

И.И. Боргман

Новые идеи в физике

Вып. 1. Строение вещества

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
И11

И.И. Боргман
И11 Новые идеи в физике: Вып. 1. Строение вещества / И.И. Боргман – М.: Книга по Требованию, 2022. – 136 с.

ISBN 978-5-458-34081-6

Издание сборников «Новые идеи в физике» имеет целью ознакомление читателей с различными современными воззрениями по наиболее важным вопросам в физике. Каждый отдельный выпуск будет посвящен выяснению одного или двух вопросов и будет заключать в себе статьи, в которых авторы рассматривают эти вопросы с различных точек зрения. Настоящий, первый выпуск составлен из статей, касающихся основ наших знаний о явлениях природы — учения о строении вещества.

ISBN 978-5-458-34081-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2022

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2022

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Броуновское движеніе и молекулы *).

Ж. Перренъ.

I.

1. Когда мы разсматриваемъ жидкость, находящуюся въ равновѣсін, — напимѣрь, воду въ стаканѣ, — то всё части этой жидкости кажутся намъ совершенно неподвижными. Если мы помѣстимъ въ жидкость болѣе плотный предметъ, то этотъ предметъ, если онъ — сферическій, падаетъ точно по вертикальному направленію и въ концѣ концовъ всегда достигаетъ дна сосуда. Наконецъ, мы знаемъ, что, когда этотъ предметъ находится на двѣ сосуда, онъ уже не поднимается; это явленіе можетъ служить даже выраженіемъ принципа Карно (*невозможность perpetuum mobile второго рода*).

Эти, столь знакомыя намъ, понятія годны, однако, лишь для величинъ того масштаба, въ какому привыкъ нашъ организмъ; въ самомъ дѣлѣ, достаточно наблюдать при помощи микроскопа маленькія частицы, находящіяся въ какой-нибудь жидкости, чтобы замѣтить слѣдующее:

*) Докладъ, прочитанный во „Французскомъ физическомъ обществѣ“ 15 апрѣля 1909 г.

каждая изъ этихъ частицъ, вмѣсто того, чтобы пріобрѣсти, въ соотвѣтствіи со своей плотностью, правильное движеніе, паденія или подъема, оказывается, напротивъ, вовлеченной въ совершенно неправильное движеніе. Она движется взадъ и впередъ, останавливается, опять отиравляется въ путь, *поднимается*, опускается, *снова поднимается* и отнюдь не стремится прійти въ неподвижное состояніе.

Такому движенію дано названіе *Броуновское движеніе*; это названіе дано въ честь естествоиспытателя Броуна, который замѣтилъ его въ 1827 году и убѣдился, что взвѣшенныя внутри жидкости частицы движутся тѣмъ оживленнѣе, чѣмъ онѣ меньше.

Возможно показать это явленіе объективно, хотя проектировать его на экранѣ вообще трудно. Полезно дать указанія на тѣ предосторожности, которыя позволяютъ получить наилучшій результатъ. Внутри взятой для наблюденія жидкости проектируютъ изображеніе электрической дуги (или, лучше, солнца), задерживая при этомъ при помощи водяной ванны весьма значительную часть темныхъ тепловыхъ лучей. Лучи, отраженные взвѣшенными частицами, проходятъ, какъ при прямомъ наблюденіи, черезъ иммерзійный объективъ и сильно увеличивающій окуляръ и затѣмъ приводятся къ горизонтальному направленію призмой съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ такъ, чтобы дать изображеніе зеренъ на экранѣ изъ матоваго стекла, по другую сторону котораго находятся зрители; экранъ предпочтительнѣе разлинованный клѣтками, чтобы на немъ были замѣтные для глаза пункты. При употребленіи прозрачнаго матоваго экрана свѣтъ используется лучше, чѣмъ при обыкновенномъ разсѣивающемъ экранѣ, такъ какъ при такомъ экранѣ значительная часть свѣта направляется туда, гдѣ нѣтъ ни одного зрителя. Линейное увеличеніе микроскопа можетъ быть доведено до 10.000.

Но самую большую важность представляетъ выборъ под-

ходящей для опыта эмульсии. Въ тѣхъ немногихъ попыткахъ проектированія, какія дѣлались до сихъ поръ, діаметръ зеренъ былъ по величинѣ порядка одного микрона, и изображенія такихъ зеренъ оказывались съ трудомъ доступными для воспріятія на разстояніи, превышающемъ 3 метра (по крайней мѣрѣ, при свѣтѣ дуги). Менѣе крупныя зерна видны еще хуже, и остается прійти къ выводу, что лучше проектировать крупныя зерна, а не мелкія. Правда, у первыхъ движеніе слабѣе, но оно все-таки еще вполне достаточно для того, чтобы можно было различить существенныя черты явленія.

Нужно, стало быть, умѣть приготовить частицы съ діаметромъ въ нѣсколько микроновъ; это желательно равнымъ образомъ и въ цѣляхъ собственно экспериментальнаго изученія Броуновскаго движенія. Я изложу сейчасъ, какимъ путемъ мнѣ удалось получить крупныя сферическія зерна гуммигута и мастики. При такихъ зернахъ въ большой залѣ, въ которую тщательно прегражденъ доступъ посторонняго свѣта, можно замѣтить Броуновское движеніе даже на разстояніи 8 или 10 метровъ отъ экрана.

2. Въ первое время это замѣчательное движеніе привлекло къ себѣ мало вниманія. Кромѣ того, оно долго оставалось неизвѣстнымъ большинству физиковъ, и можно предполагать, что тѣ, кто слыхалъ о немъ, считали его аналогичнымъ движенію пылинокъ, которыя мы видимъ кружащимися въ лучахъ солнца подѣ дѣйствіемъ слабыхъ теченій воздуха, вызываемыхъ небольшими различіями въ упругости и температурѣ.

Трудно установить съ точностью, какъ появилась впервые и какъ развилась гипотеза, которая основу Броуновскаго движенія видитъ въ движеніи молекулъ. Первое имя, которое умѣстно назвать, говоря объ этомъ, есть, быть можетъ, имя Венера. Этотъ ученый угадалъ почти на первыхъ порахъ развитія кинетической теоріи теплоты, что

молекулярныя движенія могли бы дать объясненіе занимающаго насъ здѣсь явленія (1863 г.).

Спустя нѣкоторое время (около 1880 г.) братья Дельсо, Карбонельи Тиріонъ, напечатали нѣсколько замѣтокъ о „Термодинамическомъ происхожденіи Броуновскихъ движеній“ Въ этихъ замѣткахъ встрѣчаются весьма замѣчательныя указанія. „Въ случаѣ поверхности, обладающей достаточнымъ размѣромъ,—говорятъ эти авторы,—молекулярныя столкновенія, причина давленія, не производятъ никакихъ колебаний взвѣшеннаго тѣльца, такъ какъ въ совокупности такіе удары одинаково толкаютъ это тѣльце по всѣмъ направленіямъ. Но если поверхность не настолько велика, чтобы быть въ состояніи обезпечить уравниженіе всѣхъ неправильностей, то необходимо будетъ допустить существованіе давленій, не равныхъ и непрерывно измѣняющихся отъ одного мѣста къ другому; давленія эти законъ большихъ чиселъ уже не приводитъ болѣе къ однообразію, и равнодѣйствующая ихъ уже не будетъ равняться нулю, но будетъ постоянно мѣняться и по своей напряженности, и по своему направленію. Далѣе, неравенства будутъ становиться все болѣе и болѣе замѣтными по мѣрѣ того, какъ мы будемъ брать все меньшее и меньшее тѣло, и въ то же время колебанія его будутъ становиться все болѣе и болѣе рѣзкими“...

Къ сожалѣнію, эти мысли остались мало извѣстными. Кажется, что онѣ и не сопровождались какими-либо опытными данными, достаточными для подтвержденія того, до извѣстной степени поверхностнаго объясненія, которое было только-что приведено. Вслѣдствіе этого, предложенная теорія не завоевывала себѣ признанія у тѣхъ, кому она могла быть извѣстна.

Совершенно обратно работы *Гуи* (1888 г.) доказали не только то, что гипотеза движенія молекулъ давала для Броуновскаго движенія пріемлемое объясненіе, но еще и то, что

нельзя было бы вообразить себѣ какую-либо другую причину этого движенія. Влестящія изслѣдованія Гуи тотчасъ же пріобрѣли широкую извѣстность, и только съ этого времени Броуновское движеніе заняло мѣсто среди важныхъ вопросовъ общей физики.

Во-первыхъ, Гуи установилъ, что Броуновское движеніе не обусловлено сотрясеніями, получаемыми жидкостью, ибо, напримѣръ, ночью и въ деревенской тиши оно наблюдается такъ же хорошо, какъ и днемъ вблизи людной улицы, по которой проѣзжаютъ тяжелыя повозки. Это движеніе не обусловлено также и конвекціонными токами, возникающими въ жидкостяхъ при отсутствіи термическаго равновѣсія, ибо оно не мѣняется замѣтно и тогда, когда наблюдатель потратитъ множество усилій, чтобы добиться такого равновѣсія. Такимъ образомъ, нужно отказаться отъ всякихъ сравненій между Броуновскимъ движеніемъ и движеніемъ пылинокъ, толкущихся въ солнечныхъ лучахъ. Именно въ этомъ послѣднемъ случаѣ легко видѣть, что сосѣднія пылинки, въ общемъ, движутся въ одномъ направленіи, намѣчая грубо общую форму увлекающаго ихъ потока, и напротивъ, одной изъ самыхъ яркихъ особенностей Броуновскаго движенія является абсолютная независимость перемѣщеній двухъ сосѣднихъ частицъ, какъ-бы близко ни проходили онѣ одна возлѣ другой. Наконецъ, нельзя заподозрить здѣсь и неизбежное освѣщеніе препарата, ибо Гуи удавалось сразу уменьшать освѣщеніе въ тысячу разъ, ничуть не измѣняя этимъ наблюдаемое явленіе. Всѣ другія причины, какія можно было послѣдовательно предположить здѣсь, производили такъ же мало дѣйствія; казалось, что и самая природа частицъ не имѣетъ никакого значенія, а отсюда не трудно было прійти къ заключенію, что частицы служатъ только указателемъ внутреннихъ движеній въ жидкости и дѣлаютъ это тѣмъ лучше, чѣмъ онѣ—мельче, вѣдь, и пробка лучше, чѣмъ большое судно, слѣдуетъ за движеніями морскихъ волнъ.

Такимъ образомъ, здѣсь проявляется основное, вѣчное свойство того, что мы называемъ жидкостью въ состояніи ея равновѣсія. Такое равновѣсіе существуетъ только, какъ нѣчто среднее, и лишь для большихъ массъ; это — равновѣсіе статистическое. Въ действительности вся жидкость непрерывно и вполне неопредѣленно возмущается движеніями, тѣмъ болѣе интенсивными, чѣмъ меньше тѣ части жидкости, которыя захватываются этими движеніями. Такимъ образомъ, идея статистическаго равновѣсія жидкости вполне иллюзорна.

3. Итакъ, здѣсь передъ нами движеніе, которое продолжается неопредѣленно безъ внѣшней причины. Ясно, что это движеніе не стоитъ въ противорѣчіи съ принципомъ сохраненія эвергіи. Достаточно, чтобы всякое приращеніе скорости зерна сопровождалось охлажденіемъ жидкости въ непосредственной близости къ этому зерну, и равнымъ образомъ, всякое уменьшеніе скорости сопровождалось мѣстнымъ нагрѣваніемъ; мы приходимъ къ заключенію, что и термическое равновѣсіе, въ свою очередь, есть лишь равновѣсіе статистическое. Но слѣдуетъ замѣтить,—и эта крайне важная идея принадлежитъ также Гуи,—что Броуновское движеніе не можетъ быть согласовано съ тѣми очень опредѣленными формулировками, какія слишкомъ часто даютъ принципу Карно. Напримѣръ, достаточно прослѣдить въ водѣ, находящейся въ термическомъ равновѣсіи, за частицею, болѣе плотною, чѣмъ вода, и мы увидимъ, что въ извѣстные моменты эта частица самопроизвольно поднимается, преобразовывая такимъ путемъ въ работу часть теплоты окружающей среды. Значитъ, нельзя уже говорить, что *perpetuum mobile* второго рода—невозможно, а надо сказать: „Въ предѣлахъ тѣхъ величинъ, какія представляютъ для насъ интересъ практически, *perpetuum mobile* второго рода, въ общемъ, настолько незначительно, что было бы неразумно принимать его во вниманіе“. Впрочемъ, подобныя ограниченія уже давно были предложены, и я напоминаю того „демона“, котораго

создала фантазія Максвелля, и который, будучи достаточно ловкимъ, чтобы успѣвать схватывать отдѣльныя молекулы, заставляетъ по произволу теплоту переходить, безъ работы, изъ области холодной въ область теплую. Однако, до тѣхъ поръ, пока ограничивались лишь участіемъ невидимыхъ молекулъ, было возможно, при отрицаніи существованія такихъ молекулъ, вѣрить въ совершенную непреложность принципа Карно. Такая вѣра являлась бы уже неразумной теперь, когда эта непреложность оказывается въ противорѣчій съ *ощутимой дѣйствительностью*. Впрочемъ, практическая важность принципа Карно этимъ не поблела, и, думаю, мнѣ нѣтъ нужды увѣрять, что было бы неблагоприятно разсчитывать на Броуновское движеніе въ цѣляхъ поднятія камней, предназначенныхъ для постройки дома.

4. Вернемся къ молекулярной гипотезѣ. Какъ извѣстно, допущеніе этой гипотезы тотчасъ же заставляетъ, въ виду различныхъ соображеній изъ области химіи и, въ особенности, въ виду явленій замѣщенія, признать и существованіе атомовъ. Когда, на примѣръ, мы растворяемъ въ водѣ кальцій, то мы выгоняемъ только половину того водорода, который содержитъ вода. Водородъ этой воды, стало быть, и водородъ каждой молекулы состоитъ, слѣдовательно, изъ двухъ различныхъ частей. Ни одинъ опытъ не приводитъ къ различенію большаго числа частей, и потому есть основаніе думать, что обѣ эти части не могутъ быть разсѣчены никакими химическими средствами, что онѣ, однимъ словомъ, суть *атомы*. Съ другой стороны, всякая масса воды, а слѣдовательно, и всякая молекула воды вѣситъ въ 9 разъ больше, чѣмъ содержимый ею водородъ; молекула воды, содержащая 2 атома водорода, вѣситъ, значитъ, въ 18 разъ больше, чѣмъ атомъ водорода. Подобнымъ же образомъ можно установить, на примѣръ, что молекула метана вѣситъ въ 16 разъ больше, чѣмъ тотъ же атомъ водорода.

Такъ, идя чисто химическимъ путемъ и пользуясь понятіемъ атома, можно получить отношеніе вѣса молекулы метана къ вѣсу молекулы воды, какъ 16 : 18.

Между тѣмъ, это отношеніе 16 : 18 есть какъ разъ отношеніе массы метана и массы паровъ воды, когда объ эти массы занимаютъ въ газообразномъ состояніи одинаковые объемы при одинаковыхъ условіяхъ температуры и давленія. Такъ какъ и масса метана, и масса паровъ воды находятся въ томъ же отношеніи, что и молекулы обоихъ тѣлъ, то, очевидно, объ массы содержатъ одинаковое число молекулъ. Этотъ результатъ получаетъ общее значеніе для различныхъ газовъ, и такимъ образомъ мы экспериментальнымъ путемъ находимъ знаменитую гипотезу, высказанную около вѣка назадъ Авогадро и немного позднѣе снова выдвинутую Амперомъ:

„Два какихъ-либо газа, взятые въ одинаковыхъ условіяхъ температуры и давленія, содержатъ въ одинаковомъ объемѣ одно и то же число молекулъ“.

Массу какого-либо тѣла, которая въ газообразномъ состояніи занимаетъ тотъ же объемъ, что и два грамма водорода, взятые при тѣхъ же температурѣ и давленіи, — называютъ граммъ-молекулою этого тѣла. Значитъ, законъ Авогадро равносильенъ слѣдующему положенію:

Два какія либо граммъ-молекулы содержатъ одинаковое число молекулъ.

Это неизмѣнное число N является универсальной постоянной, которую, мнѣ кажется, справедливо назвать постоянной Авогадро. Если бы эта постоянная была извѣстна, то были бы извѣстны масса любой молекулы и масса любого атома. Вѣсъ молекулы воды, на примѣръ, равняется $\frac{18}{N}$; вѣсъ молекулы кислорода равняется $\frac{32}{N}$ и т. д.; также точно вѣсъ атома кислорода, получаемый путемъ дѣленія на N граммъ-

атома кислорода, составляет $\frac{16}{N}$; всё атома водорода будет $\frac{1,008}{N}$ и т. т.

5. Нетрудно видѣть, кромѣ того, что опредѣленіе постоянной Авогадро дало бы намъ среднюю кинетическую энергію поступательнаго движенія различныхъ молекулъ. Остановимся подробнѣе на этомъ важномъ вопросѣ.

Если жидкость состоитъ изъ одинаковыхъ молекулъ, находящихся въ непрерывномъ движеніи, то давленіе этой жидкостью, оказываемое на стѣнки сосуда, въ которомъ она находится, объясняется ударами ея молекулъ объ эти стѣнки; для случая газа (въ которомъ молекулы расположены въ большомъ разстояніи другъ отъ друга) можно, слѣдуя рассужденіямъ Джоуля, Клаузіуса и Максвелла, показать, что изъ такого представленія вытекаетъ точное соотношеніе:

$$pv = \frac{2}{3} n\omega,$$

гдѣ p обозначаетъ давленіе, которое n молекулъ, обладающихъ каждая средней кинетическою энергіей ω , развиваютъ въ объемѣ v .

Для граммъ-молекулы n становится равнымъ N и pv — равнымъ RT , причѣмъ T есть абсолютная температура, а R — постоянная идеальныхъ газовъ ($83,2 \cdot 10^6$ въ системѣ единицъ *C.G.S.*); тогда предыдущее уравненіе принимаетъ видъ

$$\frac{2}{3} N\omega = RT,$$

или

$$\omega = \frac{3}{2} \frac{R}{N} T.$$

Но N имѣетъ одинаковую величину для всѣхъ тѣлъ. Поэтому и молекулярная энергія поступательнаго движенія

вмѣсть для всѣхъ газовъ одну и ту же среднюю величину, пропорціональную абсолютной температурѣ,

$$w = \alpha T.$$

Постоянная α (ее можно назвать постоянной молекулярной энергіи), равная $\frac{3R}{2N}$, является, подобно N , универсальной постоянной.

6. Мы получаемъ еще третью универсальную постоянную. Эта постоянная обнаруживается при изученіи явленій электролиза. Какъ извѣстно, *разложеніе* электрическимъ токомъ граммъ-молекулы даннаго электролита сопровождается всегда перенесеніемъ одного и того же количества электричества; это объясняютъ, принимая, что во всякомъ электролитѣ, находящемся въ растворѣ, часть молекулъ диссоціирована на подвижные *іоны*, являющіеся носителями опредѣленныхъ электрическихъ зарядовъ; если мы назовемъ *фарадеемъ* количество электричества F (96.550 кулоновъ), которое переносится чрезъ растворъ при разложеніи одной граммъ-молекулы соляной кислоты, то, какъ извѣстно, разложеніе граммъ-молекулы какого-либо другаго вещества сопровождается переходомъ цѣлаго числа фарадеевъ, и слѣдовательно, всякій іонъ переноситъ зарядъ, равный заряду водороднаго іона, взятому цѣлое число разъ. Этотъ зарядъ водороднаго іона, обозначаемый e , представляется такимъ образомъ недѣлимымъ и образуетъ атомъ электричества или электронъ.

Эту универсальную постоянную мы опредѣлимъ, если будемъ знать N или α , ибо мы имѣемъ:

$$Ne = F,$$

т. е. въ электростатическихъ единицахъ C.G.S.:

$$Ne = 96550.3 \cdot 10^9 = 29.10^{12},$$

такъ какъ въ состояніи іоновъ граммъ-атомъ водорода, или иначе, N атомовъ водорода переносятъ одинъ фарадей. Такимъ образомъ сразу получаютъ всѣ три универсальныя постоянныя N , e , α . Можно ли достичь этого?