

М. ф. Смолуховскій.

(Marian v. Smoluchowski).

(НЕБРОЛОГЪ).

Пятаго сентября 1917 года во время эпидеміи дизентеріи въ Краковѣ умеръ 45-ти лѣтъ знаменитый физикъ Смолуховскій.

Онъ былъ одинъ изъ тѣхъ современныхъ выдающихся физиковъ—Ланжевенъ (Langevin), Перренъ (Perrin), Смолуховскій (Smoluchowski) и Эйнштейнъ (Einstein).—принадлежащихъ одному и тому же поколѣнію, которые предприняли переработку всѣхъ основныхъ принциповъ физики и применили непосредственно къ предшествующему поколѣнію великихъ физиковъ (Boltzmann, H. A. Lorentz, Planck, Poincaré, Rayleigh и J. J. Thomson).

XIX-ое столѣтіе можно назвать столѣтіемъ торжества термодинамики; все міровоззрѣніе, всѣ объясненія явленій природы стараются свести къ основнымъ принципамъ сохраненія энергіи и увеличенія энтропіи; подраздѣляютъ всѣ явленія природы на обратимыя и необратимыя, къ первымъ непосредственно приложимы принципы термодинамики, которые признаются непогрѣдимыми, напр., считаютъ, что всякое явленіе, протекающее въ природѣ, сопровождается всегда увеличеніемъ энтропіи и только въ крайнемъ случаѣ постоянствомъ ея. Работа термодинамиковъ въ концѣ XIX столѣтія направляется на изученіе необратимыхъ процессовъ и въ этомъ направленіи особенно важными являются изслѣдованія недавно умершаго физика Дюгема (Duhem).

Но термодинамика, которая имѣла такой огромный успѣхъ при изученіи физической и физикохимической статистики, натолкнулась на непреодолимыя затрудненія при изученіи кинетики явленій природы. Кромѣ того, дѣльный рядъ данныхъ относительно диффузіи газовъ, внутренняго тренія и теплопроводности газовъ, вызывали уже въ концѣ XIX столѣтія постановку общихъ вопросовъ и давали массу новыхъ фактовъ, которые никакими способами не могли быть объяснены одними принципами термодинамики. Для этихъ явленій молекулярная физика давала простыя количественныя объясненія. Первая работа Смолуховскаго въ 1898 году и относится къ этимъ вопросамъ; онъ изучаетъ скачекъ температуры при переходѣ отъ теплой стѣнки къ газу, скачекъ этотъ является тѣмъ болѣе сильнымъ, чѣмъ давленіе газа меньше. Этотъ скачекъ температуры объясняется кинетической теоріей газовъ; точныя измѣренія распредѣленія температуры въ зависимости отъ разстоянія отъ нагрѣтой стѣнки, которыя были произведены въ 1910 году Лазаревымъ, позволяютъ непосредственно вычислить свободный путь молекулъ газа; термодинамика же не въ состояніи объяснить этого явленія.

Болѣе яркимъ, можно сказать, рѣшительнымъ ударомъ, нанесеннымъ термодинамикѣ, явились работы надъ Броуновскими движеніями мельчайшихъ частицъ. Уже въ концѣ XIX столѣтія Гуи (Gouy) далъ общую теорію, по которой Броуновскія движенія являются результатомъ молекулярныхъ толчковъ о частицы, и показалъ, что эти движенія выводятся изъ принципа равенства распредѣленія энергіи. Это утверждение казалось невѣроятнымъ; цѣлый рядъ физиковъ говорили, что при такомъ объясненіи Броуновскихъ движеній получались бы гораздо болѣе слабыя движенія частицъ, чѣмъ тѣ, которыя наблюдаются. Смолуховскій явился первымъ, который въ рядѣ работъ, начиная съ 1905 года, вычислилъ скорость движенія микроскопическихъ частицъ и ихъ среднее перемѣщеніе въ данный промежутокъ времени; онъ показалъ, что перемѣщенія частицы по одной оси X во время t равны:

$$X = \frac{R \cdot T}{N} \cdot \frac{t}{3\pi r \eta}$$

гдѣ R константа газовъ $= 8,32 \cdot 10^7$ (С. Г. С.), T —абсолютная температура, N —число молекулъ въ одной граммъ-молекулѣ тѣла (число Avogadro $= 6,1 \cdot 10^{23}$), r —радіусъ частицы и η —вязкость жидкости.

Смолуховскій показалъ также, что коэффициентъ диффузіи D равенъ:

$$D = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{6\pi r \eta}$$

Эти формулы были затѣмъ выведены другими способами Эйнштейномъ въ 1906 и Ланжеврономъ въ 1908 годахъ.

Классическіе опыты Перрена и его учениковъ, а затѣмъ и цѣлаго ряда другихъ изслѣдователей дали блестящія подтвержденія этихъ формулъ, выведенныхъ на основаніи кинетической теоріи и заложили твердую основу новому теченію молекулярной физики.

Такимъ образомъ, былъ поставленъ на очередь вопросъ о пересмотрѣ основныхъ принциповъ термодинамики и въ особенности второго принципа—увеличенія энтропіи. Дѣятельность Смолуховскаго была полностью сосредоточена на этихъ капитальныхъ вопросахъ. Онъ показалъ въ 1908 году, что явленія помутненія жидкостей и смѣсей жидкостей вблизи отъ критической температуры стоятъ въ количественной зависимости отъ сжимаемости этихъ жидкостей и вызываются тѣми мельчайшими измѣненіями концентрацій молекулъ, которыя постоянно образуются въ жидкости вслѣдствіе движенія молекулъ. Также и синий цвѣтъ неба объясняется количественно постояннымъ образованіемъ подобныхъ же центровъ сгущенія молекулъ, происходящихъ отъ того, что молекулы постоянно движутся, и случайнымъ образомъ то въ одномъ, то въ другомъ мѣстѣ получается скопленіе молекулъ или же разжиженіе ихъ. Теорія вѣроятности позволяетъ вычислить, сколько такихъ центровъ образуется въ данный моментъ въ опредѣленномъ объемѣ воздуха, и отсюда ясно, что можно вывести диффузію свѣта и вычислить интенсивность синяго цвѣта неба. Опыты, сдѣланные въ Швейцаріи на горахъ двумя учениками Langelvin и Perrin—Вагнеръ и Moulin, вполне подтвердили эти теоретическія вычисленія Смолуховскаго; весьма тонкій и проникательный экспериментаторъ, молодой физикъ Moulin, только что назначенный профессоромъ въ Безансонѣ, былъ убитъ въ первыя недѣли войны.

Образованіе подобныхъ центровъ сгущенія и разжиженія молекулъ,

которое объясняло такъ полно синій цвѣтъ неба и помутненіе жидкостей вблизи критическаго состоянія, могло наблюдаться непосредственно.

Два рода явленій позволяло производить подобныя наблюденія: съ одной стороны наблюденія, подъ ультрамикроскопомъ числа коллоидальныхъ частицъ, которыя въ ряду равныхъ короткихъ промежутковъ времени находятся въ опредѣленномъ объемѣ; съ другой стороны, наблюденія надъ распадомъ радиоактивныхъ тѣлъ, въ которыхъ можно слѣдить и записывать, какъ отдѣльныя молекулы одна за другой распадаются, выдѣляя изъ себя частицы α , т. е. атомы гелія, заряженные положительно. Первый методъ употребленъ былъ Th. Svedberg'омъ надъ коллоидальнымъ золотомъ, второй методъ — m-иe Curie вмѣстѣ съ Debiern'омъ и ихъ учениками.

Смолуховскій показалъ, что если въ данномъ объемѣ среднее количество молекулъ при равномерномъ распредѣленіи должно быть равно величинѣ v , то вѣроятность, чтобы въ этомъ объемѣ получилось количество молекулъ, равное n , — равна:

$$W(n) = \frac{v^n e^{-v}}{n!},$$

если взять относительное сгущеніе $\delta = \frac{n - v}{v}$, то средній квадратъ этого сгущенія будетъ равенъ

$$\overline{\delta^2} = \frac{1}{v}.$$

Въ опытахъ Svedberg'a числа частицъ коллоидальнаго золота, находящіяся каждыя $\frac{1}{39}$ минуты въ данномъ объемѣ жидкости, распредѣляются слѣдующимъ образомъ:

0 частицъ.	111 разъ.
1 " 	168 "
2 " 	130 "
3 " 	69 "
4 " 	32 "
5 " 	5 "
6 " 	1 "
7 " 	1 "

отсюда вычисляется средній квадратъ сгущенія $\overline{\delta^2} = 0,637$, теорія же Смолуховскаго даетъ $\overline{\delta^2} = 0,645$, подтвержденіе, можно сказать, блестящее.

Эти соображенія приводятъ, очевидно, къ большимъ обобщеніямъ. Становится яснымъ, что всѣ явленія, которыя мы наблюдаемъ, обыкновенно являются только средними данными; на самомъ дѣлѣ происходятъ въ природѣ постоянныя колебанія вокругъ этихъ среднихъ; колебанія эти происходятъ какъ во времени такъ и въ пространствѣ; напр., температура даннаго объема газа или жидкости постоянно колеблется, то повышаясь, то понижаясь, температура мѣняется отъ одного мѣста къ другому, и эти колебанія будутъ тѣмъ болѣе замѣтны, чѣмъ меньше мы будемъ брать разсматриваемый объемъ. Также и давленіе даннаго объема газа есть только кажущаяся постоянная

величина; если наблюдать давленіе въ достаточно малыхъ частичныхъ объ-
емахъ, то она будетъ постоянно колебаться, то повышаясь, то понижаясь.

Вообще если величина E означаетъ отклоненіе отъ средняго состоянія,
то вѣроятность получить состояніе, заключающееся между E и $E + dE$, дано
формулой:

$$W(E)dE = A \cdot e^{-\frac{N}{RT} \cdot \chi(E)} \cdot dE.$$

Въ этой формулѣ, полученной Смолуховскимъ, A есть постоянная, N —
число Avogadro, $\chi(E)$ выражаетъ работу для перехода отъ средняго со-
стоянія къ положенію съ отклоненіемъ E .

Итакъ, мы видимъ, что если разсматривать міръ съ точки зрѣнія микро-
космоса, то энтропія можетъ одинаково увеличиваться, или уменьшаться,
теплота можетъ одинаково переходить отъ теплаго тѣла къ холодному и об-
ратно, молекулы могутъ одинаково двигаться отъ болѣе концентрированныхъ
частей къ менѣе концентрированнымъ и обратно,—вообще всѣ явленія при-
роды представляются намъ обратимыми, нужно только имѣть терпѣніе выждать
достаточно долгое время и наблюдать возможно малые объемы. Такъ, напр.,
Смолуховскій вычисляетъ, сколько времени надо было бы ждать, чтобы
въ объемѣ, равномъ одному кубическому сантиметру, заключающемъ смѣсь по-
ровну кислорода и азота, въ одной половинѣ накопилось бы на 1% больше
кислорода, чѣмъ въ другой, вслѣдствіе беспорядочнаго движенія молекулъ,

и находить, что это время равно 10^{10} секундамъ. Если же взять объемъ, по-
добный тѣмъ, который наблюдаютъ въ ультрамикроскопѣ, т-е. $(0,2\mu)^3$ то,
подобное отклоненіе въ размѣщеніи молекулъ кислорода наблюдалось бы одинъ
разъ въ каждыя 10^{-9} секундъ.

Второй принципъ термодинамики представляется, такимъ образомъ, только
удобнымъ фактическимъ правиломъ, пригоднымъ только для нашего макро-
космоса и не соответствующаго явленіямъ природы при ихъ тонкомъ анализѣ.

Мы видимъ, какое важное значеніе имѣли работы такъ преждевременно
погибшаго физика Смолуховскаго, который способствовалъ вмѣстѣ съ
его сверстниками преобразованію всего нашего философскаго міросозерцанія.

Викторъ Анри.