магнитного поля, сравнимого с земным полем, должна создать электрическое поле огромной величины. Кроме того, хорошо известно, что вследствие движения наблюдателя вместе с земной поверхностью, поле будет ему казаться отличным от того, какое наблю-

дал бы покоящийся наблюдатель, и характер этого эффекта таков, что вертикальная составляющая поля получает неправильный знак, если мы выберем знак заряда так, чтобы получить правильный знак для горизонтальной составляющей.

Если мы примем во внимание движение атмосферного заряда, то получим еще более любопытный результат. Для покоящегося наблюдателя вертикальная составляющая будет теперь всюду равна нулю¹⁾, тогда как для наблюдателя, участвующего в движении земли, как вертикальная, так и горизонтальная составляющая будут равны нулю.

Однако существует и иной путь, с помощью которого мы можем получить магнитное поле вращением зарядов, не пользуясь внешним электрическим полем. Если мы вообразим сферу положительного электричества и приведем ее во вращение, то она породит магнитное поле: но для данного общего заряда сила эквивалентного магнита будет тем больше, чем больше диаметр сферы. Таким образом, если мы наложим одну на другую две сферы нескольких различных объемов, из которых одна состоит из положительного, а другая — из отрицательного электричества, но величина заряда у обеих одна и та же, то они будут действовать, как противоположно направленные магниты различной силы, при чем получится остаточный магнитный эффект. Однако, что касается электрического поля, то вне сферы не будет никакого остаточного эффекта. Но современная физика приходит ко взгляду, что материя состоит исключительно из положительного и отрицательного электричества и, повидимому, в то время, как кубический сантиметр, скажем, железа, как целое, нейтрален, содержащиеся в нем количества положительного и отрицательного электричества, тем не менее, столь велики, что если бы мы могли разделить их и концентрировать в двух точках на расстоянии одного сантиметра друг от друга, то они стали бы притягивать друг друга с силой, эквивалентной 10^{20} тонн. В виду наличия столь большого количества электричества каждого знака, мы можем, как оказывается, объяснить магнитное поле, сравнимое с полем земли, если согла-

¹⁾ На первый взгляд такое положение представляется несовместимым с тем фактом, что трубки магнитной индукции образуют замкнутые кривые, так как, очевидно, отсутствие вертикального компонента препятствует им ускользнуть через положительный слой или в землю. Но дело в том, что, ввиду тонкости положительного слоя, объем пространства между поверхностью земли и сферой, внутри которой практически сосредоточен весь положительный заряд, сравнительно мал. Весь магнитный поток через любое поперечное сечение этого пространства незначителен, так что практически необходим лишь бесконечно малый вертикальный компонент, чтобы дать свободный вход и выход линиям магнитной индукции в это пространство, потому что площадь, пригодная для такого входа и выхода, есть вся площадь земной поверхности. В природе такого поля по существу нет ничего мистического, это — просто поле, полученное путем наложения на поле, окружающее равномерно намагниченную сферу равномерного поля, параллельного оси намагничивания.

сится предположить, что положительное электричество в земле распределено по сфере, радиус которой меньше радиуса сферы отрицательного электричества только на 2×10^{-8} см, иными словами, мы должны только предположить, что диаметры двух сфер различаются между собою на величину, равную диаметру одной единственной молекулы.

Однако, несмотря на весьма сильное искушение присоединиться к этому взгляду, который был впервые выдвинут Сёзерлэндом (Sutherland), мы наталкиваемся на весьма серьезную трудность, когда начинаем искать объяснения, почему положительное и отрицательное электричества остаются разделенными, хотя бы и на столь ничтожную величину; в самом деле, вычисление показывает, что на поверхности перехода будет электрическое поле в тысячу миллионов вольт на сантиметр, протестующее против такого разделения зарядов.

Существует немало причин, которые могли бы действовать до некоторой степени в том направлении, чтобы вызвать такое разделение зарядов, которое в результате вращения земли создало бы магнитное поле. Так, обычно делается предположение, что в твердом теле значительная доля электронов не связана с атомами, но может свободно блуждать в промежутках между молекулами, напоминая движение молекул воздуха между листьями дерева. Вследствие центробежной силы вращения земли эти электроны будут стремиться к поверхности земли. Это стремление будет встречать себе сопротивление в виде притяжения положительного электричества, которое они будут оставлять позади себя. Все же некоторая тенденция в этом направлении будет существовать, а в результате вращения такой системы, в которой заряды будут смещены, мы получим магнитное поле. Однако математический расчет показывает, что получаемое таким путем поле достигает величины лишь 10^{-23} земного магнитного поля и, кроме того, по своему типу сильно отлично от него.

С другой стороны, в силу земного тяготения электроны будут стремиться двигаться по направлению к центру. Если оставить в стороне знак, то это приводит к типу смещения, предполагаемого в теории Сёзерлэнда; но при анализе магнитного поля мы находим, что оно по величине достигает лишь 10^{-21} земного поля и, кроме того, имеет неправильное направление.¹⁾

1) П. Н. Лебедев, в последние годы своей жизни интересовавшийся проблемой происхождения земного магнетизма, пытался подвергнуть теории Сёзерлэнда экспериментальной проверке на моделях. Подсчет показал, что, пользуясь массами и скоростями, с которыми еще удобно оперировать в лаборатории, следует ожидать появления магнитных сил, без труда доступных измерению, если исследуемые вещества возбуждают при вращении магнитные силы приблизительно в той же степени, как и вещество земли. Опыты дали, однако, отрицательные результаты, что привело П. Н. Лебедева к убеждению о несостоятельности гипотезы Сёзерлэнда. *Ред.*

Укажу еще на одну возможность. Мы знаем, что внутри земли господствует более высокая температура, чем на поверхности. При температурном градиенте в газе последний становится там, где температура высока, менее плотным, чем там, где она низка, так что плотность электронов будет иметь тенденцию стать меньшей в областях с более высокой, чем с более низкой, температурой, при чем этой тенденции противодействует электростатическое притяжение, появляющееся в результате разделения зарядов. При разработке этого случая мы найдем, что образующееся в результате магнитное поле достигает величины лишь 10^{-17} земного поля, хотя ему посчастливилось получить правильное направление.

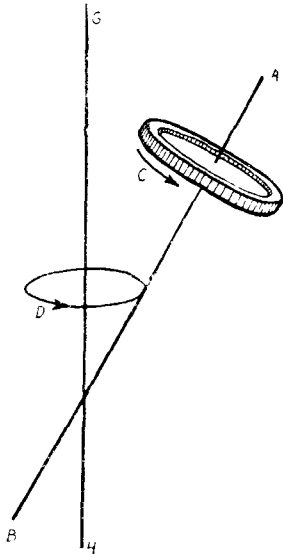


Рис. 5.

Имеется немало других возможностей, до некоторой степени аналогичных указанным; но, как показывают вычисления, все они дают поля порядка величины, бесконечно малой по сравнению с земным полем. Я думаю, мы можем вывести, как общее правило, что практически безнадежно искать объяснения земного магнетизма на основе вращения зарядов, разделенных вопреки электростатическому притяжению, так как механические силы, необходимые для того, чтобы вызвать требуемое разделение, должны быть во всех случаях непомерно велики.

Теории, основанные на свойствах гироскопа. Позвольте мне обратиться теперь к иной возможности. Мы знаем, что молекулы железа ведут себя подобно маленьким магнитам, и намагничение стального бруска заключается в явлении частичной ориентировки этих маленьких магнитов, располагающихся в более или менее одинаковом направлении. Круговое проводочное кольцо, несущее ток, действует подобно магниту с осью, перпендикулярной к плоскости кольца; при этом вообще предполагается, что атом приобретает магнитные свойства вследствие циркуляции внутри него электронов. Эта циркуляция электронов заставляет атом вести себя подобно гироскопу. Но хорошо известно, что если гироскоп приведен во вращение вокруг своей оси AB (см. рис. 5), напр., в направлении, указываемом стрелкой C , и если эта ось будет приведена во вращение вокруг другой оси GH в направлении, указываемом стрелкой D , то гироскоп будет стремиться повернуться параллельно GH . Поэтому, если земля в значительной доле состоит из железа, то ее молекулярные магниты будут иметь тенденцию поворачивать свои оси параллельно оси вращения. Что кусок железа может быть намагничен путем вращения, это было экспериментально доказано С. Дж. Барнеттом (S. J. Barnett); но если мы применим эти выводы к земле, то найдем, что таким

путем невозможно объяснить магнитное поле, превышающее по своей величине 2×10^{-10} поля земли.

Известно, что различные вещества могут быть намагничены в различной степени действием одной и той же намагничивающей силы. О легко намагничиваемых веществах говорят, что они обладают большой проницаемостью. Было высказано предположение, что вследствие высокого давления или какой-либо иной причины внутренность земли может обладать необыкновенно высокой проницаемостью и что, следовательно, очень слабая намагничивающая сила, например, создаваемая гироскопическим эффектом, может быть достаточна для того, чтобы сообщить ей заметную магнетизацию. Однако такой взгляд встречает весьма серьезное возражение, которое я могу иллюстрировать, обращая ваше внимание на хорошо известный эксперимент. Если подковообразный электромагнит возбудить действием электрического тока и заставить его поддерживать, скажем, стофунтовую гирию, привязанную к его якорю, то оказывается, что гирия продолжает висеть по прекращении тока, если только поверхности полюсов и якоря представляют собой правильные плоскости. Замкнутое железное кольцо, составленное из подковы и якоря, однажды намагниченное, остается таковым и по прекращении тока.

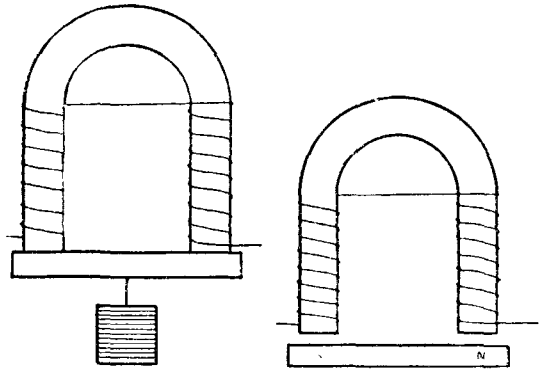


Рис. 6.

Если теперь якорь насильно оторвать от подковы, то в точках отделения появляются магнитные полюсы, как показано на рис. 6. Действие этих магнитных полюсов таково, что оно уничтожает намагничение в подкове и якоре, и в результате оказывается, что теперь подкова не может поддерживать не только якорь со 100-фунтовой гирей, но даже один только якорь («саморазмагничивающая сила»). Короткий кусок железа намагнитить гораздо труднее, чем длинный, ввиду близости полюсов к главной массе железа в первом случае. Действительно, эти полюсы создают внутри железа магнитное поле такого направления, которое стремится размагнитить его. В случае намагниченного шара действие полюсов состоит в том, что внутри железной массы образуется размагничивающее поле, равное полю, которое сама сфера образует на внешних точках своего экватора. Поэтому некоторая первичная намагничивающая сила, обуславливающая в конечном счете образование земного поля посредством ориентировки молекулярных магнитов, должна иметь настолько высокую интенсив-

ность, чтобы действовать на молекулярные магниты с силой, по меньшей мере равной той, с какой действует на них магнитное поле, равное по интенсивности земному магнитному полю на экваторе.

Теории, основанные на действии земных токов.— Земное поле может быть объяснено, если мы докажем существование соответствующей циркуляции токов внутри земли. Однако такая попытка объяснения тотчас же вызывает необходимость в объяснении электродвижущих сил, поддерживающих токи. В связи с этим небезынтересно напомнить расчет, сделанный много лет тому назад Г. Лэ м б о м (H. Lamb), значение которого я постараюсь объяснить.

Если мы возбудим ток в проволоке и затем предоставим его самому себе, то он упадет до нуля почти в тот же момент вследствие сопротивления, оказываемого проволокой. Положение аналогично тому, как если бы мы взяли пустой кольцеобразный якорь, наполнили его водой и внезапно сообщили бы ему вращательное движение. Если бы не существовало трения, то вода пришла бы в вихревое кругообразное движение навсегда, но вследствие трения она скоро остановится. Если бы вода была менее плотна и обладала бы поэтому меньшей инерцией, то она остановилась бы скорее. Аналогия между движением воды и движением электричества не слишком близка, но электрический ток обладает свойством инерции, и, как оказывается, инерция тока больше в большом кольце, нежели в малом. Когда же мы имеем дело с телом объема земли, то эта инерция приобретает столь важное значение, что, как показал Лэ м б, если бы система токов была возбуждена в теле объема земли, при чем его электропроводность была бы равна электропроводности меди, и если бы электродвижущие силы, вызвавшие это возбуждение, прекратили свое действие, то потребовалось бы около десяти миллионов лет для того, чтобы сила тока понизилась до одной трети своей первоначальной величины. Попытки объяснить таким путем земное поле вызвали критику, ввиду того, что в этом случае пришлось бы допустить существование исполинских токов, которые можно найти экстраполированием для прошлого времени вплоть до эпох, удаленных не более, чем эпоха отвердения земной коры; так что, если мы не найдем какого-либо основания предполагать, что проводимость земли в настоящее время или в прошлом больше, чем проводимость меди, то мы столкнемся лицом к лицу с необходимостью дать объяснение огромных запасов энергии, потребовавшихся первоначально для создания магнитного поля.

Действительная плотность тока внутри земли, необходимая для объяснения земного поля, очень мала, будучи равной, напр., лишь одной стомиллионной доле ампера на квадратный сантиметр поверхности у экватора, если плотность тока пропорциональна расстоянию от оси вращения. Я уже сообщал о громадном количестве запасов положительного и отрицательного электричества в одном кубическом

сантиметре земли. Если мы вообразим железный шар объема земли и примем, что в нем содержится 10^{23} свободных электронов на кубический сантиметр, — цифра, не лишенная оснований, — то необходимо лишь предположить, что электроны на земной поверхности отличаются по скорости от материи, в которой они расположены, на $\frac{1}{7 \times 10^{16}}$ скорости материи, чтобы объяснить ток в одну стомиллионную долю ампера. Быть может, не слишком преувеличена надежда на то, что более полное знакомство с механизмом проводимости электричества в твердых телах, может повести к объяснению этой малой разницы, как прямого результата вращения земли. При этом задача состояла бы не в том, чтобы объяснить электродвижущую силу, с помощью которой могло бы быть преодолено электрическое сопротивление вещества земли: скорее мы должны были бы показать, что непрерывно совершающееся во вращающемся теле движение электронов, которое должно существовать во избежание дальнейшей деградации энергии в теплоту, — что это движение таково, что при нем должна существовать определенная относительная скорость между свободными электронами и веществом вращающегося тела.

Небольшая относительная скорость между свободными электронами и веществом земли может быть объяснена довольно просто, если мы допустим, что скорость земли уменьшается вследствие действия приливов и отливов. Если бы замедляющие силы оказывали влияние на землю, а не на свободные электроны, то последние стремились бы сохранить свою угловую скорость не уменьшенной. Разумеется, они, действительно, отстали бы от оставленной ими материи на такое расстояние, что сила, которая стала бы на них действовать вследствие этого отставания и которую можно вычислить на основании удельного электрического сопротивления, была бы как раз достаточна для того, чтобы заставить их следовать за землей в ее замедленном движении. Однако, если произвести соответствующие вычисления, то оказывается, что для того, чтобы вызвать таким путем образование тока достаточной силы для объяснения земного поля, замедление в движении земли должно происходить в такой степени, что она потеряла бы всю свою скорость меньше чем за сутки.

Малое магнитное поле мы можем объяснить, если предположим, что отрицательные электроны, участвуя в перемещении вещества, в котором они содержатся, не вращаются по отношению к осям, неподвижным в пространстве. В этом случае мы на самом деле получим в результате магнитное поле, вполне эквивалентное полю, какое мы имели бы, если бы вся система находилась в покое, за исключением электронов, которые все вращались бы вокруг собственной оси в направлении, противоположном вращению земли, совершая один оборот в сутки. Образующееся в этом случае магнитное поле равняется всего

$1,6 \times 10^{-25}$ земного поля и имеет, кроме того, обратное направление. Любопытно, однако, следующее замечание, имеющее лишь чисто математический интерес и не претендующее на объяснение земного магнетизма: если бы мы разделили все положительное электричество, содержащееся в земле, на группы с радиусом в среднем приблизительно в 1 см и заставили бы затем каким-нибудь образом эти небольшие группы перемещаться вместе с землей, не участвуя в ее вращении, тогда как все отрицательное электричество участвовало бы как во вращении, так и в перемещении земли, то мы получили бы возможность объяснить магнитное поле порядка величины земного поля.

Возможности, связанные с небольшим изменением основных законов электродинамики. — Всегда существует возможность, что происхождение земного поля кроется в некотором принципиальном, но небольшом отступлении от обычных законов электродинамики. В этой связи я напому вам о несколько аналогичной модификации, которую предложил Г. А. Лоренц для объяснения тяготения. Как показал Лоренц, если мы вообразим, что притяжение между положительным и отрицательным электроном превосходит отталкивание между двумя положительными или двумя отрицательными электронами только на $\frac{1}{3 \times 10^{33}}$ долю, то избыточное притяжение будет достаточно для объяснения тяготения. Отметив крайнюю осторожность, необходимую в связи с этим при определении понятия нейтрального тела, укажем, что теория Лоренца приводит к такому заключению: для равновесия электронов в теле, последнее должно обладать плотностью заряда, не вполне определяемой весом электронов. Шустер разбирал этот вопрос; повидимому, однако, при самых благоприятных предположениях эта добавочная плотность недостаточна для того, чтобы при вращении возникло магнитное поле, сравнимое с полем земли.

Большой успех достигнут с помощью до некоторой степени аналогичного предположения относительно магнитного поля, образуемого движущимся зарядом. Я напому вам о том, что когда заряд движется в магнитном поле, то на него действует сила в направлении, перпендикулярном к плоскости, заключающей в себе направление его скорости и направление магнитного поля. Это и есть та сила, которая приводит в действие электрический мотор. Даже тогда, когда мы измеряем магнитное поле действием его на магнит, эта же сила лежит в основании его действия, так как магнит получает свои свойства от вращающихся внутри него электронов. По аналогии с тем, что наблюдается в электростатике, где мы имеем дело с действием положительного заряда на положительный, отрицательного — на отрицательный и положительного — на отрицательный, мы наблюдаем и в отношении движущихся электронов добавочную силу действия движения положительного электрона на движущийся положительный

электрон, движения отрицательного электрона на движущийся отрицательный электрон, движения отрицательного электрона на движущийся положительный электрон и движения положительного электрона на движущийся отрицательный электрон ¹⁾).

Если для сходных движений все эти четыре силы будут равны, то на движущийся электрон или магнит не будет оказывать никакого влияния вращение земли как целого. Но если силы, возникающие между движущимися неодинаковыми зарядами, достаточно отличны от таких же сил между одинаковыми зарядами в тех же состояниях движения, то отсюда непосредственно следует, что электрически нейтральная земля будет своим вращением действовать на магниты и движущиеся электроны с такими силами, которые мы приписываем магнитам в обычном их определении. Если принять, что силы между электронами с одинаковыми знаками равны для обоих знаков, но сила, с которой действует движение отрицательного электрона на движущийся положительный электрон,—больше, а сила действия движения положительного электрона на движущийся отрицательный электрон—меньше, чем силы между одинаковыми электронами приблизительно на величину $2 \cdot 10^{-16}$, то мы можем таким путем объяснить поле, эквивалентное магнитному полю земли ²⁾. Если скомбинировать эти изменения с соответствующими изменениями электростатических сил, то мы можем включить в полную схему также и тяготение.

Значение вековых колебаний. — Существуют некоторые доказательства в пользу того мнения, что земная магнитная ось вращается вокруг географической оси, совершая один оборот приблизительно в 500 лет. Но мы знаем, что если изменить каким-нибудь путем число линий магнитной индукции, проходящих через некоторую площадь проводника, то в проводнике возникнут индукционные токи. Это есть лишь результат присущей электромагнитным явлениям инерции, о которой я уже говорил. Поэтому перемещение земной магнитной оси внутри самой земли будет возбуждать индукционные токи, и наблюдаемое нами магнитное поле будет, с одной стороны, создано этими индукционными токами (вторичное поле), а с другой стороны,—первичными причинами (первичное поле). Если мы возьмем для иллюстрации железный шар объема земли, то оказывается, что поток магнитных линий индукции вторичного поля через шар достигает такой величины, что почти совершенно приводит к нулю компонент первичного потока, перпендикулярный к оси вращения. В результате остается лишь небольшой избыток не

¹⁾ Первые два действия могут служить для определения магнитных полей, образуемых, соответственно, движениями положительного и отрицательного электричества, так как в данном случае каждое из них должно быть определено независимо.

²⁾ Заметим мимоходом, что можно дать видоизменение этого закона в форме, согласующейся со специальной теорией относительности.

осевого компонента. Таким образом для того, чтобы результирующий поток имел заметное склонение к географической оси, необходимо, чтобы первичная ось находилась очень близко к плоскости экватора, и чтобы в то же время первичный поток был настолько велик, чтобы его осевой компонент, малый сравнительно с ним, представлял собою наблюдаемый нами осевой компонент. Это практическое совпадение первичной оси намагничения с экваториальной плоскостью было бы, конечно, весьма замечательно, если бы оно действительно существовало. Соображения, с помощью которых оно выведено, основаны на предположении электропроводности, сравнимой с электропроводностью железа; и хотя мы не утверждаем, что главная масса земли обладает электропроводностью такого порядка величины, тем не менее, интересно обратить внимание на любопытные результаты, которые вытекают бы из вековых колебаний, если бы эта электропроводность была такова.

Дневные колебания. — Величины магнитных элементов земли подвергаются чрезвычайно правильным колебаниям в течение дня и года; и мы находимся в гораздо лучшем положении при объяснении этих колебаний, чем при объяснении земного поля, как целого.

Когда проводник движется, пересекая линии сил магнитного поля, то в нем возбуждаются индуцированные токи; как известно, это явление лежит в основе работы динамо-машины. Но воздух находится в постоянном движении под влиянием приливов и отливов, совершенно так же, как море, и при своем движении он пересекает магнитные силовые линии земли. В атмосфере образуются вследствие этого электродвижущие силы; последние же вызывают образование токов в размерах, обусловленных проводимостью атмосферы. Токи создают магнитные поля, и эти магнитные поля, будучи, таким образом, связаны с атмосферными приливами и отливами, будут, как можно ожидать, испытывать дневные и сезонные колебания. Таково предположение, первоначально высказанное Бальфуром Стьюартом, а впоследствии детально разработанное Шустером.

Заметим, что величина ожидаемых эффектов зависит от проводимости, которую мы припишем атмосфере. Низший слой атмосферы представляет собою столь слабый проводник, что его участие в указанном явлении ничтожно мало. Однако существуют основания полагать, что проводимость верхнего слоя атмосферы значительно больше; и по некоторым основаниям, входившим в которые мне нет надобности, Шустер высказал предположение, что заметную проводимость можно считать свойственной слою атмосферы в 300 км толщиной, находящемуся на такой высоте, где среднее давление равно одной миллионной доле атмосферы. Однако проводимость, существование которой он считает необходимым для объяснения явлений, в 300.000 миллионов раз больше проводимости атмосферы у земной поверхности.

Чтобы представить себе, что это означает, можно указать на то, что при такой проводимости столб воздуха, простирающийся вокруг всей земли, в верхнем слое атмосферы должен иметь не большее сопротивление, чем столб такого же поперечного сечения, но длиною только в $\frac{1}{30}$ см, на поверхности земли. Иными словами, такое предположение в сущности означает, что землю можно считать окруженной проводящей оболочкой. Как ни неожиданно такое предположение, оно хорошо согласуется с тем, чего требует объяснение других явлений. Так, при обсуждении происхождения земного заряда мы имели случай рассмотреть возможность существования такого слоя. С другой стороны, долго был предметом спора вопрос, почему волны беспроводного телеграфа проходят такие большие расстояния над земной поверхностью. На основании элементарных соображений мы должны были бы предполагать, что их энергия будет рассеиваться в пространстве и что только очень немногим удастся пройти на большое расстояние вокруг земли. С другой стороны, проводящая оболочка дает нам возможность устранить это затруднение. В самом деле, такая оболочка будет отражать волны, аналогично тому, как это бывает с звуковыми волнами, передаваемыми по трубке или через рупор. Такие же соображения, разумеется, можно было бы применить, чтобы показать, что беспроводные волны, приходящие извне, не смогут войти внутрь проходящего слоя, так как они будут отражаться от его поверхности. Мы не должны, однако, придавать этому аргументу слишком общего значения, так как и свет представляет собою в действительности электромагнитное возмущение с очень короткой длиной волны, — род очень коротких беспроводных волн, — и было бы несчастием для теории, если бы она доказала, что свет не может пройти через описанный слой.

Представляется вероятным, что ультра-фиолетовый свет не играет важной роли, потому что с его помощью можно объяснить лишь проводимость, не составляющую и одной миллионной доли требуемой величины. Другие факторы, на которые часто ссылаются при объяснении электропроводности, представляют собою корпускулярные излучения солнца. Некоторое излучение такого рода представляется необходимым для объяснения зари.

Полярное сияние. — Полярное сияние принимает разнообразные формы и имеет различные цвета и оттенки, но явление это ограничивается главным образом высокими широтами. Характерной чертой полярного сияния является резкая граница его нижнего края. Высота этой границы была измерена различными наблюдателями и, как кажется, колеблется между 70 и 300 км с максимумом, приблизительно, при 115 км. Активность сияний в большинстве случаев ограничивается двумя зонами атмосферы, расположенными под углом, приблизительно, в 20° к земной оси. Одна из наиболее известных теорий полярных сияний объясняет их светом, происходящим вслед-

ствие ионизации нашей атмосферы отрицательными электронами, испускаемыми солнцем. Как показывают лабораторные опыты, пучки быстро движущихся заряженных частиц отклоняются магнитным полем: Биркеланд—в области эксперимента—и Штермер—в области математического анализа—положили не мало труда, с целью выяснить, в какой мере характерные черты полярного сияния могут быть объяснены с той точки зрения, что причиной его является поток отрицательно заряженных частиц, исходящих от солнца и устремляющихся в нашу атмосферу, подвергаясь отклоняющему действию земного магнитного поля. Две зоны активного осаждения электронов этим удовлетворительно объясняются, если не считать того, что они оказываются в более высоких широтах, чем это соответствует наблюдению. Причиной трудности является малая масса электрона, что приводит к слишком большому отклонению его пути действием земного магнитного поля. Но, как я заметил выше в этой статье, масса частицы возрастает вместе с ее скоростью и становится теоретически бесконечной, когда частица достигает скорости света. Для приведения теории в соответствие с фактами Биркеланд должен был предположить, что частицы, вызывающие образование полярных сияний, обладают скоростями, меньшими скорости света только на величину от 400 до 4 метров в секунду.

Чтобы преодолеть трудность, вытекающую из малой массы электрона, Фегард и другие предположили, что частицами, вызывающими образование полярных сияний, являются не электроны, но альфа-частицы, испускаемые солнцем. Альфа-частицы обладают надлежащей скоростью и массой, чтобы дать требующееся отклонение. Сверх того, характерными чертами альфа-частиц является прямолинейность их путей и очень резкая граница протяжения их действия. Обе эти черты ясно выражены в явлении полярных сияний: прямолинейность пути—прямолинейностью лучей сияния, а резкая граница пробега—резкостью нижней границы сияния. То обстоятельство, что α -частицы проходят лишь расстояние в несколько метров в воздухе при атмосферном давлении, не представляет затруднения, потому что давление в областях полярных сияний очень мало. Пробег альфа-частицы совершенно достаточен для объяснения глубины проникания; и поскольку в этом вопросе существует вообще некоторая трудность, она происходит от того, что, судя по внушающим доверие представлениям о составе верхних слоев атмосферы, пробег обыкновенных альфа-частиц является скорее слишком большим для объяснения фактов.

Испускаемые солнцем альфа-частицы были привлечены к объяснению не только полярных сияний, но и тех внезапных возмущений в земном магнитном поле, которые известны под именем магнитных бурь. Эти возмущения наиболее часты в периоды максимума солнечных пятен, так что их естественно отнести на счет некоторого вещества, испускаемого солнечными пятнами.

Для иллюстрации трудностей, с которыми сталкивается всякое объяснение этих бурь с помощью альфа-частиц, приведу некоторые из возражений, сделанных Линдеманом. Для объяснения фактов необходимо предполагать, что частицы испускаются в виде некоторого рода конуса. Но Линдеман указывает на то, что прежде всего размеры явления таковы, что делают необходимым невероятно большой запас радиоактивного материала в солнце; далее, вследствие взаимного отталкивания альфа-частицы не могут оставаться вместе в виде пучка при своем путешествии от солнца к земле. Пучок необходимой интенсивности должен обнаружить боковое рассеяние, соответствующее ускорению порядка 10^{13} см/сек² на своих краях. Наконец, даже если бы альфа-частицы могли достичь земной атмосферы в виде пучка, они заряжали бы ее в такой степени, что по истечении нескольких секунд уже ни одна не могла бы больше попасть в атмосферу вследствие отталкивания со стороны тех частиц, которые пришли туда раньше.

Сам Линдеман выдвигает тот взгляд, что частицы, приходящие в атмосферу от солнца и обуславливающие магнитные бури, а также северное сияние, на самом деле представляют собой газовые ионы, испускаемые солнечными протуберанцами. Эти протуберанцы, как мы вспомним, состоят из раскаленных масс газа, и некоторые из них достигают невероятной высоты в 300.000 миль; формы же их меняются с такой быстротой, что газы, составляющие их, должны двигаться с исполинскими скоростями. Скорости порядка 80 миллионов см в секунду не являются редкостью.

Мы знаем, что если на частицу падает свет, то ее поверхность испытывает давление; при этом чем меньше частица, тем сильнее действует на нее свет в смысле увеличения ее скорости. Вспомним обычное мнение, что причиной наблюдаемого направления кометных хвостов, которые чаще бывают изогнуты в сторону обратную солнцу, а не к нему, как этого можно было бы ожидать в силу тяготения, является давление света; вследствие малых размеров частиц это давление отталкивает их от солнца с большей силой, чем та, с которой они притягиваются к нему силой тяготения. На этом основании Линдеман предположил, что огромные скорости, достигаемые газами в солнечных протуберанцах, приобретаются благодаря давлению света; он показал, далее, что вследствие этого некоторые из составляющих эти газы частиц, как того можно ожидать, будут выброшены в пространство с такими скоростями, что свойства соответствующих атомов окажутся сходными со свойствами альфа-частиц. Он предполагает, что газ почти в полной мере ионизован вследствие высокой температуры в протуберанцах, так что по направлению к земле выбрасываются частицы обоих знаков, — обстоятельство, обеспечивающее отсутствие рассеяния вследствие взаимного отталкивания.

Мне нет необходимости входить в подробности теории этих явлений, предложенной Линдеманом. Укажу, однако, что с разных точек зрения мы приходим к заключению, что того или иного рода частицы с огромной скоростью выбрасываются в нашу атмосферу солнцем и являются, вероятно, основными причинами магнитных бурь, высокой проводимости верхних слоев атмосферы и явлений северного сияния; к несчастью, наши знания верхних слоев атмосферы практически основываются всецело на умозаключениях, и никаких прямых экспериментальных данных относительно электрических условий на рассматриваемых высотах у нас не имеется. Если бы мы могли исследовать их с помощью каких-либо аппаратов, мы имели бы больше удачи.

ТЯГОТЕНИЕ.

Невозможно рассмотреть в полной мере большую проблему тяготения в пределах короткой статьи. Поэтому я должен ограничиться лишь немногими замечаниями по этому вопросу. В поисках объяснения такого явления, как тяготение, быть может, было бы уместно спросить, насколько мы в праве ожидать от природы указания на причину этого явления. Мы говорим, или некоторые из нас говорят, что Ньютон открыл силу тяготения, и с тех пор мы все время делаем попытки открыть причину тяготения. Однако какого рода объяснение нас могло бы удовлетворить? Картина земли, вращающейся вокруг солнца и не улетающей от него прочь, весьма близко напоминает нашему воображению картину камня, вращающегося на конце упругого шнура, и потому мы попытались представить себе некоторого рода упругое натяжение, исходящее от солнца. Но предположим, что кому-нибудь удалось объяснить тяготение упругими свойствами промежуточной среды. Насколько же это нас успокоило бы? Скажем ли мы, что теперь все ясно, что на самом деле солнце окружено не великим «ничто»; а средой с упругими свойствами, и эта среда производит натяжение. Если мы сделаем это, то какой-нибудь грядущий философ может спросить: но почему упругая среда производит натяжение? На это мы ответим, что натяжение — результат сцепления. Упругая среда состоит из множества маленьких молекул, и, когда они отделяются друг от друга, они стремятся возвратиться назад. Но почему — скажет философ — они ведут себя таким образом? Мы ответим, что хотя молекулы, как кажется, отделены друг от друга, но на самом деле между ними находится среда, которая наделена упругими свойствами и производит натяжение. Но почему — скажет философ — упругая среда производит натяжение? И такое рассуждение может продолжаться до бесконечности. В действительности, мы не можем прийти к последнему объяснению вопроса. Самое лучшее, что мы можем сделать, это заключить, что явление тяготения, объяснить которое мы не в состоянии,

во многих отношениях ведет себя аналогично другому явлению, связанному с упругостью, которую мы также не в состоянии объяснить.

Но при изложении Ньютоновского закона тяготения в действительности нет вообще основания говорить о силе. Все открытие Ньютона заключается в том, что если, например, частица движется вдалеке от других тел, то она совершает движение прямолинейно с постоянной скоростью, но если две частицы приближаются друг к другу, то они движутся с ускорением, обратно пропорциональным квадрату расстояния между ними. Вообще, он нашел, что движение частицы *A* можно описать следующим образом: соединим частицу с какой-либо другой частицей *B* во вселенной. Изобразим для частицы *A* ускорение в виде линии, соединяющей ее с частицей *B*. обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними и прямо пропорциональной массам обеих частиц. Проведем затем линию к другой частице *C* и изобразим второе ускорение в виде линии, соединяющей *A* и *C* и пропорциональной обратным квадратам расстояния и массам, которыми обладают *A* и *C*. Сделаем это для всех частиц во вселенной. Сложим ускорение по обычному способу сложения векторов, и результат представит ускорение частицы *A*. При таком изложении закона как простого эмпирического факта нам вообще нет надобности пользоваться словом «сила». Закон и без этого полон достаточен для того, чтобы дать нам возможность вычислить все движение планет. Однако, то обстоятельство,

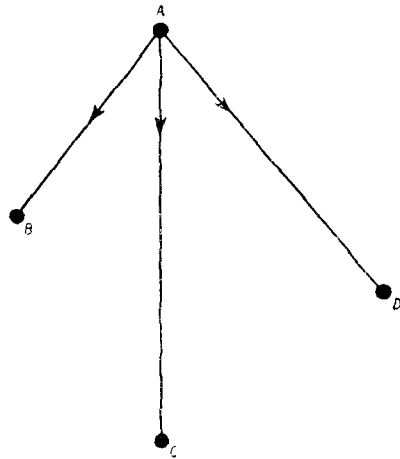


Рис. 7.

что результирующее ускорение составлено из некоторого количества неинтерферирующих частей, из которых каждая зависит от другой частицы и от линии, соединяющей *A* с этой частицей, навязывает нашему уму мысль об упругом натяжении. Ум предпочитает думать об упругости или о чем-нибудь подобном; в самом деле, для человеческого ума вообще чрезвычайно трудно думать, если у него нет определенного предмета для обдумывания. Если бы Ньютон нашел, например, что ускорение, производимое частицей *B*, не выражается линией, соединяющей его с *A*, если бы ускорение составляло с этой линией угол в 45° , то все же возможно было бы говорить о силе, создаваемой *B* и *A*; но ум наш в значительной степени избавился бы от навязчивого представления, вызываемого размышлением об упругости. Небольшое дальнейшее усложнение положения привело бы к тому, что аналогия с упругостью приносила бы нам еще меньше пользы. Мы

в верности такого объяснения и спросить меня, уверен ли я, что в этом доме действительно находится пожарная кишка. Разумеется, если вы будете очень настойчивы, то мне будет трудно доказать свою правоту. Однако, если вы будете мне очень надоедать, я рассержусь на вас и назову вас непрактичным философом; но, чувствуя необходимость что-нибудь сказать, чтобы убедить вас, я могу в конце концов повести следующую речь: — «Меня не интересует, имеется ли в доме пожарная кишка или нет. Но поскольку, сделав предположение о ее существовании и изображая движение путешественника в соответствии с ее действием, я могу предсказать результаты, которые оказываются верными, я стою на совершенно твердой почве. И я не подлежу ответственности ни перед кем за приемы моего мышления, пока мои выводы правильны». Сказав это, я почувствую, что я оправдал свою позицию и привел вас в окончательное смущение. Я сам почувствую себя маленьким философом, но втихомолку я буду продолжать забавляться картиной кишки и разнообразных деталей ее действия. Я буду думать всякого рода вещи относительно нее, но никогда не осмелюсь вам их сообщить, так как иначе вы меня высмеете. Я буду соображать, какова плотность жидкости, выпускаемой кишкой, какова может быть точка ее кипения и т. д. Предположим теперь, что в то время, когда я предаюсь таким размышлениям, вы сообщаете мне некоторые наблюдения, показывающие, что движение путешественника не вполне точно соответствует тому представлению, которое мы о нем составили. Разница может быть очень незначительна, но она может иметь такой характер, что совершенно опрокинет простоту действия, которую я считал обусловленной кишкой. Разумеется, я прежде всего опять обращаюсь к своей кишке, но должен буду несколько ее видоизменить. Я скажу: «Конечно, это кишка — не обычного типа. Возможно, что она дает толчок не вполне в том направлении, в котором идет жидкость». Но я должен буду стать лицом к лицу с таким положением, что хотя отступления могут быть невелики количественно, они могут быть в то же время столь существенны принципиально и привести к столь радикальным изменениям в моих представлениях о механизме процесса, что кишка, которую я должен буду предполагать, окажется совершенно отличной от всякой кишки, которую я когда-либо видел. Я должен буду пойти этим путем, модифицируя и приспособляя кишку, делая ее все более и более трудной для понимания; и, забыв, что первоначальным оправданием ее существования была ее мнимая способность объяснять наблюдаемое явление с помощью чего-то такого, что я считаю досконально мне известным, я вскоре буду вынужден затрачивать 99% своего остроумия на попытки понять кишку, оставив только 1% его на закон движения путешественника.

Предположим теперь, что в то время, как я занимаюсь этим делом и чувствую себя скорее смущенным своим успехом, вы приходите ко

мне и говорите: «Я сделал открытие. Я не знаю, почему человек двигается именно так, как он это делает, и думаю, что и вы этого не знаете, но я в точности установил, как он движется. Он движется от *A* к *E* путем, который представляет собою кратчайшее расстояние между двумя этими пунктами, но не подобно полету птицы, а через кратер, форму которого я могу вам описать». Предположим, что вы скажете это и прибавите затем: «Я намерен принять такую формулировку закона своим исходным пунктом. Если в этом явлении окажется замечанной какая-нибудь кишка, то именно кишка должна быть объяснена в соответствии с этим основным законом, но не основной закон — в соответствии с кишкой». Я думаю, что я должен буду признать, что ваша позиция по меньшей мере разумна.

Но эта позиция до некоторой степени аналогична той, которая заключается в эйнштейновской формулировке закона тяготения. Верно, что эта формулировка не вполне остается в пределах опыта. Ее построение снабжено многими украшениями, о которых мне нет надобности говорить. Но что касается самого закона, то язык его формулировки не очень отличается от того, какой мы дали для закона движения нашего путешественника. Он утверждает, что планета, переходя от одной точки к другой, движется по пути, который представляет собой наиболее длинное расстояние между этими точками, но, к несчастью для удобств нематематического ума, этот путь не лежит в мире трех измерений, но представляет собою путь в некотором, не-евклидовом четырехмерном, пространстве такого типа, в котором четвертым измерением является время, и свойства которого выражены так, что находятся в согласии с некоторыми философскими требованиями теории относительности.

Философы прошлых веков говорили, что планеты движутся по кругам, потому что круг есть совершенная симметрия, и мы склонны смеяться над их мнением; но мы видим, что эйнштейновская формулировка закона тяготения, избегающая упоминания о силах и формулирующая закон в соответствии исключительно со свойствами пути, описываемого планетами, заключает в себе элемент такой же позиции. В действительности закон древних философов был бы не так плох, если бы он несколько точнее определял величину кругов и если бы они вовсе отказались от слова «потому что».

Перевел С. А. Алексеев.

ОБЪЯСНЕНИЕ КОЛЛОИДАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ БЕЛКОВЫХ ТЕЛ¹⁾.

Жак Леб (†).

I.

Живое вещество в основе своей—коллоидальной природы. Мы не можем себе представить ни одного организма, состоящего только из кристаллоидов. Этот факт заставляет нас признать, что особенные свойства коллоидального состояния обуславливают жизненные явления или связаны с ними неразрывно. Поэтому систематическое изучение сущности истинных жизненных явлений должно быть основано на научной теории состояния коллоидальных веществ. Теория, состоящая из простых предположений, или предположений, основанных только на качественных опытах, не является, по нашему мнению, научной теорией. Под научной теорией мы понимаем вывод следствий из рациональных математических формул, которые позволяют определить коллоидальные свойства с адекватной точностью.

Белковые тела представляются нам амфотерными электролитами, которые могут образовывать соли как с кислотами, так и со щелочами. Со щелочами получаются *Na*-, *Ca*-протеинат, с кислотами— протеинхлорид, протеинсульфат и т. д. Выступает ли белок в качестве аниона, или катиона, это зависит от концентрации водородных ионов в растворе. Однако существует определенная концентрация водородных ионов, при которой белковое тело не соединяется заметным образом ни с кислотой, ни со щелочью. Эту концентрацию водородных ионов называют изоэлектрической точкой белка. Ее положение специфично для каждого белкового тела. Для желатины и казеина она лежит при $p_H = 4,7$ ²⁾, для кристаллизованного яичного альбумина при $p_H = 4,8$. Желатина может соединяться с кислотой только в том случае, когда p_H меньше 4,7, а со щелочью только при p_H , большем 4,7. То же самое можно видеть при действии различных солей. Если прибавить к раствору

¹⁾ Die Naturwissenschaften. Heft 12. стр. 213. 23 марта 1923 г.

²⁾ p_H —логарифм концентрации водородных ионов, взятый с обратным знаком. Таким образом, по предложению Зеренсена, характеризуется концентрация водородных ионов.

желатина $NiCl_2$, то Ni -желатинат образуется только тогда, когда pH больше 4,7, а при прибавлении $K_4Fe(CN)_6$ образуется соединение с ферроцианом только при pH , меньшем 4,7. Справедливость этого можно показать посредством известных методов, о которых я говорил в моей последней книге ¹⁾.

Доказательство способности белковых тел соединяться стехиометрически с кислотами и основаниями можно получить из кривых титрования. Для этого (как, может быть, и вообще для всех работ в области белков) белок в качестве исходного материала должно брать при pH = его изоэлектрической точке.

Мы уже видели, что белковые тела соединяются с кислотами только при pH , меньшем, чем pH изоэлектрической точки, которая для желатины и казеина лежит при pH = 4,7, а для кристаллизованного яичного альбумина при pH = 4,8. Слабые двух- и трех-основные кислоты диссоциируют при pH ниже 4,7, как одноосновные. При этих условиях H_3PO_4 образует H^+ и одновалентный анион $H_2PO_4^-$. Если кислота соединяется стехиометрически с изоэлектрическим белком, то надо полагать, что для того, чтобы привести к одной и той же высоте концентрацию водородных ионов, скажем pH = 3,0 — желатины, казеина или яичного белка нужно взять в три раза больше cm^3 0,1 *n* (нормального раствора) H_3PO_4 , чем 0,1 *n*

соляной или азотной кислоты. Опыт подтверждает этот вывод. Иначе обстоит дело с серной кислотой. Она отщепляет оба водородные иона и при pH < 4,7. Поэтому нужно взять одинаковое количество cm^3 0,1 *n* серной или соляной кислоты, чтобы привести 1% -ый раствор изоэлектрического белка на ту же pH = 3,0. Опыт подтверждает и это положение. Рис. 1 представляет кривые титрования для кристаллизованного яичного белка с четырьмя кислотами: HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4 и шавелевой кислотой. При титровании 1% изоэлектрического белка находился в 100 cm^3 воды, смешанной с различными количествами 0,1 *n* кислот. Количества cm^3 0,1 *n* кислоты, содержащейся в 100 cm^3 раствора, отложены на ординате кривых, на абсциссе отложены величины pH , которые

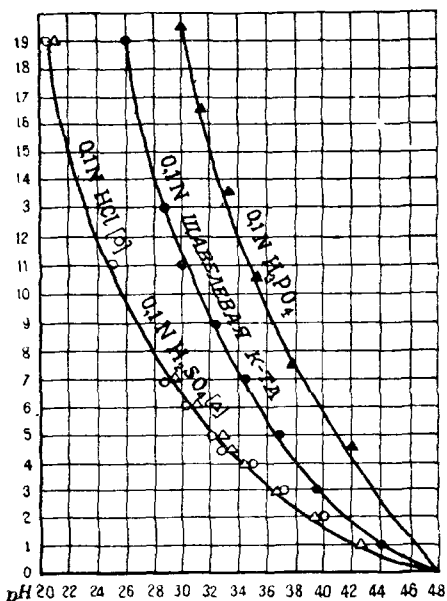


Рис. 1. Кривые титрования кристаллизованного яичного белка с соляной, серной, шавелевой и фосфорной кислотой.

¹⁾ Loe b, J. Proteins and the theory of colloidal behavior. New-York and London 1922.

принимают белковые растворы после прибавления кислоты. Для того, чтобы привести 1 г изоэлектрического белка в объеме 100 см³ на ту же самую степень p_H , каждый раз нужно взять точно в три раза более см³ 0,1 *n* раствора H_3PO_4 по сравнению с количеством соляной или серной кислоты. Для того, чтобы 1%-ый раствор первоначально изоэлектрического альбумина привести к $p_H=3,2$, нужно, чтобы 100 см³ раствора содержали 5 см³ 0,1 *n* раствора соляной кислоты и 15 см³ 0,1 *n* раствора фосфорной кислоты. Чтобы тот же самый белок привести к $p_H=3,4$, требуется 4 см³ 0,1 *n* раствора соляной или серной кислоты и 12 см³ 0,1 *n* раствора фосфорной кислоты и т. д.

По Гильдебранду (Hildebrand), щавелевая кислота при $p_H \leq 3,0$ одноосновна, но тем легче отщепляет второй водородный ион, чем больше растет p_H выше 3,0.

Кривые титрования показывают, что для того, чтобы привести наш раствор изоэлектрического белка на ту же самую $p_H < 3,0$, нужно взять почти вдвое больше 0,1 *n* раствора щавелевой кислоты, чем соляной, а для установления реакции на $p_H > 3,0$ необходимо брать не удвоенное по сравнению с соляной количество 0,1 *n* раствора щавелевой кислоты, а меньше.

Подобным же образом можно показать с помощью кривых титрования, что изоэлектрический белок соединяется со щелочами так же по стехиометрическим законам, как соединялась бы с теми же щелочами какая-нибудь слабая кислота, хотя бы уксусная. Если количество см³ 0,1 *n* раствора едкого натра, кали, известковой или баритовой воды в том же объеме 100 см³, необходимых для приведения 1%-го раствора изоэлектрического белка на одинаковую p_H , отложить на ординате, а соответствующие p_H белкового раствора — на абсциссе, то получается, что соответствующие величины для всех четырех щелочей лежат на одной кривой. Этого и следовало ожидать, если соединение происходит строго по стехиометрическим правилам.

Подобные же, говорящие за существование стехиометрических отношений, данные можно привести, по автору, для казеина и желатинины и, по Гичкоку (Hitchcock), для эдестина и сывороточного глобулина. Едва ли можно сомневаться, что подобные же отношения будут найдены и для всех белковых тел. Отсюда следует, что белковые тела реагируют с кислотами и основаниями точно так же, как аморфные кристаллоиды, наприм., аминокислоты. Если бы представители коллоидной химии применяли к своим растворам белков методы определения концентрации водородных ионов, то никому и в голову не пришла бы мысль, что реакции белков с кислотами и щелочами следуют вместо стехиометрических правил эмпирическим адсорбционным изотермам Фрейндлиха (Freundlich).

Чисто химический характер соединения белковых тел с соляной кислотой сказывается также при определении потенциала хлора в рас-

творях протеин-хлоридов. По взгляду Вернера (Werner), при прибавлении соляной кислоты к раствору NH_3 , H -ионы соляной кислоты будут связываться аммонийным ионом, а Cl -ионы останутся свободными. Такой же тип реакции оказывается и при прибавлении соляной кислоты к изоэлектрическому раствору желатинны. Это следует из измерения хлорпотенциала в растворах изоэлектрической желатинны. Однопроцентные растворы первоначально изоэлектрической желатинны содержали в 100 см^3 раствора различное количество $0,1n$ раствора HCl . p_H растворов определялось всякий раз с помощью водородных электродов, а p_{Cl} — с помощью серебряно-хлористых электродов. На p_{Cl} желатина не оказывала никакого действия, тогда как p_H естественно повышалось. Таким образом становится ясным, что часть водорода соединилась с NH_2 - и NH -группами белковой молекулы, хлор же, наоборот, остался свободным (таблица 1). Гичкок получил подобные, же результаты с кристаллизованным яичным альбумином, эдстином казеином и сывороточным глобулином. Можно считать, что эти данные имеют силу для большинства, если не для всех белковых тел.

ТАБЛИЦА 1.

| $\frac{n}{10}$ HCl на 100 см ³ раствора в см ³ | Раствор без желатинны. | | Раствор 1 г изоэлектрической желатинны в 100 см ³ | |
|--|------------------------|----------|---|----------|
| | p_H | p_{Cl} | p_H | p_{Cl} |
| 2 | 2.72 | 2.72 | 4.2 | 2.68 |
| 3 | 2.52 | 2.54 | 4.0 | 2.53 |
| 4 | 2.41 | 2.39 | — | — |
| 5 | 2.31 | 2.29 | 3.60 | 2.33 |
| 6 | 2.24 | 2.26 | 3.41 | 2.25 |
| 7 | 2.16 | 2.18 | 3.23 | 2.18 |
| 8 | 2.11 | 1.12 | 3.07 | 2.11 |
| 10 | 2.01 | 2.01 | 2.78 | 2.025 |
| 15 | 1.85 | 1.85 | 2.30 | 1.845 |
| 20 | 1.27 | 1.76 | 2.06 | 1.76 |
| 30 | 1.55 | 1.59 | 1.78 | 1.60 |
| 40 | 1.43 | 1.47 | 1.61 | 1.47 |

Из кривых титрования вытекает еще и другой факт: соли белковых тел в значительной степени способны гидролитически расщепляться. Если мы прибавим кислоту, хотя бы HCl , к изоэлектрическому белку, то одна часть кислоты связывается с белком, образуя протеинхлорид, другая же часть остается свободной. Таким образом получается равновесие между свободной кислотой, протеинхлоридом и неионизи-

рованным белком (изоэлектрическим). Чем больше прибавлять кислоты к первоначально изоэлектрическому белку, тем больше образуется протенинхлорида, пока, наконец, вся масса белка не превратится в протенинхлорид. Количество свободной кислоты можно установить измерением pH , и тогда можно получить простым вычислением, сколько ее связано с белком. Насыщением белкового раствора кислотой возможно найти вес соединения белка с кислотой. Turkok нашел таким образом, что вес соединения желатины лежит около 1090.

II.

Коллоидальное состояние белковых тел проявляется в особом действии электролитов — кислот, оснований или солей — на набухание белковых гелей, осмотическое давление и вязкость белковых растворов. Электролиты влияют на эти свойства настолько сходно, что все они

могут быть сведены, по всей вероятности, к одной причине. Если мы объясним одно из этих свойств, например осмотическое давление, то вместе с тем мы поймем и все остальные явления. В наших опытах осмотическое давление определялось в белковых растворах (желатина, кристаллизованный яичный альбумин, казеин и эдестин), которые содержали 1% сухого изоэлектрического белка в 100 см³ воды, к которой было прибавлено в разных случаях различное количество 0,1*n* раствора кислоты. Растворы помещались в мешок из коллодия, а этот последний подвешивался в свободной от белка жидкости, которая при начале опыта приводилась к pH , равной pH соответствующего белкового раствора. Естественно, что кислота для этой цели употреблялась та же самая, которая прибавлялась к рас-

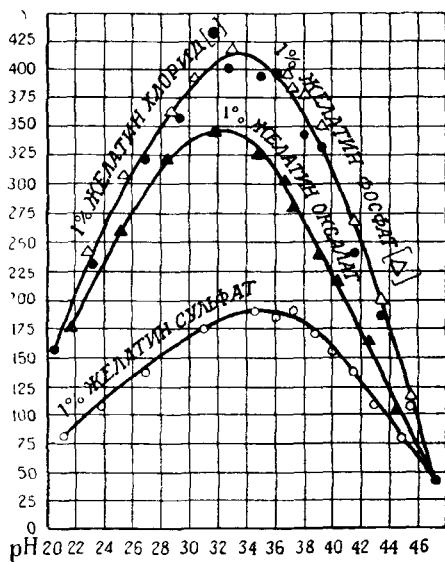


Рис. 2. Изменение осмотического давления белковых растворов под влиянием кислот. Осмотическое давление зависит от pH белкового раствора и валентности кислотного аниона

твору белка. Осмотическое давление определялось 18 часов спустя после установки. Оно зависело характерным образом от pH белкового раствора и валентности кислотного аниона. Кривые рис. 2 доказывают это для растворов желатины. Такие же кривые получаются для других белков, каковы: яичный белок, казеин, эдестин. Кривые показывают, что осмотическое давление белкового раствора имеет свой минимум в изоэлек-

трической точке белка. При прибавлении небольших количеств кислоты осмотическое давление постепенно повышается до максимума, а при дальнейшем прибавлении кислоты снова уменьшается. Далее кривые показывают, что только валентность, но не природа кислотного аниона, оказывает влияние на осмотическое давление белкового раствора. Как мы могли видеть выше из кривых титрования, анион, связанный с белком, у фосфорной кислоты одновалентен, $H_2PO_4^-$, а не PO_4^{---} ; в соответствии с этим и кривые рис. 2 показывают, что влияние на осмотическое давление кислот фосфорной и соляной одинаково, если оно относится к одному и тому же p_H белковых растворов. Затем мы видим, что нисходящая ветвь кривой действия щавелевой кислоты, которая при $p_H < 3$ является одноосновной кислотой, практически совпадает с нисходящей ветвью действия соляной кислоты. Кривая, представляющая действие серной кислоты, почти вдвое ниже кривой соляной кислоты. Из кривых же титрования протейнсульфата мы видели, что анион двухосновен. В результате опытов выяснилось, что все одноосновные кислоты: бромоводородная, азотная, уксусная и т. д. и все слабые двух- и трехосновные кислоты, как винная, малоново, лимонная, которые при $p_H < 4,7$ диссоциируют, как одноосновные кислоты, и дают такие же кривые, как соляная кислота и фосфорная. Из всего этого мы можем заключить, что только валентность, а не природа кислотного аниона, влияет на осмотическое давление белковых растворов, далее, что по кислую сторону изоэлектрической точки белка все кислоты, ведущие себя, как одноосновные, влияют на осмотическое давление точно так же, как соляная кислота, и что, наконец, это влияние значительно больше, чем влияние сильных двухосновных кислот, какова серная.

Если к изоэлектрическому раствору белка прибавлять щелочь, то можно показать, что малое количество щелочи увеличивает осмотическое давление, при дальнейшем прибавлении давление переходит максимум и снова претерпевает уменьшение. Все одноосновные щелочные катионы, как Li^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ влияют одинаково; для двухосновных ионов получается то же самое, только кривая действия щелочи при применении Ca^{++} или Ba^{++} лежит почти вдвое ниже, чем при действии одноосновных щелочей.

Наконец, что касается солей, то факты, найденные Лилли, устанавливают, что соли всегда понижают осмотическое давление белков.

Кривые действия кислот и солей на осмотическое давление белковых растворов очень схожи с кривыми влияния тех же кислот и солей на набухание и вязкость одинаковых растворов белков. Эти данные очень характерны для коллоидального состояния, и всякая теория коллоидального состояния должна быть в состоянии объяснить получаемые кривые не только качественно, но и также количественно.

Жигмонди допустил, что влияние кислот на осмотическое давление основывается на изменении дисперсности белка, находящегося

в растворе. Но так как степень дисперсности не может быть точно измерена, то это допущение представляет из себя только умозрение. Оно не дает никакого объяснения, почему вязкость и набухание изменяются подобно осмотическому давлению. Мы должны признать правильным следующее объяснение: если прилить кислоты или щелочи к изоэлектрическому раствору белка, то образуется ионизированная белковая соль из большей или меньшей части белка, смотря по прибавленному количеству кислоты. Эта ионизация обуславливает особенности коллоидального состояния вследствие неспособности белковых ионов диффундировать через перепонки, через которые легко проникают кристаллоиды. Перепонки эти могут быть из коллодиума или пергаменты, ими могут служить стенки кровеносных капилляров, а, вероятно, также и мембраны всех клеток. Далее, если диффузия одного сорта ионов задерживается перепонкой, как это имеет место для коллоидальных ионов, тогда как кристаллоидные ионы проходят без задержки, то в конце концов устанавливается неравномерное распределение способных к диффузии кристаллоидных ионов по обеим сторонам перепонки. Это впервые показал *Доннан* (*Donnan*). Неравномерное распределение способных к диффузии ионов есть основание для особенностей коллоидального состояния белковых тел.

III.

Если наполнить мешок из коллодия раствором желатинхлорида при $p_H = 3,0$ и опустить этот мешок в водный раствор соляной кислоты с таким же $p_H = 3,0$, то кислота переходит из белкового раствора во внешнюю свободную от белка жидкость. Основанием для такого неравномерного распределения противоположно заряженных ионов по обе стороны мембраны служит способность мембраны свободно пропускать *H*- и *Cl*-ионы и задерживать белковые ионы. *Доннан* показал на основании принципов термодинамики, что произведения концентрации противоположно заряженных ионов, способных к диффузии, *H* и *Cl* в нашем случае одинаковы по обеим сторонам мембраны, если наступило осмотическое равновесие. Если x обозначает молярную концентрацию *H*- и *Cl*-ионов во внешней жидкости, y — молярную концентрацию свободных *H*- и *Cl*-ионов в белковом растворе и z — концентрацию хлорионов, которые связаны с протеином, то равновесие будет определяться следующим уравнением, которое впервые предложили *Проктер* и *Вильсон* (*Procter* и *J. A. Wilson*) для объяснения влияния кислоты на набухание.

$$x^2 = y(y + z) \dots \dots \dots (1)$$

Если требуется объяснить влияние действия кислот, щелочей и солей на осмотическое давление белковых растворов, то прежде всего должно исследовать, происходят ли изменения осмотического давления вместе с соответствующими изменениями концентраций способных к диф-

фузии ионов во внутренней и внешней жидкости и могут ли быть вычислены эти различия концентраций из уравнения Доннана (1).

Автор мог установить, что такое соотношение существует на самом деле. Для доказательства его необходимо, однако, точно определить потенциалы перепонки, которые устанавливаются при осмотическом равновесии между белковым раствором и водной внешней жидкостью. До сих пор в коллоидной химии на это свойство совершенно не обращали никакого внимания.

Если уравнение Доннана написать следующим образом:

$$\frac{x}{y} = \frac{y + z}{x}$$

то $\frac{x}{y}$ есть мера молярного излишка водородных ионов по отношению к концентрации водородных ионов во внутренней жидкости и $\frac{y + z}{x}$ есть мера для молярного избытка хлорионов во внутренней жидкости по отношению к концентрации Cl^- ионов во внешней жидкости. Доннан показал, что между внутренним и наружным растворами должна быть разница потенциала, которая при 24° С. достигает $59 \times \lg \frac{x}{y}$ милливольт или $59 \times \log \frac{y + z}{x}$. $\log \frac{x}{y}$ равен p внутренней жидкости минус p_H внешней жидкости. p_H обеих жидкостей легко определить с помощью водородных электродов. $\log \frac{y + z}{x}$ равен P_{Cl} наружной жидкости минус P_{Cl} внутренней жидкости, и обе эти величины могут быть определены титрацией или с помощью $AgCl$ -электродов. С другой стороны, разницу потенциалов между белковым раствором и внешней жидкостью на коллоидумной мембране можно определить прямо с помощью двух идентичных индифферентных каломельных электродов (и насыщенного раствора хлористого калия), пользуясь электрометром К о м п т о н а (K o m p t o n). Если при помощи уравнения Доннана действительно определяется неравномерное распределение способных диффундировать кристаллоидных ионов (наприм. H^+ и Cl^- в случае желатинхлорида) на обеих сторонах мембраны, то разница потенциалов, которую прямо определяют с помощью идентичных каломельных электродов, должна быть равна разности потенциалов, которую получают в милливольтгах из отношения $59 (p_H \text{ внутри} - p_H \text{ снаружи})$ или $59 (p_{Cl} \text{ снаружи} - p_{Cl} \text{ внутри})$.

Величины p_{Cl} или p_H могут быть определены с помощью титрации и подходящего электрометрического приема. Автор поставил такие измерения и нашел, что при прибавлении различных количеств кислоты к изоэлектрическому раствору белков, наприм. кристаллизованного

яичного белка, желатины или казеина, найденный потенциал перепонки всегда согласуется с точностью до 1—2 милливольт с величиной вычисленного из уравнения Доннана, т.-е. в пределах ошибок. Из измерения мембранного потенциала следует, во-первых, что находящийся в осмотическом равновесии с внешней жидкостью белковый раствор в мешке из коллодиума, пропускающем ионы кристаллоидов, но не ионы белка, содержит кристаллоидные ионы в иной концентрации, чем внешняя жидкость, и, во-вторых, что эта разница концентраций может быть вычислена из уравнения Доннана.

IV.

Теперь мы в состоянии объяснить кривые изменения осмотического давления рис. 2. Коллоидные химики полагают, что эти кривые обусловлены влиянием кислот на степень дисперсности или на другое какое-нибудь действительное или воображаемое свойство белковых тел. Прежде чем согласиться с таким объяснением, мы должны вспомнить, что кривые, которые передают наблюдаемое осмотическое давление, не есть выражение исключительно осмотического давления протеиновых частичек или молекул и протеиновых ионов, но, кроме того, могут быть вызваны легко доказываемой неравномерностью концентраций кристаллоидных ионов по обеим сторонам мембраны, согласно уравнению Доннана. Другими словами: прежде чем строить гипотезы о причине влияния кислоты, мы должны сделать поправку в измеренном осмотическом давлении на основании уравнения Доннана. Для этой цели мы хотим определить величину этой поправки. Мы начнем с кривой, которая представляет влияние соляной кислоты на осмотическое давление однопроцентного раствора первоначально изоэлектрической желатины. Мы хотим рассмотреть, как распределяются ионы при осмотическом равновесии в белковом растворе и во внешней жидкости, принимая, что электролиты вполне диссоциированы, как желатинхлорид, так и соляная кислота. Пусть будет a — молярная концентрация белковых молекул и ионов, z — концентрация связанных с ионизированным протеином Cl -ионов, y — молярная концентрация водородных ионов свободной кислоты во внутренней жидкости и y же — концентрация Cl -ионов свободной соляной кислоты. Таким образом осмотическое давление белкового раствора определяется следующей формулой:

$$a + 2y + z.$$

Отсюда мы должны вычесть осмотическое давление соляной кислоты во внешней жидкости. Если x есть молярная концентрация H^+ во внешней жидкости, то такова же будет концентрация Cl^- . Отсюда следует такое выражение для осмотического давления белкового раствора:

$$a + 2y + z - 2x.$$

Фиг. 3 показывает, каким образом меняется эта величина как функция p_H белкового раствора (т.-е. y). Если мы теперь хотим подойти к теории влияния соляной кислоты на осмотическое давление белкового раствора, то мы прежде всего должны вычислить величину выражения $2y + z - 2x$ и вычесть ее из наблюдаемого осмотического давления белкового раствора; мы предлагаем назвать эту величину поправкой Доннана. y и x могут быть определены из измерения p_H , так как p_H внутренней жидкости есть $\log y$, а p_H внешней жидкости — $\log x$. z можно вычислить из уравнения Доннана (1)

$$z = \frac{(x+y)(x-zy)}{y},$$

так как мы знаем, что x и y определяются равновесием Доннана. Вычислим теперь величину $2y + z - 2x$ для различных p растворов желатинхлорида (концентрация первоначально изоэлектрической желатины должна быть всегда одна и та же, в нашем случае желатина берется 1%) и отсюда осмотическое давление, которое получается в результате избытка кристаллоидных ионов во внутренней жидкости по сравнению с внешней жидкостью. Мы всегда находим, что вычисленные давления почти совершенно совпадают с наблюдаемыми, т.-е. что увеличение осмотического давления однопроцентного раствора первоначально изоэлектрической желатины при последовательном прибавлении небольших количеств кислоты до максимума и последующее уменьшение осмотического давления при дальнейшем прибавлении кислоты основывается не на каком-либо изменении фактических или гипотетических коллоидальных свойств белка, но исключительно на том, что ионы белка не могут проходить через легко проницаемые для кристаллоидных ионов перепонки из коллодия. Вследствие этого концентрация кристаллоидных ионов должна быть всегда больше во внутренней жидкости, чем во внешней. В связи с изменением p_H раствора желатины изменяется и численное выражение разности $2y + z - 2x$. Это вытекает из уравнения Доннана (1), по которому:

$$x = \sqrt{y^2 + yz}$$

или

$$2x = \sqrt{4y^2 + 4yz},$$

но

$$2y + z = \sqrt{4y^2 + 4yz + z^2}$$

и таким образом ясно, что

$$\sqrt{4y^2 + 4yz + z^2} > \sqrt{4y^2 + 4yz},$$

т.-е. концентрация кристаллоидных ионов во внутренней жидкости — $2y + z$ — всегда больше концентрации соответствующих ионов во

внешней жидкости. Если мы заменим выражение $2y + z - 2x$ поправки Д о н н а на тождественным выражением

$$\sqrt{4y^2 + 4yz + z^2} - \sqrt{4y^2 + yz},$$

то будет очевидно, почему осмотическое давление имеет минимум в изоэлектрической точке белка, почему небольшое количество кислот повышает его до максимума, а дальнейшее прибавление снова ведет к уменьшению. На изоэлектрической точке протеин не ионизован, и так как $z = 0$, то все выражение

$$\sqrt{4y^2 + 4yz + z^2} - \sqrt{4y^2 + 4yz} = 0,$$

поэтому найденное осмотическое давление на изоэлектрической точке вызывается только белком, оно очень мало ввиду высокого молекулярного веса желатины.

При незначительном прибавлении кислоты, хотя бы соляной, образуется желатинхлорид, и остается немного свободной кислоты вследствие гидролитической диссоциации; поэтому увеличивается как z (концентрация связанных с белком Cl'), так и y (Cl' кислоты свободной вследствие гидролиза), но z сначала растет быстрее, чем y , и потому получается избыток концентрации ионов внутри в сравнении с концентрацией снаружи. Это длится до тех пор, пока большая часть белка не перейдет в протеинхлорид, и тогда избыток ионов во внутренней жидкости будет максимальным. При дальнейшем прибавлении кислоты z увеличивается сравнительно мало, в то время как y возрастает значительно, поэтому z в сравнении с y можно пренебречь. Это объясняет, почему, при дальнейшем прибавлении кислоты, поправка Д о н н а снова равна нулю и почему наблюдаемое осмотическое давление так же низко, как и в изоэлектрической точке белка.

Точно так же можно объяснить действие солей. Предположим, что в мешке из коллодия находится раствор желатинхлорида при $p = 3,0$, к которому мы прибавляем хлористого натра. Тогда z (концентрация Cl -ионов, связанных с желатиной) не увеличится от прибавления соли, а y (концентрация хлоридов, не связанных с желатиной) станет больше. Величина выражения

$$\sqrt{4y^2 + 4yz + z^2} - \sqrt{4y^2 + 4yz}$$

будет все уменьшаться с возрастанием концентрации соли и, наконец приблизится к предельной величине, равной нулю.

Если мы прибавили $NaNO^3$, а не хлорид к раствору желатинхлорида, то мы можем предположить, что в растворе желатины находится желатиннитрат, для которого имеют силу те же самые соображения.

Рис. 3 показывает одновременно кривые осмотического давления и кривые поправки Д он н а на. Обе кривые поднимаются параллельно от изоэлектрической точки белка до максимума, который для наблюдаемого давления лежит при 450 мм воды, а для кривой поправки Д он н а на немного ниже. Наблюдаемое осмотическое давление и должно быть выше, чем вычисленное из поправки Д он н а на, вследствие осмотического давления самих белков. Между $p_H = 4,6$ и $p_H = 3,2$ существует постоянная разница между обеими кривыми, которая исчезает при больших количествах кислоты. Исчезновение разницы при $p_H < 3,2$, по всей вероятности, сводится к тому, что, если p_H слишком мало, то неточность вычисления

второй десятой p_H обуславливает значительную ошибку при вычислении ε . Далее, рис. 3 показывает, что влияние p_H на осмотическое давление исключительно или практически исключительно обусловлено избытком кристаллоидных ионов во внутренней жидкости. Этот избыток устанавливается согласно уравнению Д он н а на. Осмотическое давление самого белкового раствора или вообще не меняется от прибавления кислоты, или во всяком случае не настолько, чтобы могло быть доступным наблюдению. Таким образом «теории дисперсности», а также и другим

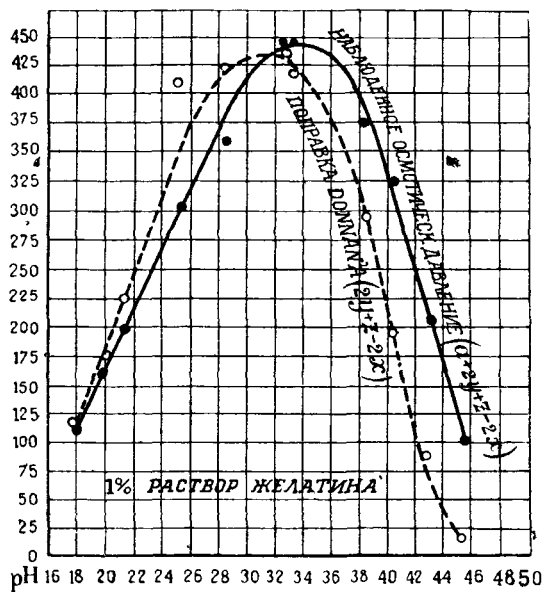


Рис. 3. Влияние соляной кислоты на осмотическое давление белкового раствора и поправка Д он н а на.

умозрениям о коллоидальном состоянии здесь совершенно нечего объяснять. Такие же результаты получены автором для кристаллизованного яичного белка и казеина, а Гичкоком для эдестина. Мы теперь понимаем, почему только валентность, а не другие свойства иона имеют значение для осмотического давления белковых растворов. Уравнение равновесия для белкового раствора с одновалентным ионом — второй степени, а с двухвалентным ионом — третьей степени. В поправку Д он н а на входит только валентность иона, но не другие его свойства.

Если теперь мы соединим в одно все эти данные, то сможем установить следующее положение: так называемое коллоидальное состояние белковых растворов, поскольку принимается в расчет осмотическое давление, есть только следствие равновесий, как их понимает классическая

химия. Эти равновесия обусловлены тем, что концентрация кристаллоидных ионов выше в белковом растворе, чем во внешней водной жидкости, благодаря присутствию перепонки, которая пропускает только кристаллоидные, но не белковые ионы. Поэтому коллоидальное состояние белковых тел зависит исключительно от относительной неспособности белковых ионов диффундировать через перепонку, через которую легко проходят кристаллоидные ионы. К таким перепонкам следует отнести большую часть растительных и животных перепонок, и легко себе представить, какую огромную роль должны играть белки при регулировании осмотического давления в организме.

V.

Теперь мы должны коротко показать, что набухание и вязкость белковых растворов под влиянием электролитов меняются подобно осмотическому давлению. Для того чтобы иметь возможность предсказывать результаты опытов, мы будем иметь дело с тем же самым основным свойством, а именно осмотическим давлением. В 1910 году Проктер пришел к гениальному открытию, что разбухание желатины может быть осмотическим процессом. В позднейших работах он совместно с Вильсоном подтвердил количественными опытами эту теорию, выведя рассматриваемые явления из поправки Доннана. Они показали, что разбухание твердого желатинового геля в соляной кислоте может быть количественно объяснено уравнением Доннана, если предположить, что концентрация кристаллоидных ионов (в нашем случае H^+ и Cl^-) снаружи меньше, чем внутри. Действие кислоты на разбухание объясняется повышением осмотического давления внутри геля, согласно требованию эффекта Доннана. Совпадение вычисленных теоретических величин с наблюдаемыми — поразительно.

Автор считает теорию разбухания Проктера и ее экспериментальное подтверждение Проктером и Вильсоном лучшим материалом для познания коллоидального состояния. По своему значению она идет как раз вслед за теорией мембранного равновесия Доннана. Указанные авторы не исследовали только одного, а именно, потенциала перепонки между гелем и жидкостью, находящейся с ним в равновесии. Автор настоящей статьи мог заполнить этот пробел и показал, что наблюдаемая разница потенциалов между гелем и внешней жидкостью с достаточной точностью может быть вычислена из величины p_D геля минус p_D внешней среды посредством логарифмической формулы Нернста.

VI.

Кажется странным, что влияние электролитов на вязкость определенных растворов белка объясняется точно таким же образом, но, повидимому, это верно. По формуле Эйнштейна вязкость водных

растворов белка находится в линейной зависимости от того относительного объема, который занимает растворенное вещество в растворе. Формула эта такова:

$$\tau = \tau_0 (1 + 2,5\varphi)$$

при чем τ — вязкость раствора, τ_0 — вязкость чистой воды и φ — отношение объемов растворенного тела и растворителя. Если прибавить небольшое количество кислоты к однопроцентному изоэлектрическому раствору желатины, то вязкость раствора повышается. С увеличением кислоты в растворе она достигает максимума и затем снова уменьшается при дальнейшем прибавлении. Отсюда следует, что изменение количества кислоты меняет тот объем, который занимает желатин в воде. Это возможно только в том случае, когда вода абсорбируется белком, и теперь весь вопрос заключается в том, как объяснить абсорбцию воды белком при действии кислоты. По взгляду Паули (Pauli), ионизированный белок окружается водной оболочкой, которая отсутствует у неионизированного белка. Если это предположение правильно, то такое действие кислот наблюдалось бы для всех растворов белков и аминокислот. Автор нашел, что этого не наблюдается для аминокислот и, по крайней мере, для одного белка, а именно кристаллизованного яичного альбумина. Если бы воззрение Паули соответствовало действительности, то последний должен был бы вести себя точно так же, как и желатина. Различие между яичным белком и желатиной заключается в том, что желатина способна образовать твердый гель при невысокой сравнительно температуре, а яичный белок нет. У желатиновых растворов предшествует образованию связного геля возникновение субмикроскопических агрегатов, которые заключают воду и способны набухать. Субмикроскопические частички, образующие предварительную ступень геля, с течением времени увеличиваются в числе и величине. Свое предположение автор доказал исследованием водных суспензий распыленной желатины. Суспензии имеют значительно большую вязкость, чем свежий раствор желатины. Такой результат и следовало ожидать, если правильно предположение, что действие кислоты на вязкость растворов протеинов обусловлено набуханием субмикроскопических частичек. Это хорошо согласуется с очень малой величиной вязкости растворов яичного белка. Последнее явление объясняется отсутствием или крайне малым содержанием мицеля в растворах кристаллизованного яичного белка. Наконец, мы можем найти увеличение вязкости суспензий распыленной желатины от кислоты или щелочи совершенно так же, как находили увеличение разбухания геля или осмотического давления белковых растворов. Вязкости определялись при 20°. Если расплавить суспензию распыленной желатины и затем быстро охладить ее до 20°, то вязкость значительно уменьшится и заметить влияние кислоты больше не удастся. Эти опыты и целый

ряд аналогичных опытов обнаруживают сходство действия электролитов на вязкость растворов желатины с действием электролитов на осмотическое давление белковых растворов. Такое сходство получается потому, что вязкость может быть сведена к изменению состояния набухания субмикроскопических частичек белка. Полное доказательство такому взгляду может быть получено из установления равновесия Доннана между частичками распыленной желатины и окружающим слабым желатиновым раствором.

УШ.

Было бы жаль упустить случай показать на примере, как пренебрежение определением концентрации водородных ионов ведет к ошибкам. В 1921 г. Кун¹⁾ напечатал статью, в которой пытался доказать, что различные кислоты одной и той же степени валентности различно влияют на разбухание желатины. Для доказательства этого необходимо исходить из изоэлектрического раствора желатины и сравнивать действие различных кислот на набухание желатины при одной и той же концентрации водородных ионов геля, так как только тогда гель имеет одинаковую концентрацию желатиновых ионов. Кун вообще не измерял p_H своей желатины. Однако вовсе не все равно, — прибавлять ли кислоту к изоэлектрической желатине или к желатине другой p_H . Кун не измерял и p_H геля водородными электродами, а взял концентрацию водородных ионов из таблиц Колярауса, как если бы дело шло о разведении кислоты в чистой воде и присутствие белка не сменяло бы p_H . Из наших кривых титрования мы знаем, что после прибавления кислоты к изоэлектрической желатине p_H больше, чем после прибавления равного количества кислоты к равному объему чистой воды. Согласно равновесию Доннана также получается, что p_H внутри геля иное по сравнению с наружной жидкостью, но в работе Кун нет ни одного слова о равновесии Доннана. Вследствие всех этих ошибок, концентрации водородных ионов белковых растворов, которые Кун считал равными, были очень различны, а отсюда совершенно понятно, почему он пришел к заключению, что различные одноосновные кислоты различным образом влияют на набухание желатины. Было бы чудом, если бы Кун со своими ошибочными методами хотя бы один раз мог сравнить действие двух различных кислот при одном и том же p_H . Это же самое возражение приходится выставить против подобных же старых опытов с действием электролитов на набухание. Такие опыты заставили приписать различным анионам той же самой степени валентности различное влияние на разбухание (ряды Гофмейстера). При всех этих опытах исследователи не измеряли p_H своего геля и ошибочно сводили действия, вызванные различиями в p_H , на различия кислотных анионов.

¹⁾ Kuhn, A., Kolloidchemische Beihefte, 1921 г., 14, 147.

VIII.

Таким образом мы приходим к заключению, что химия белковых тел не отличается от химии кристаллоидов. Протеины с кислотами и основаниями соединяются по стехиометрическим правилам и образуют электролитически диссоциированные протеиновые соли. Необыкновенно большие белковые ионы и молекулы не могут диффундировать через гель или другие перепонки, легко проницаемые для маленьких кристаллоидных ионов. Поэтому при известных обстоятельствах происходит неравномерное распределение способных к диффузии ионов между белковым раствором и водной наружной жидкостью или между белковым гелем и водным раствором. При этом общая концентрация кристаллоидных ионов в белковом растворе или внутри геля всегда больше, чем в водной наружной жидкости. Этот факт объясняет коллоидальное состояние белковых растворов и гелей. Измерения потенциала перепонки показали, что теория мембранного равновесия *Доннана* правильно передает присутствие некоторого избытка кристаллоидных ионов во внутренней жидкости. Все действия электролитов на набухание, вязкость и осмотическое давление с удовлетворительной точностью выводятся из уравнения *Доннана*, которое представляет из себя не эмпирическую, а теоретическую формулу. Вместе с тем мы устанавливаем, что коллоидальное состояние белковых тел можно объяснить количественно на основании теоретических математических выводов. Так называемая коллоидная химия, которая первоначально производила впечатление новой химии, держится, повидимому, только на пренебрежении условиями равновесия классической химии, по крайней мере, поскольку можно принимать в расчет протеины. Это пренебрежение имело два основания. Во-первых, упущение измерений p_H со стороны представителей коллоидной химии, что создавало полную неопределенность фактора, который представляет важнейшую переменную во всех этих вопросах. Во-вторых, невнимание к потенциалу перепонки белковых растворов и гелей. Отсюда вытекает, что для объяснения коллоидального состояния белковых тел должна быть привлечена теория мембранного равновесия.

Перевел В. Башмаков.

ТОНКИЕ СЛОИ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ.

А. Н. Фрумкин.

Если поместить на чистую поверхность воды каплю масла, то масло распространяется на воде, образуя тонкую пленку, до тех пор, пока площадь, покрытая маслом, не достигнет некоторого предела. Дальнейшего увеличения этой площади не происходит, иначе говоря, слой масла известной толщины находится в равновесии с чистой поверх-

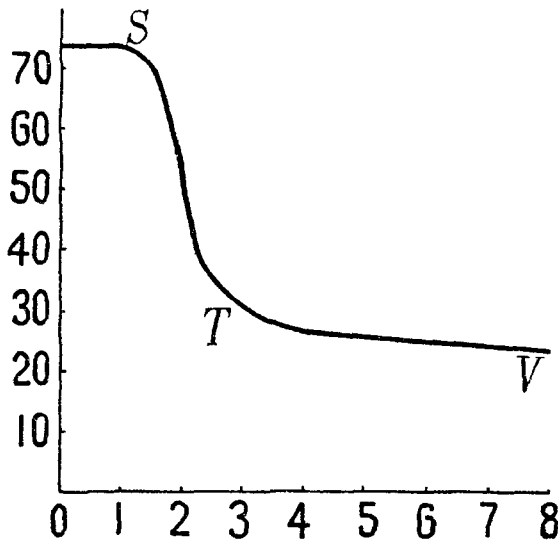


Рис. 1.

ностью воды. Первыми на наблюдениях в этой области мы обязаны Агнессе Покельс (A. Pockels) [1]. Покельс нашла, что поверхностное натяжение воды, на которой находится тонкий слой масла, не отличается заметно от натяжения чистой поверхности до тех пор, пока толщина слоя не превышает известного предела. При дальнейшем увеличении толщины масляного слоя, натяжение быстро падает. Опыты Покельс были повторены лордом Релеем (Rayleigh). И Покельс и Релей [2] поль-

зовались следующим простым прибором. Длинный узкий сосуд наполнялся до краев водой. Поперек сосуда клались две полоски; они служили барьерами, отделявшими часть поверхности воды, на которую наносилось известное количество масла. Передвигая полоски, можно было произвольно изменять толщину слоя масла. Измерение поверхностного натяжения Релей производил по способу Вильгельми (Wilhelmy): стеклянная пластинка, подвешенная вертикально на весах, касалась своим нижним остро отточенным краем исследуемой поверх-

ности. При этих условиях, очевидно, из кажущегося веса пластинки легко вычислить величину поверхностного натяжения. Результаты измерений такого рода в случае рицинового масла приведены на рис. 1, где абсциссы указывают толщину слоя масла в μ , а ординаты — соответствующие натяжения. Мы видим, что натяжение начинает заметно падать, только когда толщина слоя превышает $1,3 \times 10^{-7}$ см (точка резкое падение продолжается до точки T ; при дальнейшем увеличении толщины слоя происходит лишь незначительное уменьшение поверхностного натяжения (кривая TU), которое Релей объясняет влиянием примесей, содержащихся в масле. Релей указывает, что толщина слоя масла в точке S во всяком случае мало превышает вероятную величину диаметра молекул масла, так что классическая теория капиллярности к этим слоям совершенно неприменима. «Если предположить, — говорит Релей, — что молекулы масла ведут себя, как гладкие и твердые шары кинетической теории газов, то действующие между ними

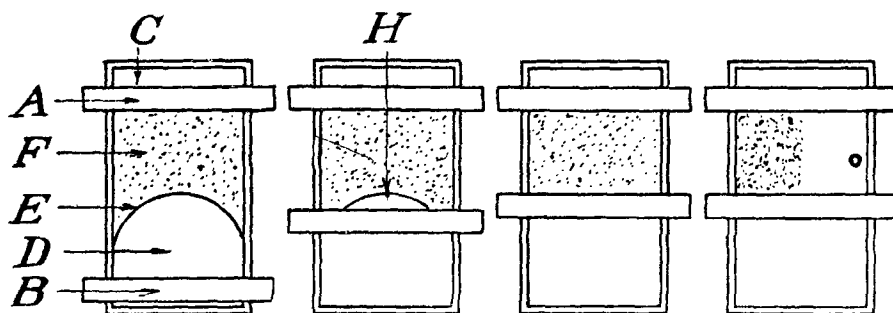


Рис. 2.

Рис. 3.

Рис. 4.

Рис. 5.

силы не должны проявляться до тех пор, пока молекулы не придут в соприкосновение». Согласно такому представлению, натяжение должно оставаться постоянным до той точки, в которой начинает образовываться второй слой молекул. После этого оно быстро изменяется, приобретая новое постоянное значение в тот момент, когда построение второго слоя молекул заканчивается. Таким образом, по Релейю, в точке S поверхность покрыта простым, а в точке T — двойным слоем молекул масла.

Необычайно элементарные методы исследования этих слоев были разработаны Дево (Devaux) [3]. Дево наполнял водой фотографическую кюветку. Проводя по поверхности воды полоской фильтровальной бумаги A (рис. 2), можно удалить с поверхности все загрязнения и загнать их в пространство C . В кюветке получается тогда совершенно чистая водная поверхность, которую Дево слегка посыпает тонким обезжиренным порошком талька. Если теперь коснуться поверхности проволокой, которая была в соприкосновении с маслом, то порошок талька разбегается от нее во все стороны, и, если масла было взято

не слишком много, на поверхности получается строго очерченный свободный от талька круг, покрытый мономолекулярным слоем масла. Слой этот, очевидно, находится в равновесии с чистой поверхностью воды. Можно поступить еще и иначе. Если на поверхность, покрытую тальком, дуть в точке *D*, то тальк собирается у самого барьера *A*. Если же предварительно загрязнить поверхность маслом и затем только насыпать тальк, то, дуть в точке *D*, мы убеждаемся, что тальк отступает только до некоторой границы *E*, которая отделяет чистую поверхность от поверхности, покрытой маслом (*F'*). Границу эту можно выпрямить с помощью второй бумажной полоски, передвигая последнюю до тех пор, пока чистая поверхность *H* не исчезнет. Если теперь двигать барьер *B* дальше, то масляная пленка сжимается, противопоставляя сжатию известное сопротивление. Двигая полоску *B* обратно, мы убеждаемся, что масляный слой следует за ней только до границы, соответствующей положению, изображенному на рис. 4, но не распространяется дальше.

Пользуясь разбавленным раствором масла в бензоле, каплю которого он помещал на поверхность воды, и который, испаряясь, оставлял совершенно определенное количество масла, Дево мог с достаточной точностью определить толщину слоев масла при их максимальном распространении и в случае триолеина пришел к числу $1,1 \times 10^{-7}$ см, в то время как вычисленный диаметр молекулы триолеина (предполагая сферическую форму последней) равен $1,13 \times 10^{-7}$ см. С помощью бензольных растворов Дево реализовал также слои из некоторых твердых веществ и нашел, что слои эти оказывают сопротивление при сдвиге, которое исчезает только тогда, когда количество вещества на единицу поверхности уже недостаточно для образования мономолекулярного слоя.

После Дево тем же вопросом занимался Марселен (Marcellin) [4]. Марселен помещал капельку олеиновой кислоты на поверхность воды, покрытую мономолекулярным слоем того же вещества и посыпанную тальком. По движению талька видно было, что мономолекулярный слой сокращался после этого в два раза; иначе говоря, толщина слоя, находившегося в равновесии с видимой каплей, относилась к минимальной толщине, как 2:1. Марселен заключил отсюда, что более толстый слой является бимолекулярным. Дево возражал против вывода Марселена, указывая, что рассматриваемое отношение не равно точно 2, а колеблется в пределах 1,3—1,8. Дево считает, что все эти слои нужно считать мономолекулярными, только в более «толстых» слоях молекулы расположены гуще, т.е. ближе друг к другу.

Наиболее замечательными исследованиями в этой области мы обязаны Лангмюру (Langmuir). Исходной точкой у Лангмюра были следующие две идеи, к которым он пришел, изучая явления

адсорбции разреженных газов, каталитические процессы и т. п.: 1) силы адсорбции по своей природе ничем не отличаются от тех обычных сил химического сродства, которые приводят к образованию определенных химических соединений; 2) радиус сферы действия этих сил крайне мал (порядка $0,6 \times 10^{-8}$ см); он во всяком случае не превышает размеров одной молекулы. Механизм образования тонкого слоя, скажем, олеиновой кислоты, Лангмюр представляет себе следующим образом. Молекулы олеиновой кислоты состоят из карбоксильной группы $COOH$ и длинной углеводородной цепи. Карбоксильная группа сильно притягивается молекулами воды, что следует, например, из гораздо большей растворимости в воде органических кислот, по сравнению с соответствующими углеводородами. Напротив, углеводородные цепи водно притягиваются слабо (уменьшение растворимости при увеличении длины цепи); зато друг друга эти длинные цепи должны притягивать очень сильно. Поэтому, когда мы наносим на поверхность воды ограниченное количество олеиновой кислоты, то силы химического сродства будут насыщены, если все $COOH$ -группы придут в соприкосновение с водой, углеводородные же цепи останутся возможно близкими друг к другу, — иначе говоря, олеиновая кислота должна образовать слой, в котором карбоксилы погружены в глубь воды, цепи же расположены вертикально и перпендикулярно к поверхности воды. Наружная часть такого слоя состоит из CH_3 -групп; так как несомненно, что сила притяжения между отдельными $COOH$ -группами больше, чем сила притяжения между такими группами и CH_3 -группами, то после образования мономолекулярного слоя дальнейшего распространения олеиновой кислоты по поверхности уже происходить не будет: содержащиеся в капле олеиновой кислоты $COOH$ -группы притягивают ее молекулы и препятствуют образованию бимолекулярного слоя. В подтверждение своих взглядов Лангмюр указывает на тот факт, что для образования тонких слоев необходимо присутствие в молекуле активных групп, обладающих значительным сродством к воде (термин «гидрофильные группы», которым Лангмюр не пользуется, был бы в этом случае наиболее подходящим). Так, чистые парафины, не содержащие активных групп, как показал Гарди (Hardy), не распространяются по поверхности воды ¹⁾. Чтобы объяснить изменения в толщине слоя олеиновой кислоты, открытые Марселеном, Лангмюр прибегает к следующему добавочному предположению. В молекуле олеиновой кислоты, кроме $COOH$ -группы, имеется еще и двойная связь. Из сравнения растворимостей соответствующих предельных и непредельных соединений (скажем, этана и этилена) следует, что и двойная связь обладает заметным сродством к молекулам воды. Лангмюр предпо-

¹⁾ Против этой части рассуждения Лангмюра совсем недавно возражал Гаркинс (Harkins) [12], однако, как мне кажется, без достаточных оснований (прим. при корректуре).

лагают поэтому, что при достаточной свободной поверхности воды двойная связь также приходит в соприкосновение с молекулами воды, так что часть молекулы оленновой кислоты плавает на поверхности; когда же свободного места более не хватает, двойные связи отрываются от воды, и контакт поддерживается только карбоксильными группами. Как мы увидим ниже, позднейшие опыты не подтвердили этой части теории Лангмюра.

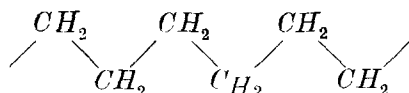
Для проверки основного положения теории Лангмюра об ориентации молекул органического вещества в поверхностном слое, очевидно, необходимы точные измерения толщины этих слоев. Действительно, определяя толщину эту и допуская мономолекулярность слоя, мы можем легко вычислить величину поперечного сечения одной молекулы и сравнить ее с длиной той же молекулы в направлении, перпендикулярном к поверхности воды. Этим путем и пошел Лангмюр. Первые измерения Лангмюра заключались в определении по методу Дево максимальной площади, которую может покрыть некоторое количество различных органических веществ. Результаты этих измерений сопоставлены в нижеследующей таблице. Деля площадь покрытия, соответствующую одной грамм-молекуле, на число Авогадро, Лангмюр получает площадь поперечного сечения одной молекулы (I). Корень квадратный из этой величины дает представление о линейных размерах этого сечения (II). Длина молекулы, очевидно, равна толщине слоя, которую легко вычислить, деля молекулярный объем вещества на площадь, покрываемую одной грамм-молекулой его (III). Деля, наконец, длину молекулы на число атомов углерода в цепи, мы получаем числа, приведенные в столбце IV.

| Вещество. | Формула. | I. Поперечное сечение в см. | II. Корень кв. из сечения в см. | III. Длина моле- кулы в см. | IV. Длина на один атом углерода в см. |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------------|---|
| Пальмитиновая кислота . | $C_{15}H_{31}COOH$ | $21 \cdot 10^{-16}$ | $4,6 \cdot 10^{-8}$ | $24 \cdot 10^{-8}$ | $1,5 \cdot 10^{-8}$ |
| Стеариновая кислота . . | $C_{17}H_{35}COOH$ | $22 \cdot 10^{-16}$ | $4,7 \cdot 10^{-8}$ | $25 \cdot 10^{-8}$ | $1,39 \cdot 10^{-8}$ |
| Церотиновая кислота . . | $C_{23}H_{51}COOH$ | $25 \cdot 10^{-16}$ | $5,0 \cdot 10^{-8}$ | $31 \cdot 10^{-8}$ | $1,20 \cdot 10^{-8}$ |
| Тристеарин | $(C_{18}H_{35}O_2)_3C_3H_5$ | $66 \cdot 10^{-16}$ | $8,1 \cdot 10^{-8}$ | $25 \cdot 10^{-8}$ | $1,32 \cdot 10^{-8}$ |
| Оленновая кислота . . . | $C_{17}H_{33}COOH$ | $46 \cdot 10^{-16}$ | $6,8 \cdot 10^{-8}$ | $11,2 \cdot 10^{-8}$ | $0,62 \cdot 10^{-8}$ |
| Триолеин | $(C_{18}H_{33}O_2)_3C_3H_5$ | $126 \cdot 10^{-16}$ | $11,2 \cdot 10^{-8}$ | $13,0 \cdot 10^{-8}$ | $0,69 \cdot 10^{-8}$ |
| Триэлаидин | $(C_{18}H_{33}O_2)_3C_3H_5$ | $120 \cdot 10^{-16}$ | $11,0 \cdot 10^{-8}$ | $13,6 \cdot 10^{-8}$ | $0,72 \cdot 10^{-8}$ |
| Пальмитиновокисл. цетил | $C_{15}H_{31}COOC_{10}H_{23}$ | $23 \cdot 10^{-16}$ | $4,8 \cdot 10^{-8}$ | $41 \cdot 10^{-8}$ | $2,56 \cdot 10^{-8}$ |
| Мирициловый алкоголь . | $C_{30}H_{61}OH$ | $27 \cdot 10^{-16}$ | $5,2 \cdot 10^{-8}$ | $41 \cdot 10^{-8}$ | $1,37 \cdot 10^{-8}$ |

Сопоставляя данные, относящиеся к трем насыщенным кислотам, тристеарину и пальмитиновокислому цетилу, мы видим, что каждая

группа $—C \begin{array}{l} \diagup O \\ \diagdown O \end{array}$ занимает на поверхности воды площадь, разную

23×10^{-16} см, независимо от длины углеводородной цепи и от того, принадлежит ли эта группа кислоте или эфиру. Из сравнения чисел столбцов II и III видно, что длина этих молекул значительно превышает их ширину. Длина молекулы тристеарина равна длине молекулы стеариновой кислоты; очевидно, что в тристеарине все три углеродные цепи расположены параллельно друг к другу и перпендикулярно к поверхности воды. Можно предположить, что в цепях кислот атомы расположены зигзагообразно или по винтовой линии:



На эту мысль наводит, например, то обстоятельство, что расстояния между двумя соседними атомами, вычисленные в предположении прямолинейного расположения (столбец IV'), оказываются меньше расстояния между двумя соседними атомами в алмазе, что крайне маловероятно. Величина поперечного сечения достаточно велика, чтобы допустить зигзагообразное построение цепи. Из чисел, относящихся к ненасыщенным соединениям, видно, что присутствие двойной связи увеличивает площадь поперечного сечения примерно в два раза; Марселен же показал, что толщина слоев олеиновой кислоты, находящихся в равновесии с каплями олеиновой кислоты, именно в таком отношении превышает минимальное значение толщины. Таким образом в последних слоях площадь поперечного сечения молекулы олеиновой кислоты равна площади сечения молекул насыщенных кислот, как того и требует теория Лангмюра, и считать эти более толстые слои бимолекулярными нет никаких оснований.

После этих предварительных определений Лангмюр перешел к изучению тех сил, которыми определяются условия образования тонких слоев, иначе говоря, к измерению величины поверхностного натяжения, соответствующего слоям различной толщины. Эта часть работы Лангмюра была в самое последнее время повторена Адамом (Adam) [6]. Адам пользовался тем же экспериментальным методом, что и Лангмюр, но результаты работы его, повидимому, благодаря более совершенной установке, несколько проще и определеннее результатов работы Лангмюра, так что мы непосредственно здесь их и изложим. Установка Адама изображена на рис. 6. Продолговатый латунный сосуд с плоскими парафинированными краями тщательно вычищался и наполнялся до краев водой. Все загрязнения, находящиеся на поверхности воды, загонялись с помощью барьера *CD* — парафинированной стеклянной пластинки — в левую часть сосуда. На поверхность между *CD* и плавающей на воде парафинированной медной полоской *AB* наносился из капиллярной пипетки бензольный раствор исследуемого вещества. Чтобы воспрепятствовать проникновению образующегося

при этом тонкого слоя между полоской *AB* и краями сосуда в отдельное полоской пространство, у концов последней были расположены две трубочки, с помощью которых на поверхность направлялись две струи воздуха. Положение этих трубочек и сила струи точно регулировались с помощью особого приспособления, опущенного на рисунке. Передвигая барьер *CD* направо, можно дойти до точки, после которой дальнейшее сокращение площади слоя начинает вызывать понижение поверхностного натяжения, и полоска *AB* отталкивается вправо. Накладывая на чашку весов, к коромыслу которых прикреплена полоска *AB*, разновески, можно вернуть полоску к ее первоначальному положению; зная вес этих разновесок и длину полоски *AB*, не трудно вычислить величину понижения поверхностного натяжения, соответствующую любому положению барьера *CD*, т.-е. любой толщине поверхностного слоя. Этот

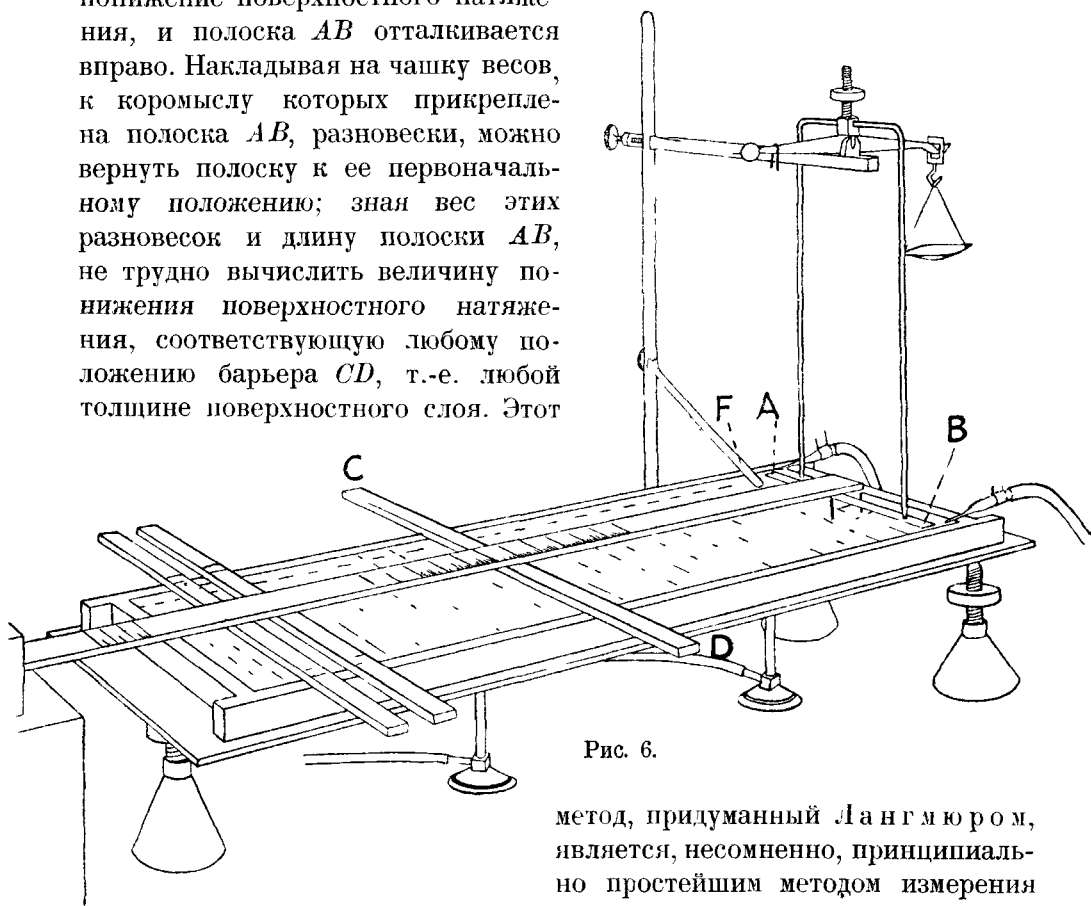


Рис. 6.

метод, придуманный Лангмюром, является, несомненно, принципиально простейшим методом измерения поверхностного натяжения и может

дать при тщательной работе, повидимому, весьма точные результаты. Данные, полученные Адамом, приведены им в виде ряда кривых, в которых абсциссы выражают величину площади, приходящейся на одну молекулу в поверхностном слое $\times 10^{-16} \text{ см}^2$, а ординаты — соответствующую величину понижения поверхностного натяжения в динах на см. Кривые, полученные Адамом, могут быть отнесены к двум типам, между которыми наблюдается ряд переходов. Пример кривой первого типа дает рис. 7 (стр. 180), на котором изображены результаты измерений над насыщенными жирными кислотами на дистиллированной воде, при чем

оказалось, что кислоты с 14, 15, 16, 17, 18, 21 и 22 атомами углерода дают, если только температура не слишком высока, совершенно совпадающие кривые (в случае кислот с 12 и 13 атомами растворимость была слишком велика, с церотиновой же кислотой не удавалось получить достаточно устойчивых пленок). Мы видим, что, поскольку площадь, покрываемая одной молекулой, превышает некоторое значение, равное $21 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$, весь слой не выказывает никакого сопротивления при сжатии, иначе говоря, понижение поверхностного натяжения равно нулю. При этом значении площади сопротивление сжатию резко возрастает, так что даже при самых сильных сжатиях в 50—60 абс. ед. площадь, покрываемая одной молекулой, уменьшается всего на несколько процентов. Принимая во внимание, что при толщине слоя, равной примерно $3 \cdot 10^{-7} \text{ см}$, такое понижение поверхностного натяжения соответствует боковому давлению, доходящему до 200 атмосфер, мы видим, что коэффициент сжимаемости этих пленок — величина одного порядка с коэффициентом сжимаемости жидких парафинов. Когда сжатие превосходит известный предел, пленка разрушается, и поверхность сокращается при постоянном давлении (точка *H*). Значения ординаты точки *H* колеблются в очень широких пределах; если бы не было явлений пресыщения, нужно было бы считать, что точка *H* соответствует слою, находящемуся в равновесии с веществом слоя, образующим отдельную фазу. Фактически же, повидимому, положение точки *H* определяется наличием ядер, около которых может произойти конденсация этого вещества. Часто наблюдается при этом следующее явление: после того как площадь пленки сократилась до известного предела, процесс останавливается, и дальнейшее сокращение происходит только при увеличении сжимающей силы, так что на кривой получается ряд уступов. Такое явление можно объяснить, предполагая, что при процессе сокращения конденсационные ядра могут оказаться выброшенными из сокращающегося слоя.

Кривая кислот претерпевает замечательное изменение при увеличении концентрации водородных ионов в растворе: коль скоро последняя превышает $10^{-5.5}$, вместо кривой рис. 7 мы получаем кривую рис. 8. Верхняя часть этой кривой осталась неизменной, но ниже точки *G* сжимаемость поверхностного слоя в этом случае гораздо больше, а максимальная площадь покрытия равна не 21, а $25 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ на молекулу.

Кроме кислот, Адамом был исследован ряд других соединений с длинной цепью, принадлежащих к эфирам, алкоголям, амидам, и нитрилам. Кривые, полученные с этими веществами при достаточно низких температурах, имеют такой же вид, как и кривая рис. 8, т. е. состоят из почти вертикального отрезка *GH* и более наклонной нижней части. Продолжение отрезка *GH* пересекает ось абсцисс всегда в той же самой точке, соответствующей площади

в 21.10^{-16} см² на молекулу. Так как положение этой точки не зависит от характера полярной группы, входящей в состав молекулы, то Адам предполагает, что эта часть кривой соответствует той структуре поверхностного слоя, при которой углеводородные цепи приходят в непосредственное соприкосновение; таким образом величина 21.10^{-16} см² есть не что иное, как площадь сечения самой углеводородной цепи.

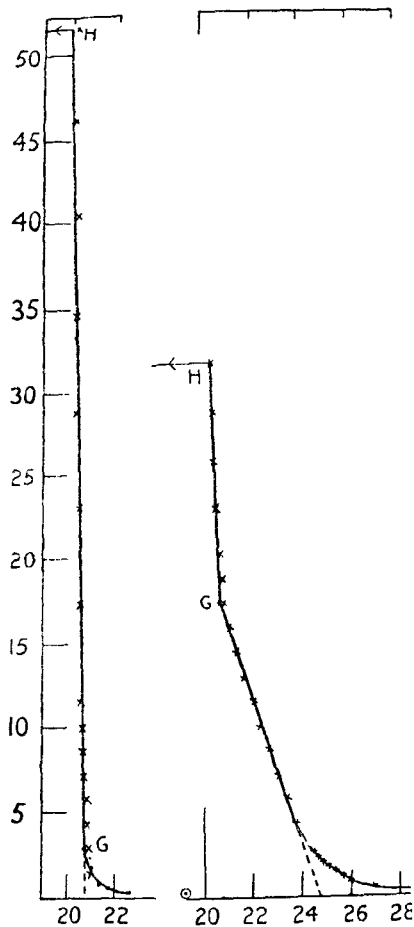


Рис. 7.

Рис. 8.

(цетиловый алкоголь) и $28,7 \times 10^{-16}$ для группы $—CH=CH—COOH$ (изоолеиновая кислота).

По своим механическим свойствам эти тонкие слои приближаются то к жидким, то к твердым телам. В последнем случае пылинки на поверхности теряют подвижность и являются как бы прикрепленными к совершенно определенным местам. Вообще говоря, слои «затвердевают» обычно после того, как углеводородные цепи приходят в тесное соприкосновение; однако это наблюдается не во всех случаях: так

Наклон же нижней части кривой и точка ее пересечения с осью абсцисс зависят от характера полярной группы; можно, следовательно, считать, что при сжатии слоя сначала наступает соприкосновение между полярными группами, сечение которых больше сечения цепи, при более сильных сжатиях молекулы смещаются друг относительно друга, полярные группы смежных молекул попадают в разные горизонтальные плоскости, и цепи приходят в непосредственное соприкосновение. Очевидно, что более сильное притяжение воды к полярной группе должно благоприятствовать второй группировке, что находится в полном согласии со свойствами кислотных пленок; первая группировка появляется только тогда, когда притяжение воды к группе $COOH$ уменьшено вследствие присутствия водородных ионов. Из наклона нижней части кривых можно, очевидно, вычислить площадь поперечного сечения полярных групп. Адам получает таким образом, числа, которые колеблются между $21,7 \times 10^{-16}$ для группы CH_2OH

пленки цетилового алкоголя остаются всегда жидкими. С другой стороны, производные мочевины дают «твердые» слои даже при отсутствии контакта между смежными углеводородными цепями. Вообще говоря, вопрос об условиях «затвердения» нельзя еще считать выясненным. Значительный интерес представляет вопрос о форме кривой при самых малых значениях понижения поверхностного натяжения. Действительно, следует ожидать, что отдельные молекулы поверхностной пленки, преодолевая притяжение соседних молекул, могут вырваться на свободную поверхность воды, подобно тому как молекулы пара вырываются из трехмерной жидкости: упругости пара трехмерной жидкости

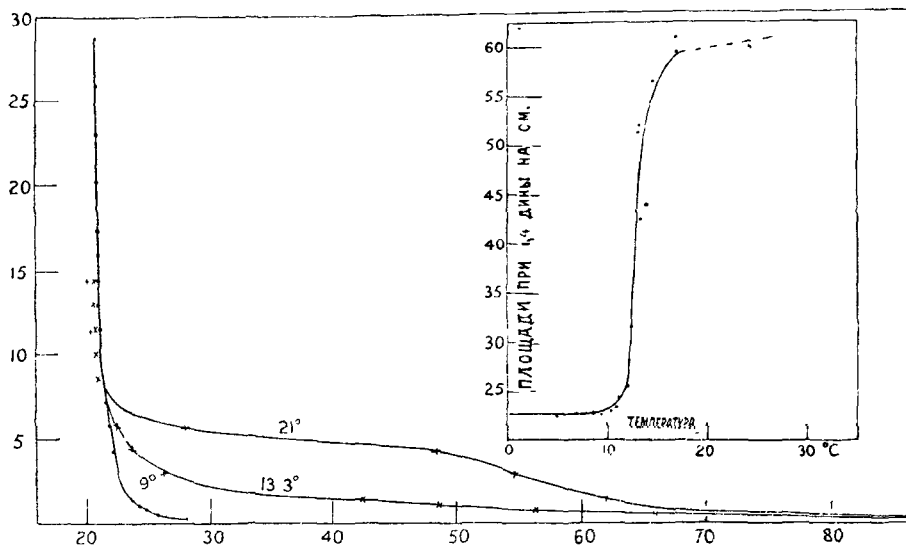


Рис. 9.

должно соответствовать у этих двухмерных жидкостей определенное значение понижения поверхностного натяжения, при котором произойдет переход конденсированного слоя в более редкий, «газообразный». Иначе говоря, кривые рис. 7 и 8 должны, не доходя до оси абсцисс, перейти в горизонтальную прямую. В действительности, такого резкого перехода не наблюдается; при приближении к оси абсцисс кривая понижения поверхностного натяжения закругляется и постепенно идет к нулю. Это отклонение от теории обусловлено, вероятно, влиянием неизбежных загрязнений поверхности, которое должно особенно сильно сказаться в этой части кривой. Аналогия с явлениями испарения выступает, однако, ярко, когда мы переходим к тем кривым, которые наблюдаются при более высоких температурах. На рис. 9 изображен, по Адаму, ряд таких изотерм для пальмитиновокислого этила. Мы видим, что при более высоких температурах кривые, не доходя до оси абсцисс, изгибаются, проходят на

некотором расстоянии почти параллельно этой оси и затем только приближаются к нулевому значению. При еще более высоких температурах горизонтальная часть кривой исчезает, так что площадь покрытия при уменьшении сжатия равномерно возрастает, начиная от некоторого минимального значения. Совокупность этих изотерм удивительно напоминает изотермы сжатия газов в критической области, только здесь все явление протекает в пространстве двух измерений, так что вместо давления мы имеем понижение поверхностного натяжения, а вместо молекулярного объема — молекулярную площадь покрытия. Аналогию эту можно выявить еще и иначе. Если измерять площади покрытия при постоянном сжатии и переменной температуре, то при довольно точно определенной температуре наблюдается резкое увеличение этой площади (рис. 9). Лабруст (Labrouste) [7], который первый наблюдал это явление, назвал его плавлением слоя; согласно вышесказанному ясно, однако, что здесь мы имеем дело не с плавлением, а с «испарением» слоя при определенном давлении. Любопытно сравнить «температуры испарения» у различных веществ. Оказывается, как и следовало ожидать, что температура эта растет при увеличении длины цепи: для лауриновой кислоты (C_{12}) она лежит ниже 0° , для пальмитиновой (C_{16}) — при $28,5^\circ$, для стеариновой (C_{18}) — при 46° (при сжатии, равном 1,4 абс. ед.). Введение двойной связи сильно понижает эту температуру, так что в случае олеиновой кислоты, несмотря на большую длину цепи (C_{18}), она все же лежит ниже нуля, чем объясняется большая площадь покрытия, которая наблюдается с олеиновой кислотой при обыкновенной температуре.

Согласно вышесказанному, свойства мономолекулярных слоев выше «точки испарения» аналогичны свойствам газов вблизи их критической температуры: иначе говоря, отклонения от законов идеального газового состояния, вызванные наличием межмолекулярных сил в этом случае очень велики. Существуют, однако, тонкие слои, в которых влияние межмолекулярных сил оказывается гораздо меньшим. Это те слои, которые образуют на поверхности воды вещества с сравнительно небольшим молекулярным весом, как, например, масляная кислота или амиловый алкоголь. Так как вещества эти растворимы в воде, то изучать свойства поверхностного слоя описанными методами в этом случае нельзя; необходимо прибегнуть к измерению по поверхностного натяжения соответствующих растворов.

Как показал Гиббс, всякое вещество, при растворении которого поверхностное натяжение растворителя понижается, концентрируется в поверхностном слое; между величиной понижения поверхностного натяжения γ и количеством растворенного вещества Γ , которое скопляется на единице поверхности, существует следующая простая зависимость

$$\Gamma = - \frac{1}{RT} \frac{d\gamma}{d \ln c} \quad (1)$$

где c есть концентрация растворенного вещества. Таким образом, зная зависимость между γ и c , мы можем найти величину Γ , которая соответствует любому значению c , т.-е. вычислить толщину адсорбированного слоя. Первые вычисления такого рода были проделаны Мильнером [8]; полным разбором вопроса мы обязаны Лангмюру. Посмотрим, к каким результатам приводят нас эти вычисления. Обратимся сначала к самым слабым растворам. В этом случае опыт показывает, что понижение поверхностного натяжения $\Delta\gamma$ пропорционально концентрации растворенного вещества

$$\Delta\gamma = \alpha c, \dots \dots \dots (2)$$

где α есть некоторая постоянная. Пользуясь формулой Гиббса, мы получаем отсюда:

$$\Gamma = \frac{\alpha}{RT} c = \beta c \dots \dots \dots (3)$$

и

$$\Delta\gamma = RT\Gamma \dots \dots \dots (4)$$

Если ввести вместо величины Γ величину $s = \frac{1}{\Gamma}$, т.-е. площадь, покрываемую одной грамм-молекулой вещества в поверхностном слое, то ур. (4) переходит в

$$\Delta\gamma s = R\Gamma \dots \dots \dots (5)$$

Ур. (5) совершенно аналогично закону Бойля-Мариотта и закону осмотического давления для разбавленных растворов; иначе говоря, молекулы органического вещества, находящиеся в пов. слое, ведут себя в области применимости ур. (2), как молекулы идеальных газов.

Лангмюр показал, что величина β имеет простой физический смысл; а именно, если мы обозначим через W работу, которую необходимо затратить, чтобы перенести грамм-молекулу адсорбированного вещества из поверхностного слоя в середину раствора, а через δ толщину поверхностного слоя, то

$$\beta = \delta e^{\frac{W}{RT}} \dots \dots \dots (6)$$

При переходе от предыдущего члена гомологического ряда к последующему, величина W должна возрастать на постоянное число, равное работе, которая приходится на одну группу $-CH_2-$. Согласно уравнению (6), величина β будет при этом увеличиваться в постоянном отношении, иначе говоря, поверхностная активность в гомологических рядах должна расти в геометрической прогрессии. И действительно, уже Траубе [9] (Traube) нашел, что поверхностные активности в ряду кислот, спиртов и сложных эфиров растут, как члены прогрессии: 1, 3, 3², 3³ и т. д.

При переходе к более крепким растворам, величина $\Delta\gamma$ перестает быть пропорциональной концентрации, и для того, чтобы выразить зависимость между $\Delta\gamma$ и c при любой концентрации, необходимо прибегнуть к более сложным формулам. Как показал Ш и ш к о в с к и й [10], в случае веществ с не слишком большим молекулярным весом, опытные данные хорошо согласуются со следующей эмпирической формулой

$$\Delta\gamma = b \lg\left(\frac{c}{a} + 1\right) \dots \dots \dots (7)$$

Отсюда, с помощью формулы Гиббса, мы получаем

$$\Gamma = \frac{bc}{RT(c+a)} \dots \dots \dots (8)$$

Из (8) следует, что, при увеличении c , Γ стремится к пределу $\frac{b}{RT}$. Обозначив величину эту через Γ_∞ , мы получаем следующую адсорбционную формулу

$$\Gamma = \frac{\Gamma_\infty c}{c+a} \dots \dots \dots (9)$$

Лангмюр вывел эту адсорбционную формулу из обычных представлений о кинетическом равновесии, предполагая, что адсорбция протекает в мономолекулярном слое и что силами взаимодействия между адсорбированными молекулами можно пренебречь. Мы здесь не можем останавливаться ни на этом выводе Лангмюра, ни на экспериментальной проверке, которой он подверг уравнение (9) [11]; заметим только еще следующее. Если с помощью уравнение (9) выразить c в виде функции от Γ и подставить в (7), то получается такое соотношение:

$$\Delta\gamma = -RT\Gamma_\infty \lg\left(1 - \frac{\Gamma}{\Gamma_\infty}\right) = -\frac{RT}{s_\infty} \lg(1-x), \dots \dots (10)$$

где x есть концентрация вещества в поверхностном слое, а $s_\infty = \frac{1}{\Gamma_\infty}$, т.-е. предельной величине молекулярной поверхности покрытия. Это уравнение совершенно аналогично тому, которое выражает зависимость между осмотическим давлением и концентрацией в случае «идеальных» концентрированных растворов, т.-е. таких концентрированных растворов, в которых можно пренебречь силами взаимодействия между растворенными молекулами.

Из найденной на опыте величины b легко вычислить значение величины s_∞ и пайти таким образом площадь, которая приходится на одну молекулу адсорбированного вещества в насыщенном слое. Для пропионовой, масляной, валерьяновой и капроновой кислот мы получаем таким образом число $31 \cdot 10^{16}$ см², весьма близкое к тому числу,

которое мы получили для высших кислот из непосредственного наблюдения. Толщина насыщенного слоя масляной кислоты оказывается равной $4,7 \cdot 10^{-8}$ см. Иначе говоря, мы имеем здесь дело с мономолекулярными слоями, в которых молекулы расположены приблизительно так же, как и в пленках, о которых мы говорили в начале этой статьи; только в этом случае влияние междумолекулярных сил оказывается незаметным.

В случае растворимых соединений, на основании наблюдаемых кривых $\Delta\gamma$ - c мы могли вычислить форму кривых $\Delta\gamma$ - c , не поддающихся

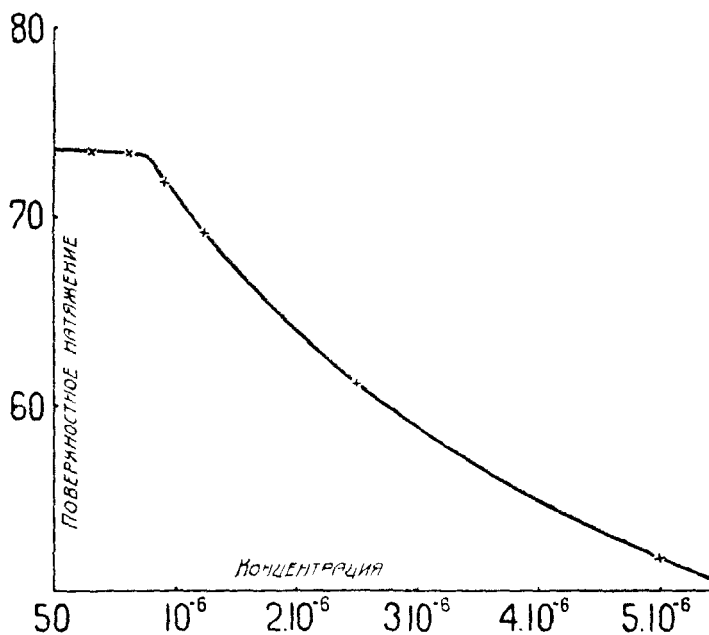


Рис. 10.

непосредственному наблюдению. В случае высокомолекулярных соединений мы можем пойти обратным путем и предсказать форму $\Delta\gamma$ - c кривых, исходя из результатов измерения Лангмюра и Адама.

С помощью формулы Гиббса легко показать, что поверхностное натяжение воды в этом случае должно оставаться почти неизменным до некоторой концентрации, после которой начинается резкое падение его по почти логарифмической кривой. Мною был произведен ряд измерений с теми кислотами, которые являются как бы связующим звеном между совершенно нерастворимыми высшими кислотами и легко растворимыми низшими. Опыты эти вполне подтвердили правильность и этой части теории, как видно, например, по рис. 10, на котором приведены результаты моих наблюдений над лауриновой кислотой (C_{12}). Капринозой (C_{10}) и каприловой (C_8) кислотами даны кривые, которые являются

промежуточными между кривою рис. 10 и общеизвестною кривою низших гомологов. Заметим еще, что, вводя в ур. (10) добавочный член, аналогичный члену $\frac{a}{v^2}$ в уравнении ван-дер-Ваальса, мы получаем формулу, которая при подходящем выборе аттракционной постоянной удовлетворительно выражает любую из этих кривых.

Л И Т Е Р А Т У Р А.

- 1) A. Pockels. *Nature*. 43, 437 (1891).
- 2) Rayleigh. *Phil. Mag.* 48, 331 (1899).
- 3) Devaux. *Ann. Rep. Smithsonian Inst.* 261 (1913).
- 4) Marcelin. *J. de Phys.* I, 19 (1914).
- 5) Langmuir. *J. Am. Chem. Soc.* 38, 2221 (1916); 39, 1868 (1917); *Proc. Nat. Acad. Sc.* 3, 141 (1917).
- 6) Adam. *Proc. Royal Soc. (A)* 99, 336 (1921); 101, 452, 516 (1922); 103, 676 (1923).
- 7) Labrouste. *Ann. de Phys.* 14, 164 (1920).
- 8) Milner. *Phil. Mag.* (6) 13, 96 (1907).
- 9) Traube. *Lieb. Ann.* 265, 41, (1891).
- 10) Шижковский. *Zeitschr. f. physik. Ch.* 64, 385 (1908).
- 11) Langmuir. *J. Am. Chem. Soc.* 40, 1361 (1918).
- 12) Harkins and Feldman. *J. Am. Chem. Soc.* 44, 2665 (1922).

БИОГРАФИЯ АЛЬФА-ЧАСТИЦЫ ¹⁾.

Сэр Эрнест Резерфорд.

В этой лекции я предполагаю рассказать о некоторых свойствах быстрой α -частицы, самопроизвольно выбрасываемой радиоактивными веществами. Это летящее атомное ядро является не только наиболее мощным из известных нам метательных снарядов, но оно же является и могущественнейшим средством при исследовании строения атомов. Поэтому знакомство с явлениями, вызываемыми им, имеет глубокий научный интерес.

Теперь уже окончательно установлено, что α -частица, испускаемая радиоактивными телами, во всех случаях представляет собою атом гелия, или, говоря более точно, ядро атома гелия с массой 4, несущее два положительных заряда электричества. И только тогда, когда выброшенное ядро при прохождении через вещество задерживается и захватывает два отрицательных электрона, только тогда оно обращается в нейтральный атом гелия. Вполне естественно предположить, что ядро гелия, выбрасываемое с громадной скоростью из тяжелых ядер радиоактивных атомов, представляет собою составную часть их. По некоторым причинам, остающимся до сих пор непонятными, совершенно случайно радиоактивное ядро распадается со взрывом, выбрасывая при этом входящее в его состав ядро гелия с громадной скоростью. Возможно, что α -частица, при освобождении ее из радиоактивного ядра, часть своей огромной кинетической энергии получает при прохождении сквозь отталкивающее электрическое поле, окружающее радиоактивное ядро, но в настоящее время мы не знаем ни природы сил, связывающих отдельные части ядра, ни то, находится ли α -частица в ядре в покое, или же в орбитальном движении. Однако мы знаем, что устойчивость ядра различных радиоактивных элементов колеблется в очень широких пределах. В самом деле у вещества, подобного радю А, радиоактивный атом перед выбрасыванием α -частицы обладает средней продолжительностью жизни в 4,3 минуты, тогда как у самого радия — продолжительностью в 2 250

¹⁾ Речь, произнесенная в Королевском Институте Великобритании. Scientific Monthly, XVIII № 4, p. 337, 1924; Nature, 112. № 2808, p. 305, 1923.

лет, а в случае чрезвычайно медленно изменяющегося элемента, скажем, урана, средняя продолжительность жизни будет нередко 7000 миллионов лет.

Известно, что все α -частицы данного элемента выбрасываются с одной и той же скоростью и что эта скорость изменяется от элемента к элементу. Очевидно, существует тесная связь между скоростью выбрасывания α -частицы и средней продолжительностью жизни материнского элемента. Чем короче средняя продолжительность жизни элемента, тем больше скорость вылета. Это любопытное соотношение между силой взрыва и средней продолжительностью жизни элемента выполняется в большинстве случаев, но в настоящее время трудно представить себе все детали этого явления. Сэр Вильям Брагг уже довольно давно показал, что α -частица пробегает сквозь вещество приблизительно по прямой линии и проходит в нем совершенно определенное расстояние. Это очень хорошо иллюстрируется путями α -частиц, получаемыми методом расширения Вильсона. Большинство путей представляется прямыми линиями, только у некоторых из них наблюдаются изломы вблизи конца пути. Очевидно, в конце пробега фотографическое и ионизационное действие α -частицы внезапно прекращается. Вследствие своей громадной кинетической энергии отдельная α -частица может быть обнаружена по сцинтилляции, производимой ею в кристаллическом сернистом цинке, или действием ее на фотографическую пластинку, или особым электрическим методом, а прекрасный метод Вильсона показывает путь каждой отдельной α -частицы при прохождении ее через газ.

Мы, в частности, приспособили метод сцинтилляции к счету отдельных частиц, и, таким образом, мы имеем в нашем распоряжении весьма деликатный метод для изучения явлений, возникающих при прохождении α -частиц сквозь вещество. При полете сквозь газ α -частица пробегает через электронные системы громадного количества атомов и, освобождая электроны, дает начало сильной ионизации вдоль своего пути. Ионизация достигает максимума вблизи конца пути α -частицы и затем быстро падает до нуля.

Закон уменьшения скорости α -частицы при прохождении сквозь вещество был тщательно исследован путем изучения отклонения в магнитном поле пучка α -частиц до и после прохождения их сквозь слой веществ определенной толщины. В большинстве этих опытов мы применяли α -частицы радия C, имеющие пробег около 7 см в воздухе при нормальных условиях. Начальная скорость V_0 этих частиц, как известно, равна 19 200 км в секунду, и она постепенно уменьшается до $0,4V_0$. В этом состоянии наблюдаемый пробег α -частицы меньше одного сантиметра: измерения при этом очень трудны, потому что пучок α -частиц становится неоднородным и содержит частицы, движущиеся с различными скоростями.

Ввиду этого скорость α -частицы, меньшая $0,38 V_0$, не могла быть определена с достаточной уверенностью. Мы должны заметить, что даже при наименьшей скорости, при которой еще возможно обнаружить α -частицу с помощью эцицилляций или фотографически, она тем не менее движется со скоростью, гораздо большей, чем скорость положительно заряженной частицы, возникающей в обычной разрядной трубке.

Исно, что под конец α -частица настолько замедляется, что захватывает электроны и обращается в нейтральный атом, но до настоящего времени у нас не было доказательства существования этого явления захвата электронов. Недавно Г. Гендерсон (Proc. Roy. Soc. A, 102, p. 496, 1922) сделал большой шаг вперед в этой области, изучая отклонение α -лучей в магнитном поле при очень хорошем вакууме. Для успешности этих опытов необходимо, чтобы аппарат, в котором наблюдают отклонение, был откачан до очень низкого давления, соответствующего давлению воздуха в хорошей трубке для X-лучей. Причину этого мы увидим ниже. При отклонении узкого пучка α -лучей магнитным полем на фотографической пластинке наблюдались две полосы: главная полоска, соответствующая обыкновенным α -частицам, несущим два положительных заряда, и вторая полоска¹⁾, которая, по предположению Гендерсона, соответствует частицам, захватившим один электрон, т.-е. атомам гелия, имеющим один положительный заряд. Далее, при малых скоростях ему удалось доказать существование нейтральных α -частиц, получающихся при захвате ядром гелия двух электронов. При этих опытах Гендерсон пользовался люмановскими пластинками, в которых пленка настолько тонка, что частицы при малых скоростях производят такой же или даже больший фотографический эффект, чем частицы с большими скоростями.

Я повторил эти опыты методом эцициляции и подтвердил выводы Гендерсона. При наблюдении отклонения средней полосы в электрическом и магнитном полях я нашел, что, несомненно, частицы, дающие ее, обладают массой 4 и зарядом 1, т.-е. они являются однозарядными атомами гелия, имеющими ту же самую скорость, как и частицы с двумя зарядами, образующие главную полосу.

Одновременно мною было проделано несколько опытов для выяснения условий, при которых летящие α -частицы могут захватить или потерять электрон. Общее расположение опыта показано на рис. 1 (стр. 190). Тонкая платиновая проволока покрывалась радием В-С путем испонирования в эманации; ею я пользовался в качестве почти однородного источника α -лучей, ибо α -частицы при этом излучались только атомами радия С, количество которых было настолько ничтожно, что они едва ли могли образовать на пластине пленку толщиной в одну мо-

¹⁾ Далее в тексте мы будем называть ее «средняя полоса»

лекул. α -лучи из этого источника проходили сквозь узкую щель около 0,3 мм и падали на экран из сернистого цинка. Распределение α -частиц на экране определялось методом сцинтилляций в темной комнате с помощью микроскопа, помещенного вне ящика. Сосуд, содержащий источник и экран, совершенно откачивался при помощи диффузионного насоса Гедэ: в случае необходимости остающееся давление измерялось манометром Маклеода. Ящик располагался между плоскими полюсами большого электромагнита так, чтобы пучок α -лучей загибался в направлении, показанном на рис. 1. Обычно расстояние между источником и экраном было в 16 см, щель располагалась по-

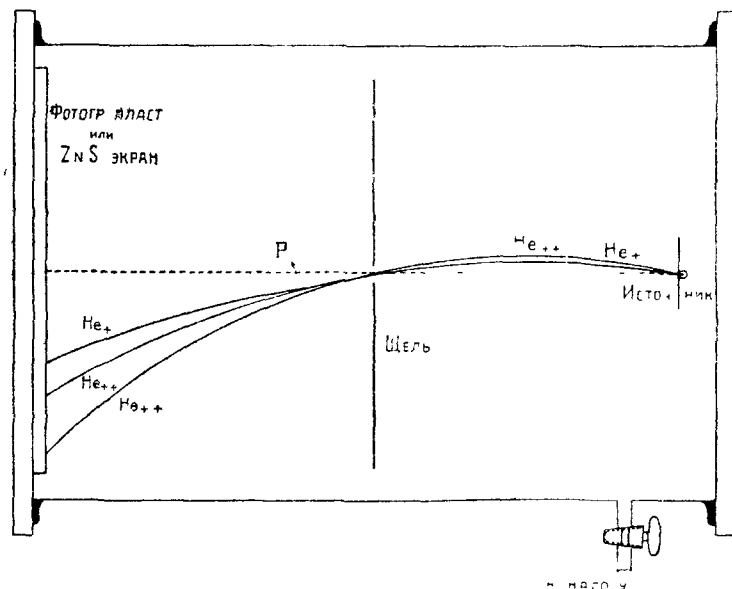


Рис. 1.

средине между ними. Весь путь лучи пробегали почти в однородном магнитном поле, и, таким образом, отклонение пучка лучей было пропорционально силе магнитного поля. При нормальных условиях опыта пучок α -лучей от покрытой радием С проволоки отклонялся на экране приблизительно на 15 мм от нулевого положения (т.е. от положения в отсутствие поля). Поле зрения микроскопа было достаточным, чтобы видеть основание всего пучка α -лучей в отсутствие магнитного поля.

Особые предосторожности принимались для устранения загрязнения экрана активным веществом, выделяемым из проволоки при низких давлениях. Следует иметь в виду, что источник такого типа всегда создает некоторую неоднородность в пучке α -лучей. Такую неоднородность создают α -частицы, освобождающиеся с задней стороны проволоки, которые, проходя через вещество проволоки, уменьшают свою скорость. Это явление ясно обнаруживается при отклонении

пучка α -лучей магнитным полем: наряду с главной полосой α -лучей всегда имеются частицы, распределяющиеся вне главного пучка. Но интенсивность этих неоднородностей пучка обыкновенно меньше одного процента интенсивности главного пучка и наличие их серьезно не влияет на точность выводов, сообщаемых в этой лекции.

Рис. 2 и 3 показывают распределение одно- и двухзарядных α -частиц на экране из сернистого цинка. Рис. 2 показывает результат, который получается, когда перед источником расположена слюда толщиной, соответствующей задерживающей способности слоя воздуха в 3,5 см. Главная полоса, соответствующая частицам He_{++} , резко ограничена со стороны больших скоростей, но она же

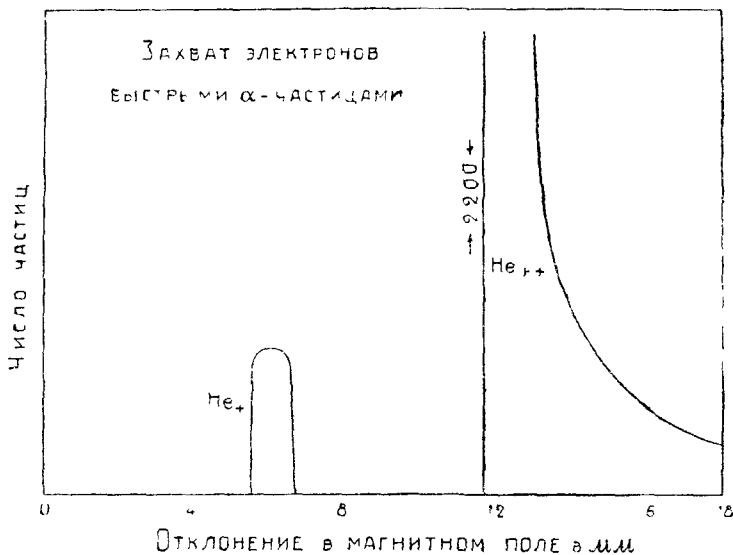


Рис. 2.

свидетельствует о некоторой неоднородности пучка, получающейся при прохождении его сквозь слюду. Как мы и ожидали, средняя полоса (частицы He_+), действительно, точно ложится между нулем и главной полосой и содержит приблизительно $1/55$ частиц главного пучка. Рис. 3 дает распределение при увеличении толщины слоя слюды до величины, соответствующей задерживающей способности воздуха в 6 см. Теперь обе—главная и средняя—полосы не обозначаются уже так резко, как в первом случае, но каждая из них образована частицами с различнейшими скоростями. Относительное число частиц He_+ и He_{++} равно приблизительно $1/8$ для быстрых частиц, но это отношение увеличивается с уменьшением скорости. Средняя полоса расширяется и сходится с главной полосой, где последняя уже не может наблюдаться. Яркость сцинтилляций, соответствующих частицам He_+ , уменьшается непрерывно от *A* до *B*. В этом случае возник-

кают также и нейтральные частицы. На это указывает полоса He_0 , не отклоняемая в магнитном поле, но интенсивность ее мала по сравнению со средней полосой. Кроме того, между нейтральной и средней полосой встречается небольшое число слабых спинцилляций, по всей вероятности, принадлежащих частью рассеянными краями щели α -частицам, частью атомам кислорода или других элементов, входящих в состав слюды. Распределение заряженных и нейтральных частиц гелия при значительно меньших скоростях видно на кривых *A* и *B* (рис. 4), разбор которых пока отложим. Ясно, что отношение числа частиц He_+ к He_{++} здесь увеличилось, точно так же относительное число нейтральных частиц гораздо больше.

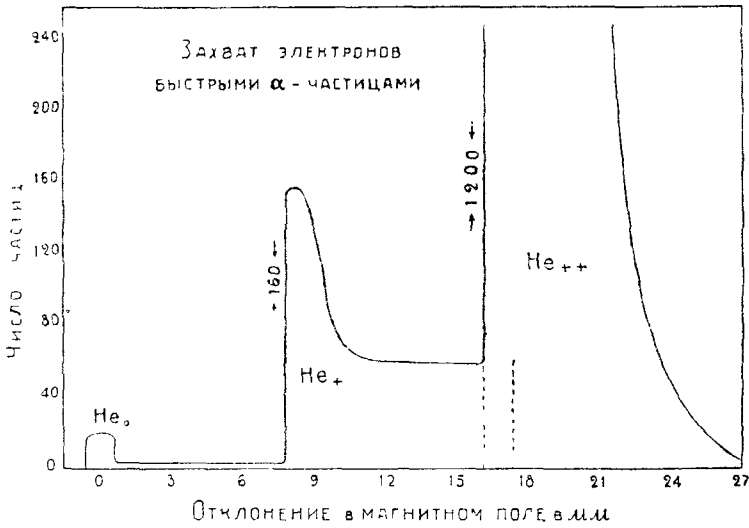


Рис. 3.

Мы можем теперь обратиться к объяснению всех этих наблюдений. Ясно, что частицы, выходящие из слюды, будут с двумя, с одним зарядом или же совершенно нейтральными, но относительное число этих трех типов частиц заметно изменяется в зависимости от задерживающей способности слюдяных пластинок. Мы можем предположить, что α -частица, при прохождении ее через внешнюю электронную структуру атома, на своем пути случайно выталкивает электрон и захватывает его. Этот электрон, попадая на устойчивую орбиту вокруг ядра гелия с двойным зарядом, движется вместе с ним.

Однако этот атом с одним зарядом обладает непродолжительной жизнью: при прохождении через другие атомы электрон сбивается, и α -частица с одним зарядом опять возвращается к типу частиц с двумя зарядами. Этот процесс потери электрона аналогичен обыкновенному явлению ионизации, где электрон выбрасывается из атома при столкновении его с α -частицей. Точно так же частица с одним зарядом

(He_+) может захватить электрон у другого атома, и, наоборот, она может случайно потерять свой спутник-электрон. Таким образом, мы должны различать два противоположных процесса, — один, заключающийся в захвате электрона, и другой, ведущий к выбрасыванию его. Из данных, которые мы приведем ниже, будет видно, что этот процесс захвата и потери может повториться более тысячи раз в течение полета α -частицы, так что средний путь, пробегаемый α -частицей перед захватом электрона или перед потерей захваченного электрона, мал по сравнению со всем расстоянием, пробегаемым α -частицей до остановки. Из этого ясно, что при данной скорости α -частицы должно существовать равновесие между числом частиц He_+ и He_{++} , т. е.

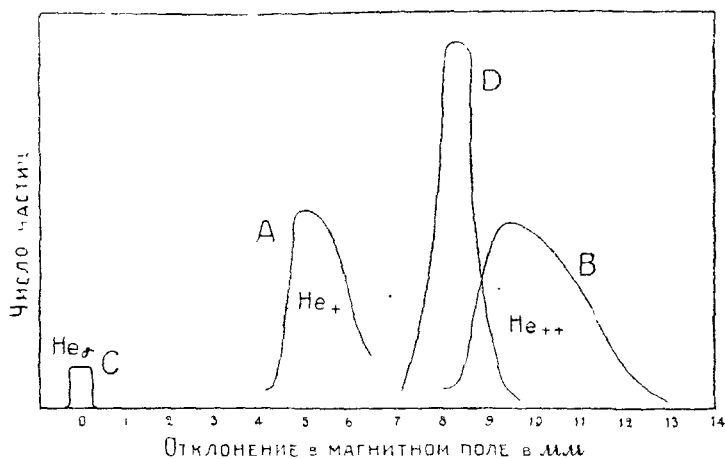


Рис. 4.

в среднем число захваченных электронов на данном малом расстоянии должно равняться числу потерянных.

Очень удобно предположить, что при данной скорости каждая частица He_{++} имеет некоторый средний свободный путь λ_1 см в веществе прежде, чем она захватит какой-либо электрон, и что средний свободный путь частицы He_+ перед потерей электрона будет λ_2 см. Без сомнения, отдельные частицы пробегают большие или меньшие расстояния, чем эти средние расстояния перед захватом или потерей электрона, но, принимая во внимание большое число частиц, мы можем полагать, что существует среднее расстояние, пробегаемое перед захватом или потерей электрона, которое мы можем называть средним свободным путем.

Если N_1 суть число частиц He_+ , пробегающих небольшое расстояние dx в веществе, то число их, захватывающее электрон, будет $N_1 dx \lambda_1$. Если так же N_2 — число частиц He_{++} , то число их, теряющее один электрон, равно $N_2 dx \lambda_2$. Но мы уже видели, что когда наступает равновесие, то число захватов электронов на данном расстоянии должно

быть равно числу потерь их. Из сравнения этих двух выражений видно, что $N_2/N_1 = \lambda_2/\lambda_1$, или, другими словами, относительное число частиц He_+ и He_{++} пропорционально отношению средних свободных путей потерь и захватов. Так как методом сцинтилляций отношение N_2/N_1 можно измерить для любых скоростей, пользуясь для этого поглотителями различной толщины, то мы можем, таким образом, для некоторой скорости определить отношение средних свободных путей перед захватом и потерей электрона.

Истинная величина среднего свободного пути λ_2 частицы He_+ перед потерей ею электрона может быть непосредственно определена на опыте. Предположим, что микроскоп сфокусирован на среднюю полосу (см. рис. 2), и мы подсчитали число сцинтилляций в одну минуту при хорошем вакууме. Если внезапно остановить насос и немедленно при хорошем вакууме ввести в сосуд воздух или другой газ, то, как было найдено, число сцинтилляций уменьшается с увеличением давления до тех пор, пока полоска совершенно не исчезнет. Это имеет место уже при достаточно низком давлении, для воздуха, например, при давлении около $1/4$ мм.

Объяснение этого результата совершенно ясно. Частичка He_+ , вылетая из слюды, случайно сталкивается с атомом газа, встретившимся на ее пути, и при этом отдает электрон, ею захваченный при полете через слюду. Таким образом, частичка He_+ снова обращается в частицу He_{++} , а последняя в магнитном поле отклоняется в два раза легче, чем частица He_+ . Предположим, что столкновение произошло в точке P (рис. 1). Тогда частица после отдачи электрона пойдет по новому пути, показанному на рис. 1, и уже не ударится больше в часть экрана, видимую в микроскоп. Было установлено, что число сцинтилляций, видимых в микроскоп, при повышении давления убывает по экспоненциальному закону. Этот результат не был неожиданным, и из данных опыта можно было достаточно просто подсчитать среднее расстояние, пробегаемое частицей He_+ , прежде чем она потеряет захваченный ею электрон. Конечно, некоторые необходимые поправки надо внести при подсчете окончательной ширины полосы сцинтилляций, видимой в микроскоп, но мы не будем входить в детали этого опыта. Очень удобно выражать средний свободный путь λ_2 в воздухе частицы He_+ не средней длиной пути, пробегаемого в разреженном газе перед потерей электрона, а расстоянием, пробегаемым ею в том же газе при нормальных давлении и температуре. Например, в одном из опытов средний свободный путь в воздухе для частицы был найден равным 12 см при давлении 0,040 мм; это соответствует среднему свободному пути в 0,0063 мм при нормальных давлении и температуре.

Таким образом, был измерен при различных скоростях средний свободный путь в воздухе перед потерей электрона, и было найдено, что средний свободный путь, меняется с изменением скорости α -ча-

стицы, так, что с уменьшением скорости α -частицы средний свободный путь ее становится короче. Так как потерю электрона частицей, несущей один заряд, мы можем рассматривать как результат явления ионизации, то, несомненно, что если мы примем во внимание прочную связь отдельного электрона с ядром He_{++} , средний свободный путь перед потерей электрона будет того же порядка, как и вычисленный из расчета числа ионов, получающихся на 1 см при полете α -частицы в воздухе или в каком-нибудь другом газе. При этом были сравнены средние свободные пути для воздуха с путями в водороде и гелии. Эта величина в водороде от 4 до 5 раз длиннее, чем в воздухе, и она в 5 раз длиннее, чем в гелии.

Теперь, зная среднюю длину пути λ_2 , мы можем вычислить λ_1 (перед захватом электрона), если нам также будет известно отношение N_2/N_1 . Однако здесь возникает затруднение, ибо для измерения отношения N_2/N_1 необходимо, чтобы активный источник был покрыт слюдой или каким-нибудь другим твердым телом. Газ для этой цели не удобен. Однако было установлено, что отношение N_2/N_1 остается одинаковым в пределах ошибок наблюдений независимо от того, будем ли мы скорость α -частиц уменьшать целлулоидом, слюдой, алюминием или серебром. При этом мы пользовались одной и той же пластинкой слюды, покрывая ее каждый раз очень тонким слоем исследуемого вещества. Толщина слоя была достаточна для установления нового равновесия между частицами, несущими один и два заряда, но недостаточна для существенного изменения скорости ионизирующих лучей.

Так как величина отношения N_2/N_1 не дает учитываемых изменений для поглотителей со столь различными атомными весами, то мы можем совершенно спокойно заключить, что это отношение для гипотетического слоя твердого воздуха будет тем же, что и для данного слоя слюды.

Итак, мы имеем теперь все данные, необходимые для определения величин λ_1 и λ_2 , относящихся к α -частицам при различных скоростях. Результаты даны в следующей таблице для трех различных скоростей. Средний свободный путь выражен в числе мм воздуха при нормальных давлении и температуре. Максимальная скорость V_0 α -частиц радия C равна $1,9 \times 10^9$ см сек.

| Скорость V в долях V_0 . | $\lambda_2/\lambda_1 = N_2/N_1$ для слюды. | Средний свободный путь перед потерей электрона в воздухе | Средний свободный путь λ_1 перед захватом электрона в воздухе. |
|---------------------------------|---|--|--|
| 0,94 | ¹ 2,09 | 0,011 мм | 2,2 мм |
| 0,76 | ¹ 0,87 | 0,0078 " | 0,52 " |
| 0,47 | ¹ 0,5 | 0,0050 " | 0,037 |

Из таблицы видно, что средний свободный путь перед потерей электрона изменяется параллельно скорости, при чем он изменяется приблизительно в отношении 1 к 2, в пределах изменения скорости данных в таблице. С другой стороны, отношение λ_2/λ_1 увеличивается, очень быстро с уменьшением скорости, изменяясь приблизительно пропорционально V^{-5} . Отсюда следует, что λ_1 изменяется пропорционально V^6 , уменьшаясь в 60 или более раз в то время, когда скорость уменьшилась наполовину.

Из этих данных и соотношений можно легко подсчитать, что средний свободный путь перед захватом электрона должен быть равен пути перед потерей его при скорости, равной $0,3 V_0$, и что при этой скорости число частиц He^+ и He_{+1} должно быть равным. Особый опыт показал, что действительная величина скорости, когда количества обоого рода частиц одинаковы, равна $0,29 V_0$, т.е. очень хорошо согласуется с вычисленной величиной. Чрезвычайно трудно определять величины λ_1 и λ_2 для скоростей, меньших $0,3 V_0$, не только из-за того, что сцинтилляции слабы по интенсивности и трудно поддаются точному подсчету, но и потому, что возникающие лучи очень неоднородны и не дают резко очерченного края со стороны большой скорости. Однако было замечено, что при скоростях, меньших $0,3 V_0$, отношение N_2/N_1 быстро увеличивается.

До сих пор мы изучали равновесие между частицами He^+ и He_{+1} . Ясно, что при малых скоростях α -частиц рассуждения, подобные вышеуказанным, применимы к равновесию между частицами нейтрального гелия и частицами, несущими один заряд. Было обнаружено, что нейтральные частицы особенно бросаются в глаза при прохождении лучей через среду в 6 см задерживающей способности, но, без сомнения, они могут быть обнаружены при гораздо меньшей задерживающей способности. Эти нейтральные частички вызывают сцинтилляции, по интенсивности соответствующие α -частицам малой скорости. По всей вероятности, эти нейтральные частицы, прежде чем удариться в сернистый цинк или какое-либо другое поглощающее вещество, много раз теряют и захватывают электрон. Это явление было показано при впускании газа при низком давлении в аппарат, при чем сцинтилляции, вызываемые нейтральными частицами, постепенно убывали в числе и, наконец, совершенно исчезали. Это явление объясняется так же, как и исчезновение полоски He^+ : нейтральные частички случайно теряют электрон при прохождении их через газ, и вследствие этого магнитное поле отклоняет их из нулевого положения.

Подсчет показывает, что средний свободный путь в воздухе между превращением нейтральной частицы гелия в однозарядную равен приблизительно $1/600$ м. Но, конечно, эта величина является средней для частиц с различнейшими скоростями, попадающими в данный момент в центральную плоскость.

Для больших скоростей мы имеем подвижное равновесие $He_{++} \rightleftharpoons He_{+}^{\cdot}$. Для скоростей, меньших $0,5 V_0$ $He_{+} \rightleftharpoons He_0$; по всей вероятности, то же мы имеем и для скоростей, меньших $0,3 V_0$. Как показал Гендерсон, при чрезвычайно малых скоростях большинство He_{+} -частиц разрушается, и преобладают частицы He_{+} и He_0 .

При таких малых скоростях подсчет сцинтилляции чрезвычайно труден и ненадежен, и предпочтительнее в этом случае фотографический метод, которым пользовался Гендерсон. Представляется очень интересным посмотреть, не изменяется ли относительное число частиц трех типов, когда α -частицы медленно движутся сквозь различные вещества. Эта часть работы производится Гендерсоном в университете в Саскачеване (Saskatchewan).

Здесь необходимо отметить одно очень интересное обстоятельство. Уже было показано, что одно- и двухзарядные α -частицы появляются всегда после прохождения α -лучей сквозь слюду или другие поглощающие вещества, но не появляются ли однозарядные частицы, когда α -частицы вылетают из проволоки, покрытой бесконечно тонким слоем активного вещества? Такое явление на самом деле было обнаружено для платиновой проволоки, покрытой налетом радия $B + C$, полученными экспозицией в эманации радия, и при этом было установлено, что однозарядные атомы гелия получаются приблизительно в равновесном отношении для данной скорости. Это наблюдение было совершенно неожиданным. Первоначально мы объяснили это тем, что частицы радия B , возникающие из радия A вследствие отдачи проникают на некоторую глубину в материал проволоки. При этих условиях многие из α -частиц, излучаемых радием C , проходят сквозь малый, но учитываемой толщины, слой вещества, прежде чем вылететь из проволоки, и на пути могут захватить электрон. Однако это объяснение кажется невероятным потому, что среднее расстояние, на которое проникает атом, получающийся при отдаче, представляет собою маленькую часть среднего свободного пути перед захватом электрона для α -частицы при таких больших скоростях. Опыт был повторен с никкелевой проволокой, на поверхности которой осадок радия C получался хорошо известным способом: погружением проволоки в горячий раствор радия C . В этом случае явления отдачи отсутствуют, но число однозарядных частиц было тем же, что и в первом опыте.

Очень важно, что относительное число однозарядных и двухзарядных частиц приблизительно равно равновесному отношению, получающемуся, когда проволока, после активации, покрывается учитываемой толщины слоем меди или какого-нибудь другого вещества. Вряд ли можно думать, что однозарядные частицы, наравне с двухзарядными действительно освобождаются из радиоактивного ядра; даже, если полагать, что α -частица выбрасывается со спутником-электроном, то электрон может быть потерян при прохождении ее

через очень сильное электрическое поле вблизи ядра. По всей вероятности, α -частица с двойным зарядом при прохождении ее через густо распределенные электроны, окружающие радиоактивное ядро, случайно захватывает электрон, и, таким образом, процесс захвата и потери электрона идет на всем протяжении во время вылета α -частицы из радиоактивного атома. На первый взгляд такое объяснение кажется менее правдоподобным, если мы учтем относительно большее число атомов, проходимых обычно α -частицей, прежде чем установится равновесие между захватами и потерями электронов, но, с другой стороны, хорошо известно, что шансы на электронные столкновения в общем гораздо больше для заряженных частиц, выбрасываемых из центрального ядра, чем для частиц извне, проходящих через электронную атмосферу атома. Возможно, что те электроны, орбитальное движение которых вокруг ядра сравнимо со скоростью α -частицы, играют особую роль в случаях захвата или потери.

До сих пор мы имели дело, главным образом, с распределением частиц в магнитном поле в вакууме после освобождения их из поверхности слюды. Несколько очень интересных фактов выяснилось при исследовании распределения в присутствии достаточного количества газа, который обуславливал быструю смену захватов и потерь электронов вдоль пути α -частицы. Это очень хорошо иллюстрируется диаграммой рис. 4, на которой нанесены результаты для α -частиц, вылетающих из слюды с максимальным остаточным пробегом около 4 или 5 мм в воздухе. Кривые *A* и *B* дают приблизительное распределение частиц He^+ и He^{++} в пустоте, тогда как *C* — относительное число нейтральных частиц при данных условиях опыта. Предположим теперь, что в сосуд введен воздух, в количестве, достаточном для того, чтобы вызвать многочисленные захваты электронов при полете α -частиц в газе, но еще недостаточном для заметного уменьшения скорости α -частиц. Тогда прежде всего бросается в глаза замечательный факт, именно, что распределение по *A*, *B*, *C* исчезает и остается только распределение частиц приблизительно посередине между *A* и *B* (кривая *D*). Эта полоса по сравнению с *A* и *C* уже, а в максимуме выше. Это указывает на то, что частицы собираются в полосу, более узкую, чем это имеет место при нормальном распределении в кривой *B*.

Это есть как раз то, что мы можем ожидать. В самом деле, быстрые частички по сравнению с медленными испытывают меньшее число захватов; следовательно, средний заряд быстрых α -частиц в газе будет меньше $2e$, и их отклонение меньше, чем отклонение более быстрых частиц, показанное на кривой *B*. С другой стороны, средний заряд медленных α -частиц ближе к $1e$, чем к $2e$, и, стало быть, их относительное отклонение будет меньше, чем у быстрых частиц. Таким образом ясно, что суммарное распределение частиц в воздухе внутри сосуда будет концентрироваться на более узкой полосе, чем главная

полоска частиц He_{++} . Из вычислений, основанных на законах захвата и потери, ширина полосы при условиях опыта может быть подсчитана и, в действительности, найдена в прекрасном согласии с опытом. Заметим, что подобные результаты получены и для водорода при соответствующих условиях.

ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Наше внимание теперь должно быть обращено на разбор полученных результатов и возможное объяснение их с современной точки зрения. На первом месте стоит поразительно большое число захватов и потерь электрона, происходящих при полете α -частицы радия C . В то время как средний свободный путь α -частицы радия C с пробегом в 7 см в воздухе равен приблизительно 3 м.м. с уменьшением скорости α -частицы эта величина быстро падает, и, по всей вероятности, при скорости $0,3 V_0$ она равна 0,0015 м.м. Не трудно подсчитать, что заряд частицы при ее полете в воздухе изменяется около тысячи раз, пока скорость ее от V_0 изменится до $0,3 V_0$. Несмотря на то, что данные, полученные до сих пор, не позволяют нам подсчитать число изменений заряда, происходящих при уменьшении скорости от $0,3 V_0$ до 0, нам все-таки представляется вероятным, что это число значительно больше тысячи. Мы уже раньше заметили, что при малых скоростях преобладают изменения $He_+ \rightleftharpoons He_0$. Если мы учтем быстроту перемен зарядов α -частицей при средних скоростях, то ясно, что мы не можем надеяться наблюдать учитываемую разницу в способности проникновения между пучками лучей данной скорости, в зависимости от того, состояли ли они вначале из однозарядных или двухзарядных частиц. Совершенно ясно, что однозарядная частичка, проникнув на небольшое расстояние в вещество, обращается в двухзарядную, и наоборот; и ясно, что эффекты, производимые двумя пучками, не могут быть различимы. Гендерсон, пользуясь фотографическим методом, пробует производить такие опыты над абсорбцией частиц, но пока он не получил определенных результатов.

Когда α -частица захватывает электрон, последний, вероятно, попадает на ту же самую орбиту вокруг ядра гелия, которая характеризует ионизованный атом гелия, т.-е. атом, потерявший один электрон. Когда α -частица с ее спутником-электроном быстро пролетает на своем пути сквозь атомы газа, она не только ионизирует газ, но может ионизироваться и сама, т.-е. потерять свой спутник—электрон. Если мы примем во внимание сильную связь первого электрона с ядром гелия — ионизационный потенциал около 54 вольт, — то средняя длина свободного пути перед потерей захваченного электрона в воздухе по величине будет того же порядка, как и вычисленная из предположения ионизации α -частицей на единицу пути в воздухе. В то время как

няется на очень большой угол вследствие тесного соударения с ядром. Я также опустил еще более редкий случай, когда происходит разложение атомного ядра, как это имеет место у азота или алюминия. Таким образом, мы видим, что α -частица имеет интересную историю. Обычно она удерживается в радиоактивном ядре как составная часть его в течение промежутков времени больших тысячи миллионов лет. Но внезапно происходит катастрофа: α -частица получает свободу и живет независимой жизнью около одной стомиллионной доли секунды, в продолжение которой происходит с ней все то, что описано в этой лекции.

Если мы имеем дело с плотными и прочными минералами урана или тория, то α -частица после приобретения двух электронов и превращения в нейтральный атом гелия задерживается в минерале так долго, сколько будет существовать данный минерал. Окклюдированный гелий может быть получен из минерала при действии высокой температуры и после удаления всех других газов; его присутствие можно обнаружить по характерному яркому свечению под влиянием электрического разряда. При таких опытах выделяется малое количество гелия. Однако, огромные количества гелия, достаточные для наполнения больших воздушных кораблей, получаются из естественных газов, выделяющихся свободно из земли в различных частях Канады и Соединенных Штатов Америки. И замечательно, что, по всей вероятности, каждый отдельный атом этого вещества имел историю жизни, описанную здесь.

П Р И Б А В Л Е Н И Е ¹⁾.

Представляется интересным дать здесь краткий обзор еще некоторых фактов, относящихся к α -частице. Уже давно было известно, что α -частицы, хотя и излучаются из источника с одной и той же скоростью, но пролетают в газе разные расстояния. Например, наибольшее расстояние, пробегаемое α -частицами радия *C* в воздухе при 760 мм давления и 15° С, равно 7,04 см, наименьшее — около 6,4 см, отсюда среднее будет около 6,8 см. Некоторое «продольное рассеяние» α -частиц можно предвидеть на общих основаниях. Действительно, α -частица теряет свою энергию, главным образом, при освобождении электронов из атомов вещества, встречающихся на ее пути. Между тем, по законам вероятности, одна из α -частиц может встретить большее число атомов и освободить больше электронов, чем какая-нибудь другая частица, и таким образом первая теряет энергию быстрее чем вторая. Однако наблюдаемое продольное рассеяние гораздо больше, чем может дать подсчет, произведенный в таком предположении, и надо

¹⁾ Это прибавление не является частью лекции, прочитанной в Королевском Институте, но оно может быть полезным дополнением к некоторым пунктам в этой лекции

заметить, что большие отклонения α -частиц, соответствующие соударениям с ядром, за исключением конца пробега, так редки, что они не могут серьезно влиять на окончательное распределение α -частиц.

Гендерсон предположил, что свойство α -частицы захватывать и терять электроны надо рассматривать как новый фактор продольного рассеяния. Без сомнения, это явление имеет место, но наблюдаемое отношение захвата и потерь электронов представляется слишком большим, чтобы относить его всецело на расхождение между теорией и опытом. Другое интересное предположение относительно величины этого рассеяния сделано П. Л. Капицей. Из опытов Чадвика и Билера над соударением между α -частицами и ядрами водорода было ясно, что α -частица или ядро гелия обладает несимметричным полем сил. Эта асимметрия электрического поля может быть уже мала на расстояниях орбит электронов в нейтральном атоме, но она может быть достаточна для фиксации плоскости орбиты электрона относительно оси ядра гелия.

Предположим, что α -частицы, освобождающиеся из радиоактивного источника, обладают осями, ориентированными в пространстве, и что направление осей каждой отдельной частички остается неизменным во время движения ее. Например, в одних случаях захваченный электрон описывает орбиту, плоскость которой близка к направлению движения, в других — почти перпендикулярна к нему. Однако надо ожидать, что шансы на потерю захваченного электрона при столкновении в одном случае будут больше, чем в другом; или, другими словами, средний свободный путь α -частицы, несущей один заряд, перед потерей электрона будет неодинаков в обоих случаях.

С этой точки зрения можно предполагать, что одна часть α -частиц будет терять энергию скорее, чем другая, и пробег их точно так же будет различен. Чтобы проверить существует ли действительно такое различие между α -частицами, предсказываемое теорией, Капица в Кавендишевской лаборатории сфотографировал пути большого числа α -частиц, пользуясь методом Вильсона и сильным магнитным полем, приблизительно в 70000 гауссов, производимым моментальным током большой силы. Магнитное поле было достаточно сильно, чтобы вызвать заметное искривление пути α -частицы. Было установлено, что кривизна путей на одинаковых расстояниях от конца их показывает заметное различие. Прежде чем сделать какое-либо определенное заключение, надо получить большое число путей, тщательно промерить и отделить внезапные отклонения, вызываемые соударениями ядра с атомами азота или кислорода. Частота таких отклонений вблизи конца пробега усложняет интерпретацию кривизны, подвергаемой измерению. Опыты, находящиеся еще в ходу, чрезвычайно трудны и требуют колоссальной технической ловкости; они представят большой интерес, если тем или другим методом установят определенную асимметрию для орбит в однозарядных α -частицах.

няется на очень большой угол вследствие тесного соударения с ядром. Я также опустил еще более редкий случай, когда происходит разложение атомного ядра, как это имеет место у азота или алюминия. Таким образом, мы видим, что α -частица имеет интересную историю. Обычно она удерживается в радиоактивном ядре как составная часть его в течение промежутков времени больших тысячи миллионов лет. Но внезапно происходит катастрофа: α -частица получает свободу и живет независимой жизнью около одной стомиллионной доли секунды, в продолжение которой происходит с ней все то, что описано в этой лекции.

Если мы имеем дело с плотными и прочными минералами урана или тория, то α -частица после приобретения двух электронов и превращения в нейтральный атом гелия задерживается в минерале так долго, сколько будет существовать данный минерал. Оклюдированный гелий может быть получен из минерала при действии высокой температуры и после удаления всех других газов; его присутствие можно обнаружить по характерному яркому свечению под влиянием электрического разряда. При таких опытах выделяется малое количество гелия. Однако, огромные количества гелия, достаточные для наполнения больших воздушных кораблей, получаются из естественных газов, выделяющихся свободно из земли в различных частях Канады и Соединенных Штатов Америки. И замечательно, что, по всей вероятности, каждый отдельный атом этого вещества имел историю жизни, описанную здесь.

П Р И В А В Л Е Н И Е ¹⁾.

Представляется интересным дать здесь краткий обзор еще некоторых фактов, относящихся к α -частице. Уже давно было известно, что α -частицы, хотя и излучаются из источника с одной и той же скоростью, но пролетают в газе разные расстояния. Например, наибольшее расстояние, пробегаемое α -частицами радия *C* в воздухе при 760 мм давления и 15°С, равно 7,04 см, наименьшее — около 6,4 см, отсюда среднее будет около 6,8 см. Некоторое «продольное рассеяние» α -частиц можно предвидеть на общих основаниях. Действительно, α -частица теряет свою энергию, главным образом, при освобождении электронов из атомов вещества, встречающихся на ее пути. Между тем, по законам вероятности, одна из α -частиц может встретить большее число атомов и освободить больше электронов, чем какая-нибудь другая частица, и таким образом первая теряет энергию быстрее чем вторая. Однако наблюдаемое продольное рассеяние гораздо больше, чем может дать подсчет, произведенный в таком предположении, и надо

¹⁾ Это прибавление не является частью лекции, прочитанной в Королевском Институте, но оно может быть полезным дополнением к некоторым пунктам в этой лекции

заметить, что большие отклонения α -частиц, соответствующие соударениям с ядром, за исключением конца пробега, так редки, что они не могут серьезно влиять на окончательное распределение α -частиц.

Гендерсон предположил, что свойство α -частицы захватывать и терять электроны надо рассматривать как новый фактор продольного рассеяния. Без сомнения, это явление имеет место, но наблюдаемое отношение захвата и потерь электронов представляется слишком большим, чтобы относить его всецело на расхождение между теорией и опытом. Другое интересное предположение относительно величины этого рассеяния сделано П. Л. Капицей. Из опытов Чадвика и Билера над соударением между α -частицами и ядрами водорода было ясно, что α -частица или ядро гелия обладает несимметричным полем сил. Эта асимметрия электрического поля может быть уже мала на расстояниях орбит электронов в нейтральном атоме, но она может быть достаточна для фиксации плоскости орбиты электрона относительно оси ядра гелия.

Предположим, что α -частицы, освобождающиеся из радиоактивного источника, обладают осями, ориентированными в пространстве, и что направление осей каждой отдельной частички остается неизменным во время движения ее. Например, в одних случаях захваченный электрон описывает орбиту, плоскость которой близка к направлению движения, в других — почти перпендикулярна к нему. Однако надо ожидать, что шансы на потерю захваченного электрона при столкновении в одном случае будут больше, чем в другом; или, другими словами, средний свободный путь α -частицы, несущей один заряд, перед потерей электрона будет неодинаков в обоих случаях.

С этой точки зрения можно предполагать, что одна часть α -частиц будет терять энергию скорее, чем другая, и пробег их точно так же будет различен. Чтобы проверить существует ли действительно такое различие между α -частицами, предсказываемое теорией, Капица в Кавендишевской лаборатории сфотографировал пути большого числа α -частиц, пользуясь методом Вильсона и сильным магнитным полем, приблизительно в 70000 гауссов, производимым моментальным током большой силы. Магнитное поле было достаточно сильно, чтобы вызвать заметное искривление пути α -частицы. Было установлено, что кривизна путей на одинаковых расстояниях от конца их показывает заметное различие. Прежде чем сделать какое-либо определенное заключение, надо получить большое число путей, тщательно промерить и отделить внезапные отклонения, вызываемые соударениями ядра с атомами азота или кислорода. Частота таких отклонений вблизи конца пробега усложняет интерпретацию кривизны, подвергаемой измерению. Опыты, находящиеся еще в ходу, чрезвычайно трудны и требуют колоссальной технической ловкости; они представляют большой интерес, если тем или другим методом установят определенную асимметрию для орбит в однозарядных α -частицах.

Спектр северных сияний привлекал внимание многих наблюдателей; однако, когда в 1910 г., в связи с исследованием свойств космических лучей, мне пришлось ознакомиться по литературным данным со спектром северных сияний, я нашел, что почти все измерения были слишком не точны для того, чтобы ими можно было пользоваться при идентификации линий и кроме того существовало столько же, если не больше, толкований спектра, сколько было наблюдателей. Анализ и интерпретация спектра северных сияний были в то время, следовательно, открытым вопросом.

В 1912—13 г.г. я начал наблюдения над спектром северных сияний в Боссекопе в Финмаркене¹⁾. В этой первой экспедиции я пользовался спектрографом, соединявшим высокую светосилу со значительной дисперсией, и кроме того имел в своем распоряжении также спектроскоп. При помощи спектроскопа я наблюдал наиболее яркую зеленую линию, причем ряд лучших наблюдений дал длину волны $\lambda = 5577 \text{ \AA}$. Спектрографом я получил зеленую линию и шесть линий в синей и фиолетовой части спектра; последние оказались совпадающими с сильными линиями отрицательного полосатого спектра азота²⁾. В последнее время этот результат подтвержден лордом Рэлеем (мл.). Различные определения зеленой линии давали некоторые колебания, поэтому я предпринял новые измерения в Христиании со спектроскопом с большей дисперсией. Первый ряд наблюдений дал $\lambda = 5578.4 \text{ \AA}$; второй наиболее обширный ряд $\lambda = 5577,6 \text{ \AA}$. Эти значения хорошо согласуются с данными, полученными Слайфером (Slipher) и недавно Бэбкокком (Babcock) в обсерватории на Моунт Вильсон, при фотографировании спектра ночного неба³⁾.

Таким образом длина волны зеленой линии была установлена с большою точностью, однако, происхождение ее оставалось столь же таинственным как и раньше. Чтобы напасть на след происхождения зеленой линии я начал снова систематические исследования спектра северных сияний. Были построены соответствующие спектрографы и монтированы на крыше геофизического института в Тромсё (Tromsø). Наблюдения производились зимой 1922—23 г.г. и последней зимой.

Работа первой зимы дала много хороших спектрограмм, 35 линий и полос были измерены в видимой и ультрафиолетовой части спектра. За исключением зеленой линии и трех слабых линий или полос, остальные линии удалось отождествить с известными линиями азота. Спектр северных сияний замечателен не только своей зеленой линией, остальная часть спектра также чрезвычайно своеобразного типа.

¹⁾ На крайнем севере Скандинавского полуострова.

Прим. перев.

²⁾ Phys. Zeitschr. 14 p. 677. 1913 и Zeitschr. f. Physik 16, 369. 1923. *Прим. перев.*

³⁾ При помощи интерферометра Фабри и Перо. (Astrophys. Journ., 1923.)

Прим. перев.

За исключением огромного числа линий и полос азотного спектра, удается выделить только очень немного линий или границ полос (band-heads) иного происхождения.

Хотя при фотографировании сильные линии спектра северного сияния были значительно передержаны, однако не было найдено никаких следов водорода или гелия. Поэтому приходится отказаться от общепринятого ранее взгляда, что на высоте свыше 100 км атмосфера состоит, главным образом, из легких газов. Можно, правда, предположить, что водород, гелий или гипотетический «геокороний» производят зеленую линию; однако, удивительно, что ни водород, ни гелий не обнаруживают своих обыкновенных линий. Сравнение интенсивности зеленой линии с интенсивностью известных азотных линий северного сияния на спектрограммах, полученных от нижнего и верхнего края сияния, показало, что зеленая линия не может возникать от указанных легких газов; вместо возрастания снизу вверх, зеленая линия внизу оказалась относительно несколько ярче, чем на верхнем краю сияния. Это обстоятельство в связи с тем, что почти весь спектр состоит из азотных линий, дает сильный довод в пользу воззрения, высказанного мною еще в 1910 г., что зеленая линия также относится к азоту и излучается при особых условиях, существующих в области возникновения северных сияний.

Независимо от объяснения происхождения зеленой линии мы должны считать азот главной составляющей атмосферы на ее верхней границе. Для объяснения этого приходится предполагать или возрастание температуры с высотой, или же считать, что азот заряжен электрически и увлекается кверху электрическими силами. Характер спектра и другие причины заставили меня отказаться от первого предположения. Анализируя второе предположение, я нашел, что наэлектризованная атмосфера в чрезвычайно ионизированном состоянии не может существовать в форме обычного газа. Таким образом я пришел к предположению, что азот при очень низких температурах сгущается в крупинки или маленькие кристаллы.

Эта несколько ошеломляющая на первый взгляд гипотеза, противоречащая общепринятым концепциям, оказалась, однако, очень плодотворной. Прежде всего в ней предполагается для зоны северных сияний такое физическое состояние, которое объясняет, почему спектр северных сияний не удавалось до сих пор воспроизвести в лабораторных опытах; она же дает возможность объяснения резких изменений цвета северных сияний и других космических явлений, мерцания звезд, голубого цвета неба, зодиакального света ¹⁾.

¹⁾ Cp. L. Vegard, Zeitschr. f. Physik 16, p. 367. 1923. Эта работа, содержащая обоснование гипотезы Фегарда, подробно прореферирована в нижеследующей заметке И. И. Васильева (стр. 210). Ред.

Из этой гипотезы следует, что спектр северных сияний производится при бомбардировке атмосферы, состоящей из азотных кристалликов, электрическими лучами. Эти условия очень трудно воспроизвести в точности, однако приближенно их можно получить, бомбардируя твердый азот электрическими лучами, получаемыми в лаборатории. Благодаря любезности проф. Камерлинг-Оннеса я мог произвести такого рода опыты в криогенной лаборатории в Лейдене. Мне удалось произвести первую серию опытов со светом, получаемым при бомбардировке твердого азота катодными лучами. Эти опыты дали очень ясный эффект, который я ожидал¹⁾.

Лучи от вэнельтовского катода падали на слой твердого азота, образуемого на медной поверхности, охлаждавшейся жидким водородом. Я снял пять спектров (рис. 1), соответствующих различным скоростям катодных лучей. При напряжении в 75 вольт наблюдались только наиболее яркие границы отрицательного полосатого спектра. При 200 вольтах (рис. 1, № 1) появилась также зеленая линия вблизи синей части (N_2) и размытая полоса вблизи желтой части.

Когда потенциал был повышен до 500 вольт, слой азота стал ярко блестящим зеленым и, кроме N_2 , теперь появилась широкая линия или узкая полоса N_1 с большой интенсивностью (рис. 1, № 2). При понижении потенциала до 350 вольт N_1 исчезала (рис. 1, № 3), но при повышении его до 700 вольт (рис. 1, № 4) или 750 вольт (№ 5) интенсивности свечения и в особенности линии N_1 чрезвычайно возрастала²⁾. Линия N_1 доминировала теперь в спектре так же, как зеленая линия (5577) доминирует в спектре северного сияния.

Для того, чтобы составить представление об относительной интенсивности свечения при различных потенциалах следует заметить, что на рис. 1 времена экспозиции спектров равны соответственно 30, 15, 10, 5 и 5 минутам.

При прекращении бомбардировки катодными лучами твердый азот оставался светящимся более чем в течение пяти минут; в связи с этим интересно указать, что послесвечение приблизительно такой же длительности наблюдается также и в северных сияниях. Измерения показали, что зеленая линия северных сияний (5577) расположена в широкой линии N_1 . Линия N_2 , длина волны которой оказалась около 5230 \AA , совпадает со второй слабой зеленой линией спектра северных сияний.

¹⁾ Более полное описание опыта появится в Proc. of the Royal Acad. of Sciences. Amsterdam.

²⁾ Для идентификации линий на рисунке под спектрами твердого азота помещен спектр пониженного неона. *Прим. перев.*

ТАБЛИЦА 1.

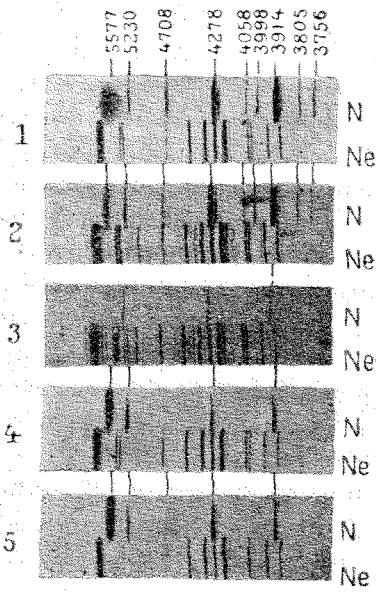


Рис. 1.

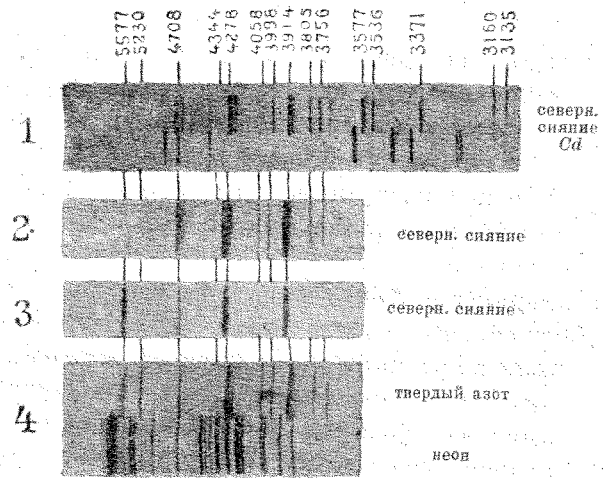


Рис. 2.

На рис. 2 воспроизведены три спектра северных сияний (№№ 1, 2, 3) и один спектр твердого водорода (№ 4). № 1 получен большим кварцевым спектрографом. Другие являются увеличенными копиями спектрограмм, снятых малым стеклянным спектрографом; №№ 1 и 2 сняты на пластинках Imperial Eclipse. № 3 на — панхроматической, № 4 — на ортохромной пластинке.

Совпадение спектров северных сияний и твердого азота не ограничивается зеленой частью; в синей и фиолетовой части кристаллический азот уменьшает число линий, что весьма характерно для спектра северных сияний.

Сравнение показывает, что типичный спектр северных сияний излучается твердым азотом и таким образом моя гипотеза о строении верхних слоев атмосферы подтвердилась.

Значительная скорость катодных лучей, необходимая для получения линии N_1 и N_2 , и очень большая изменчивость их интенсивности — факты весьма замечательные с физической точки зрения; эта изменчивость может помочь понять многие изменения цвета в северных сияниях. Послесвечение показывает, что новый эффект свечения есть род фосфоресценции, но для выяснения его физической природы нужно больше экспериментального материала.

Новый эффект открывает новое поле исследования, одинаково интересное с космической точки зрения и с чисто физической. Более детальное изучение света, излучаемого твердым азотом при различных температурах — до температуры жидкого гелия включительно, может позволить определить точнее интервал температуры в зоне северных сияний и возможно, что при чрезвычайно низкой температуре широкая линия N_1 станет более узкой. Опыты с лучами различных скоростей и с различными носителями могут дать сведения о скоростях и физической природе космических лучей, производящих северные сияния.

Если так же другие газы, т.е. водород, кислород, аргон, неон, аммиак, окислы азота, окись углерода, цианоген и пр., при переводе в твердое состояние дают под действием электрических лучей подобный же эффект свечения как у азота, то мы можем надеяться таким путем объяснить линии туманностей и получить определенные сведения относительно строения туманностей. Может быть, „небулий“ ожидает судьба, постигшая „геокороний“.

Я продолжаю опыты в указанных здесь направлениях в лаборатории Камерлинг-Онесса в Лейдене.

Перевел С. Вавилов.

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

СПЕКТР СЕВЕРНОГО СИЯНИЯ И СТРОЕНИЕ ВЕРХНИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ.

L. Vegard. Das Nordlichtspektrum und die Konstitution der oberen Atmosphärenschicht. *ZS. für Phys.* 16, p. 367 1923

О причинах северного сияния было высказано в свое время много различного рода гипотез и предположений. Опыт Штарка¹⁾ подкрепляет гипотезу, высказанную Фегардом²⁾ в 1917 году, где за возбудителей северного сияния принимаются положительно-заряженные частицы. Но в виду того, что одними положительно-заряженными частицами нельзя объяснить все особенности сияний, а также и многие другие космические явления, то в настоящей работе Фегард принимает, что в образовании северных сияний наряду с электрическими лучами (электронами и положительными частицами) не меньшую роль играют также лучи ультрафиолетовые, рентгеновы лучи и γ -лучи, существование которых в солнечном излучении не исключается. Поведение этих последних станет понятным, если приваить во внимание их большую ионизирующую способность. Эта расширенная гипотеза Фегарда отнюдь не противоречит механической картине северных сияний, развитой математически Штёрмером³⁾ в его многочисленных мемуарах.

Единственным средством, дающим нам возможность вывести какие-либо заключения о физических причинах и способах возникновения северного сияния, является спектр. В отличие от всех других спектров, в спектре северного сияния нас поражает сравнительная бедность линий, обладающих более или менее значительной интенсивностью. До сих пор в спектре северного сияния открыто всего около 35 линий и полос и из них только четыре линии $5577,1-5578,4\text{Å}$, $4182,5\text{Å}$, $3432,7\text{Å}$ и $3208,3\text{Å}$ не удается вполне точно отождествить с линиями известных нам элементов. Так как все остальные линии несомненно принадлежат азоту, то Фегард считает, что и указанные четыре линии также принадлежат азоту, а не гипотетическому геокоронию.

Причину их возникновения Фегард ставит в зависимость как от физического состояния возбуждаемого к свечению азота, так и от методов самого возбуждения. Лабораторное изучение свечения N и смесей $H-N$ и $He-N$ под действием катодных лучей привело Фегарда к заключению, что в верхних слоях атмосферы (выше 100 км) ни водорода, ни гелия, повидимому, не имеется, ибо уже небольшая примесь этих газов к азоту дает характерные для них спектральные линии. Существование же только азота

¹⁾ J. Stark. Über die Natur der Nordlichtstrahlen „Die Naturwissenschaften“ 6 p. 145. 1918. Ср. „Успехи физич. наук“ т. I, стр. 233. 1918.

²⁾ L. Vegard. Jahrbuch d. Rad. u. Elektronik. 14. 1917.

³⁾ C. Störmer. Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève. 4-periode XXIV 1907 C. R., 1908—1910.

А. Н. Крылов. Успехи физич. наук т. I, стр. 1. 1918.

в верхних слоях атмосферы подтверждается тем, что если при возбуждении азота катодными лучами одновременно понижать его температуру, то наблюдается последовательное исчезновение некоторых линий в спектре, и при температуре жидкого воздуха получается, наконец, такой спектр, который по числу линий значительно отличается от спектра азота при комнатной температуре, но зато очень близок (если исключить из рассмотрения наиболее характерную для северного сияния желто-зеленую линию 5577,2 \AA) к спектру северного сияния. Правда, Фегард не удалось в этом опыте получить желто-зеленую линию, но он объясняет это тем, что в лаборатории очень трудно осуществить те условия возбуждения, которые имеются налицо в земной атмосфере.

Главная причина заключается, по его мнению, в том, что в лабораторных условиях мы обычно возбуждаем к свечению газообразный азот, тогда как в действительности в верхних слоях атмосферы азот находится в виде снежной пыли. Фегард высказывает надежду, что при температуре жидкого водорода ему удастся подходящие условия возбуждения осуществить и тогда характерные для северного сияния линии, по его мнению, должны непременно возникнуть. Как известно, в самое последнее время эта надежда оправдалась.

С точки зрения Фегарда строение земной атмосферы таково: до высоты около 100 км она состоит из газообразных азота, кислорода, аргона и т. д. выше 100 км исключительно из снежной пыли, твердого азота и может быть, кислорода, причем центрами сгущения последних могут служить положительно-заряженные частицы или молекулы NH_3 .

Что касается закона распределения всех этих газов по высоте, то для небольших высот применима обыкновенная барометрическая формула

$$d\rho = -\rho g dh = -\frac{gM}{RT} \rho dh \dots \dots \dots (1)$$

где ρ — давление, ρ — плотность, g — ускорение силы тяжести, M — мол. вес. R — газовая постоянная и T — абс. темп.; для больших же высот ее приходится несколько дополнить, чтобы объяснить независимость интенсивности линий северного сияния от высоты. Неоднократно наблюдались такого рода лучи, когда интенсивность света на протяжении нескольких сот км в высоту (от 100—110 км до 400—750 км) почти оставалась постоянной. Поэтому приходится предположить, что, начиная приблизительно с высоты 100 км, плотность атмосферы если и убывает, то очень незначительно. Фегард допускает, что верхние атмосферные слои электрически заряжены; возникающее при этом электрическое поле заставляет заряженные частицы азота перемещаться вверх и тем самым до некоторой степени компенсировать действие силы тяжести.

Формула (2) переходит в

$$d\rho = -(g - zF) dh, \dots \dots \dots (2)$$

где F — электрическая сила и z — электрическая плотность. Так как под влиянием фото-электрического действия солнечного излучения и поля F атмосфера должна была бы непрерывно терять азот, то приходится допустить, что эта потеря компенсируется тем же солнцем.

Простое соображение приводит Фегарда к заключению, что выводимое из формулы (2) дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2\rho}{dr^2} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{d\rho}{dr}\right)^2 + \frac{2}{r} \frac{d\rho}{dr} + \frac{2g\rho}{a^2} - \frac{4\pi z^2}{a} \rho^2 = 0 \dots \dots \dots (3)$$

не подтверждается, если предполагать, что в ионизованном состоянии находятся все молекулы азота. Остается поэтому предположить, что заряженные частицы азота в верхних слоях образованы из большого числа отдельных молекул, конденсированных вокруг электрических зарядов или молекул NH_3 , как ядер.

Смотря по величине и заряду эти частицы азота (в виде мелких кристалликов или замерзшего пара) будут или двигаться вверх, или падать. В последнем случае на известной высоте они начинают плавиться и, превратившись в газ, снова поднимаются вверх, чтобы вновь конденсироваться и т. д.. Плавление частиц может быть вызвано также бомбардировкой замерзшего пара азота электрическими лучами (электронами или положительными частицами). Эти процессы последовательного плавления и замерзания открывают новые возможности для очень простого объяснения изменения окраски сияния — от зеленой вверху до красной на нижней границе сияния. Повидимому, зеленая окраска связана с кристаллической формой азота, красная же с газообразной.

Толщина слоя скопированного азота с удалением от полюсов к экватору растет. Приблизительное суждение о ней можно иметь на основании наблюдений высоты сияния в различных широтах. В областях близких к полюсу эта толщина не превышает, повидимому, 300—350 км, тогда как в Христиании, например, Штёрмер наблюдал сияние просиравшееся в высоту на 700—800 км.

Допущение существования в верхних слоях атмосферы заряженного азота в виде мелких кристалликов позволяет также просто объяснить *a)* голубой цвет неба, *b)* зодиакальный свет, *c)* изменение окраски метеоритов при прохождении сквозь земную атмосферу (вверху — белая или зеленоватая, начиная же с известной высоты — красная), *d)* мерцание неподвижных звезд и немерцание планет, *e)* отражение акустических и электромагнитных волн от верхних атмосферных слоев, *f)* вторичные явления северных сияний и присутствие зеленой линии в свечении ночного неба.

И. Васильев.

БИБ. ЦИОГРАФИЯ.

Walther Gerlach. *Materie, Elektrizität, Energie*. Die Entwicklung der Atomistik in den letzten zehn Jahren. — Verlag von Theodor Steinkopff. Dresden und Leipzig. 1923, pp. 195.

Вальтер Герлах. Материя, электричество, энергия. Развитие атомистики за последние десять лет.

О широте содержания этой интересной книжки можно судить по нижеследующему перечню названий некоторых глав: II. Изотопия. III. Атомные пучки и некоторые атомистические проблемы, решаемые при их помощи (непосредственное определение молекулярных скоростей и средней длины свободного пробега, экспериментальное обнаружение магнитного момента отдельных атомов серебра). V. Разрушение атомного ядра. VI. Элементарное количество электричества. VII. Сверхпроводимость. XIV. Расширение наших знаний об электромагнитном спектре. XV. Фото-электрический эффект. XVIII. Анализ структуры кристаллов при помощи рентгеновых лучей. XIX. Физические основы фотохимии. XX. Свечение при химических реакциях. XXII. Химические реакции, вызванные толчком электронов. XXV. Атомизм и макрокосмос.

Книга написана на основании исчерывающего знания литературы, и немногие физики обладают столь разносторонней эрудицией, как Герлах, чтобы охватить такую обширную область. Развитие атомистики за последние десять лет совершается с бурной интенсивностью («sprunghaft», по определению автора). Физика внедряется все в новые области химии, минералогии, астрономии, техники. Разобраться в огромной литературе для не-специалиста часто крайне затруднительно. И с этой точки зрения следует приветствовать попытку Герлаха изложить эту увлекательную область таким образом, чтобы прийти на помощь прежде всего не-физику: химику, биологу, минералогу, инженеру. Несмотря на сжатость и «насыщенность» изложения, книга написана в высшей степени доступно. И мы уверены, что не только перечисленным группам ученых неспециалистов-физиков, но и всем студентам, педагогам и просто образованным людям она окажет незаменимую услугу в ознакомлении с физической наукой «нынешнего дня».

Э. Шпольский.

G. W. C. Kaye. *The practical Applications of X-Rays*. London, Chapman & Hall 1922. Pp. VIII + 135.

Кэй. Практические применения X-лучей.

P. H. S. Kempton. *The industrial Applications of X-Rays*. London, Sir Isaak Pitman & Sons Ltd. 1922. Pp. XII + 112.

Кемптон. Индустриальные применения X-лучей.

Успехи рентгеновской техники вызвали к жизни новую область применений рентгеновых лучей — индустриальные применения. Очень жесткие лучи, получаемые при помощи современных аппаратов, позволяют фотографировать куски металлов и целые металлические части машин — и открывать в них дефекты, пустоты, трещины и т. д., недоступные обнаружению другим путем. Очень мягкие лучи дают возможность получать необычайно тонкие фотографии деревянных частей, например, аэропланных крыльев; на этих фотографиях с совершенной отчетливостью обнаруживаются все дефекты, неоднородности, плохая склейка и т. д. При помощи рентгеновых лучей исследуются металлические сплавы, исследуется микрокристаллическая структура металлов и влияние на нее различной обработки, развивается рентгеноспектральный анализ (качественный, и даже количественный). Чрезвычайная простота рентгеновских спектров элементов, их полная независимость от химических соединений обещают этому последнему большое будущее¹⁾. Наконец, в самые последние годы начинает развиваться совершенно неожиданная область применения рентгеновых лучей: исследование картин старых мастеров, давшее, например, возможность отличать подлинные картины великих художников от позднейших подделок.

Обе книжки, названия которых выписаны выше, посвящены этим любопытным новым применениям рентгеновых лучей. Обе они написаны популярно и рассчитаны на широкий круг читателей. В особенности книга Кэя написана с обычным для этого автора мастерством и снабжена большим количеством интересных и превосходно выполненных иллюстраций.

Э. Штольский.

С. И. Вавилов. *Действия света*. Серия «Наука и техника». Государственное Издательство. Москва. 1922. Стр. 196.

Многочисленные экспериментальные и теоретические исследования последних лет, в области учения о действиях света, обычно или вовсе остаются неизвестными широкому кругу, либо только мельком излагаются на последних страницах учебников; а между тем, все эти исследования, в настоящее время, занимают центральное место в физике; они укладываются в стройную систему, они все объединяются одной общей идеей атомного строения энергии, — основной идеей теории квантов.

Прекрасная книга С. И. Вавилова заполняет этот пробел, дававший себя чувствовать не только в русской, но и в иностранной научно-популярной литературе.

¹⁾ Здесь стоит напомнить, кстати, открытие гафния и определение его содержания в циркониевых минералах, сделанные именно этим методом (см. статью Ф. Панета. Об элементе 72. У. Ф. Н. т. вып. I).

Она содержит шесть глав: о природе света, о давлении света, о поглощении и дисперсии, о фото-электрическом эффекте, о химических действиях света и, наконец, о рассеянии света, флюоресценции и фосфоресценции.

Целый ряд сложных вопросов, могущих представлять значительные трудности для усвоения широким кругом читателей, — изложен автором в весьма доступной форме и, по возможности, без ущерба для строгости выводов. Ясности и живости изложения способствует еще то обстоятельство, что автор сам работает в этой области.

Если даже справедлив афоризм Фарадея о том, что «популярные книги никогда научить не могут», — афоризм, приведенный автором в предисловии, — то эту книгу все-же пришлось бы считать счастливым исключением.

Вас. Шумейкин.

Pierre Bouguer. *Essai d'optique sur la gradation de la lumière*. (Les maîtres de la pensée scientifique, publiée par les soins de Maurice Solovine). Paris. Gauthier-Villars. 1921 XX + 132 pp.

Пьер Бугер. Опыт о градации света.

Учение о силе света исторически значительно отстало в своем развитии от других областей оптики. В трактатах Ньютона и Гюйгенса были поставлены и в значительной мере разрешены сложные вопросы оптики, о разложении света, о периодичности световых явлений, диффракции, двойном преломлении, поляризации и почти ни слова не говорилось о силе света. Яркость или интенсивность света оценивалась совершенно субъективно. Задача была впервые по настоящему поставлена и блестяще разрешена только после смерти Ньютона Пьером Бугером (1698—1758). Трудно постигнуть основания той упорной исторической несправедливости, с которой до нашего времени законы, совершенно ясно и отчетливо сформулированные Бугером, соединяются с именами других авторов (закон Бееера, законы Ламберта и пр.). Даже в новейшей истории оптики Маха (E. Mach. *Die Prinzipien der physikalischen Optik*, 1921) Бугеру уделено очень скудное место, и не упоминаются его основные достижения. Между тем Бугер дал все принципы фотометрии, которыми мы пользуемся в неизменном виде до сих пор, сформулировал математически (в дифференциальной и интегральной форме) основной закон поглощения света в зависимости от яркости, толщины слоя и концентрации, указал разнообразные методы фотометрии и способы количественного ослабления света (удаление, диафрагмирование, поглощающие среды) и, наконец, разрешил ряд фундаментальных задач фотометрии: определение поглощения атмосферы, распределение яркости света по солнечному диску, сравнение яркости солнечного и лунного света, определение яркости отраженного света в зависимости от угла падения

и пр. В связи с задачами фотометрии Бугер касался и многих вопросов физиологической оптики («закон Вебера-Фехнера», последовательные образы и пр.). Исключительная осторожность Бугера во всякого рода заключениях, тщательность эксперимента и изящная геометрическая обработка математических вопросов отличают все его работы. Во всяком случае имя, Бугера в истории оптики должно стоять на-ряду с именами Ньютона и Гюйгенса.

Новое издание «Опыта» Бугера, появившегося в 1729 г., спустя два года после смерти Ньютона, и, поскольку нам известно, более не переиздававшегося, должно быть особенно отрадно для всех интересующихся историей науки. К сожалению, основания, положенные в издание новой французской серии «классиков научной мысли» (до сих пор появилось 13 номеров и предполагаются к выходу 33), не удовлетворяют элементарным условиям, которые можно предъявлять к современным изданиям классических сочинений. Издания такого рода должны быть точной перепечаткой, или переводом одного определенного издания с сохранением по возможности всех особенностей подлинника. Поскольку издаваемый писатель сравнительно мало известен, должны быть приложены биографические данные и, самое важное, биографический указатель. Переиздание рассчитывается, конечно, на сравнительно широкий круг читателей, ученых, не специализовавшихся в истории науки, или студентов, поэтому неизбежен историко-научный комментарий, составленный специалистом. В реферируемом издании «Опыта» Бугера, кроме самого текста, имеется только очень короткая биографическая справка и табличка перевода старых французских мер в метрическую систему. Примечаний нет совершенно, хотя именно в издании «Опыта» без них обойтись нельзя. В 1760 г., спустя два года после смерти Бугера, аббат де ля Кай (de la Caille) издал большой оптический трактат Бугера, подготовленный последним к печати и являющийся полной, чрезвычайно расширенной переработкой «Опыта» (в трактате VI + 368 стр. большого формата). Значительно увеличилась экспериментальная часть, устранены некоторые гипотетические места, и всему изложению придан безупречный экспериментально-математический характер. Трактат Бугера в этом отношении — классический образец физической книги без гипотез. Во всяком случае, переиздавать нужно было бы именно трактат, в переиздании же «Опыта» необходимо было привести основные изменения. В реферируемом издании существование «Трактата» только констатируется без всякого указания на его особенности.

Конечно, редакционные недочеты издания не умаляют того факта, что недоступный до сих пор «Опыт» Бугера стал доступным для многих. Надо надеяться, что в связи с этим пробудится интерес к личности Бугера и его научному наследию.

С. Васильев.