14. Новая систематика аггрегатныхъ состояній матеріи [1] и основной законъ дисперсоидологіи.

П. П. фонъ-Веймарна.

(Доложено 17-го Сентября).

I.

Векторіальность молекулярныхъ силъ притяженія.

Въ твердомъ кристаллическомъ состояніи притягательныя молекулярныя силы достигаютъ наиболѣе рельефнаго проявленія и вмѣстѣ съ тѣмъ наиболѣе отчетливо обнаруживается векторіальность свойствъ именно въ твердыхъ кристаллическихъ системахъ.

Векторіальность свойствъ твердаго кристалла заставляетъ признать и векторіальность притягательныхъ молекулярныхъ силъ.

Если принять наоборотъ, что напряженіе притягательныхъ молекулярныхъ силъ не векторіально, т. е. принять, что это напряженіе во всѣхъ направленіяхъ пространства одинаково, то при кристаллизаціи мы могли бы наблюдать только ростъ твердыхъ изотропныхъ шаровъ, а не ростъ многогранниковъ одного изъ 32 видовъ симметріи.

Такіе, способные къ росту твердые шары представляли бы, съ обычныхъ [2] точекъ зрѣнія геометрической кристаллографіи 33 видъ симметріи, именно видъ „безконечной“ симметріи.

Противъ существованія такого „аморфнаго“ твердаго состоянія я категорически и высказывался въ своихъ прежнихъ статьяхъ.

Кромѣ этого логически мыслимаго „аморфнаго“ состоянія подразумѣвается еще какое-то хаотически безформенное твердое аморфное состояніе, не способное къ росту (Браунсъ, Леманнъ и мн. др.).

Доказать несуществованіе такого логически совершенно невѣроятнаго состоянія, (если поставить себѣ столь неблагодарную задачу) можно только путемъ установленія существованія явленія роста веществъ, называемыхъ „аморфными“.

На болѣе, чѣмъ 200 аморфныхъ системахъ, я могъ убѣдиться [1], что онѣ представляютъ мелкокристаллическія системы, зерна которыхъ растутъ и даютъ ясные кристаллы, поэтому я категорически отрицаю и не способное къ росту хаотически безформенное аморфное состояніе. Что же касается отрицанія твердаго „аморфнаго“ состоянія „безконечной“ симметріи, то такое отрицаніе какъ показалъ, напр., В. В. Никитинъ, является необходимымъ требованіемъ геометрической кристаллографіи.

Такимъ путемъ необходимо прійти къ заключенію, что „аморфнаго“ твердаго состоянія какъ способнаго къ росту, такъ и не способнаго къ нему, реально не существуетъ.

Въ моей теоріи векторіальности я иду, однако, дальше отрицанія твердаго „аморфнаго“ состоянія, которое уже давно отрицалъ М. Л. Франкенгеймъ; именно, я еще утверждаю, что газообразно-жидкое состояніе матеріи не абсолютно аморфно, resp., что молекулы жидкостей и газовъ ни по напряженію притягательныхъ силъ, ни по своему строенію не обладаютъ „безконечной“ симметріей.

---

[1]) См. также П. П. фонъ-Веймарнъ. Kolloid-Zeitschr. **2**, 83, 200—201 (1907—1908); **3**, 168 (1908); **6**, 32—38, 209—213, 307—311 (1910); **7**, 96, 256—265 (1910). Kolloidchem. Beihefte **I**, 331—374 (1910). **4** 65—100 (1912). Grundzüge d. Dispersoidchemie Dresden 1911. Verlag von Theodor Steinkopff, стр. 115—118.

[2]) О „безконечной“ симметріи очевидно можно говорить лишь условно, разсматривая молекулы какъ математическія точки.

[1]) П. П. фонъ-Веймарнъ. Koll. Zeitschr. **2**—**8** (1907—1911). Grundzüge der Dispersoidchemie. Dresden 1911. Verlag von Theodor Steinkopff.

Съ перваго взгляда кажется будто очень легко доказать, что жидкости (равнымъ образомъ и газы), какъ разъ являются представителями 33-го вида симметріи—„безконечной“ симметріи, ибо при конденсаціи жидкостей изъ паровъ ростутъ „жидкіе шары“,—капли.

Дѣйствительно, напр., В. В. Никитинъ, исходя изъ предположенія, что молекулы газообразно-жидкаго состоянія обладаютъ „безконечной“ симметріей, показалъ (путемъ простыхъ соображеній геометрической кристаллографіи), что составленныя изъ такихъ молекулъ системы будутъ обладать характерными свойствами газообразно-жидкаго состоянія: шарообразной формой въ освобожденномъ отъ дѣйствія постороннихъ силъ состоянія (напр., въ опытѣ Плато, форма маленькихъ капель и проч.) и легкой перемѣщаемостью молекулъ.

При болѣе глубокомъ размышленіи, однако, не трудно понять, что шарообразность формы [1]), растущей капли жидкости вовсе еще не требуетъ принятія „безконечной“ симметріи составляющихъ ее молекулъ: дѣйствительно, если мы припишемъ молекуламъ жидкости любой изъ 32-хъ видовъ симметріи и примемъ (это вполнѣ соотвѣтствуетъ легкоподвижности жидкостей), что тепловое движеніе молекулъ даннаго вещества въ жидкомъ состояніи слишкомъ живо, чтобы молекулярное притяженіе могло бы надолго удержать другъ около друга въ ориентированномъ положеніи сколь-нибудь замѣтное для наблюденія число молекулъ,—то станетъ вполнѣ понятной и конденсація жидкостей въ шары--капли и отсутствіе массовой ориентированности газообразно-жидкаго состоянія.

Наглядную, хотя и нѣсколько быть можетъ примитивную картину строенія газообразно-жидкаго состоянія можно себѣ составить слѣдующимъ путемъ: представимъ себѣ пространство, заполненное твердыми кристаллами одного изъ 32-хъ видовъ симметріи, размѣры которыхъ равны молекулярнымъ.

Какъ бы велико не было векторіальное притяженіе этихъ кристалликовъ, какъ бы ни стремились они ориентироваться, всегда можно надѣлить ихъ столь живымъ тепловымъ движеніемъ, что оно преодолѣетъ стремленіе векторіальнаго притяженія къ ориентировкѣ въ замѣтныя для наблюденія массы.

Очевидно, что такая воображаемая система, несмотря на то, что она составлена изъ кристалликовъ съ векторіальными силами притяженія, будетъ обладать всѣми свойствами реальнаго газообразно-жидкаго состоянія и не обнаружитъ, конечно, массовой векторіальности.

[1]) Вспомнимъ шарообразные жидкіе кристаллы.

Такимъ образомъ, ни въ малѣйшее противорѣчіе съ дѣйствительностью мы не впадемъ, если сдѣлаемъ предположеніе, что жидкости и газы обладаютъ векторіальнымъ притяженіемъ между молекулами и что эти молекулы симметрично построены, но что при данной энергіи теплового движенія молекулъ, это векторіальное притяженіе можетъ ориентировать молекулы въ исчезающемъ отъ наблюденія маломъ числѣ и лишь на кратчайшіе промежутки времени.

Постараемся теперь показать, что предположеніе о векторіальности молекулъ въ газообразно-жидкомъ состояніи отвѣчаетъ дѣйствительности.

Сама постановка вопроса о возможности доказать векторіальность молекулъ, отнюдь не должна казаться смѣлой и несвоевременной.

Путемъ непосредственныхъ наблюденій при помощи ультрамикроскопа (съ примѣненіемъ свѣта короткихъ волнъ) мы можемъ надѣяться увидѣть молекулы [1]) сложныхъ веществъ и изучить ихъ форму и свойства по диффракціоннымъ изображеніямъ.

Молекулы простыхъ веществъ, обладающія громадной подвижностью врядъ-ли, безъ особыхъ приспособленій, можно будетъ воспринимать ультрамикроскопически, иначе, какъ въ видѣ свѣтлыхъ траекторій ихъ движенія.

Но такъ какъ насъ интересуетъ не форма молекулъ, а вопросъ, векторіально-ли молекулярное сцѣпленіе, то задача значительно упрощается.

Раньше всего, надо замѣтить, какъ уже упоминалось и выше, что фактъ кристаллизаціи жидкостей въ одномъ изъ 32-хъ видовъ симметріи и отсутствіе факта образованія „твердыхъ шаровъ“ 33-го вида „безконечной“ симметріи при затвердѣваніи жидкостей, служитъ несомнѣннымъ доказательствомъ того, что, по крайней мѣрѣ, въ твердомъ состояніи матеріи молекулы не обладаютъ „безконечной“ симметріей по отношенію къ своему сцѣпленію.

Такимъ образомъ, намъ надо теперь изыскать методы „проявленія“ скрытыхъ векторіальныхъ свойствъ газообразно-жидкаго состоянія.

Чтобы „проявить“ эти свойства есть два пути:

1) Введеніемъ въ систему электрической магнитной и механической энергіи болѣе или менѣе упорядочить движеніе молекулъ, не измѣняя его интенсивности.

2) Отнятіемъ отъ системы тепловой энергіи уменьшить интенсивность движенія молекулъ и тѣмъ самымъ дать „проявиться“

[1]) П. П. фонъ-Веймарнъ. Koll.-Zeitschr. **2**, 175—177 (1907).

векторіальному сцѣпленію въ видѣ явленія кристаллизаціи.

Противъ доказательности второго пути можно возразить, что векторіальнымъ сцѣпленіе сдѣлалось внезапно, только при температурѣ затвердѣванія.

Но врядъ-ли логично думать, что до этой температуры существующее не векторіальное сцѣпленіе, какъ по мановенію волшебнаго жезла, сдѣлалось вдругъ векторіальнымъ.

Что же касается перваго пути, то онъ уже далъ положительные результаты.

Введеніемъ магнитной (Коттонъ и Мутонъ] [1]) и электрической энергіи въ жидкія системы настолько упорядочивалось движеніе молекулъ, что можно было опредѣлить наличность двойного лучепреломленія жидкостей въ массѣ.

Замѣчу, что Коттонъ и Мутонъ продѣлали тѣ же опыты съ завѣдомо кристаллическими частицами суспендированными въ водѣ и получили отчетливые положительные результаты.

Всякому должно быть понятно, что тончайшій высоко-дисперсный кристаллическій порошокъ будетъ въ массѣ казаться неоріентированнымъ и лишеннымъ векторіальныхъ свойствъ до тѣхъ поръ, пока мы искусственно не оріентируемъ параллельно другъ другу слагающія его частицы.

Механическая энергія, напр. давленіе, растяженіе и проч., какъ уже давно извѣстно, вызываетъ появленіе двойного лучепреломленія, которое тоже должно быть объяснено упорядоченіямъ расположенія векторіальныхъ молекулъ.

„Augenscheinlich", пишетъ О. Леманнъ [2]) послѣ подробнаго приведенія относящейся къ разбираемому вопросу литературы, „beruhen nach all diesen Untersuchungen die optischen Anomalien bei Kristallen auf der Anisotropie der Moleküle und sind die Erzeugung von Doppelbrechung bei amorphen Körpern dem Wesen nach verwandt, so dass also auch letztere anisotrope Moleküle enthalten müssen, indes nicht lediglich solche gleicher Art, da sonst die Doppelbrechung bei Deformation wie bei erzwungener Homöotropie bei fliessenden Kristallen eine weit beträchtlichere und dauernde sein müsste.

Особый интересъ представляютъ случаи механическихъ воздѣйствій на жидкія системы, составленныя изъ молекулъ, строеніе которыхъ можно уподобить длиннымъ палкамъ.

Въ этихъ случаяхъ, согласно глубокомысленной теоріи Д. Форлендера жидко-кристаллическаго состоянія и блестящимъ опытамъ О. Леманна, оріентирующее и дезоріентирующее вліяніе механическихъ воздѣйствій сказывается особенно рельефно.

При систематикѣ векторіальнаго состоянія матеріи мы еще остановимся на этихъ явленіяхъ.

Замѣтимъ, что признаніе молекулъ жидко-газообразнаго состоянія „аморфными", т. е. лишенными векторіальности, совершенно не вяжется съ представленіями структурной химіи и съ идеями І. Г. ван'т Гоффа [1]) объ уменьшеніи валентности атомовъ съ повышеніемъ температуры и проч.

Итакъ, положеніе вопроса о векторіальности молекулъ во всѣхъ аггрегатныхъ состояніяхъ таково, что затруднительно найти аргументы для отрицательнаго рѣшенія вопроса.

На основаніи этого можно утверждать, что матерія векторіальна во всѣхъ своихъ состояніяхъ и можно говорить объ общемъ векторіальномъ состояніи матеріи.

Такимъ образомъ различія между отдѣльными видами этого векторіальнаго состоянія матеріи сводятся къ проявленіямъ этой векторіальности для наблюдателя въ томъ или иномъ характерѣ и степени оріентированности молекулъ.

Къ выясненію вопроса объ измѣненіи характера и степени оріентированности молекулъ мы теперь и перейдемъ.

II.

Оріентированность молекулъ въ пространствѣ и ея измѣненія.

Когда пониженіемъ температуры мы заставляемъ перейти опредѣленную массу жидкости въ твердое состояніе, то мы никогда не получаемъ одного цѣльнаго кристалла (той же массы слѣдовательно, что и взятая жидкость), но получаемъ совокупность нѣсколькихъ кристалловъ.

Такимъ образомъ, при затвердѣваніи жидкости опредѣленной массы, происходитъ увеличеніе степени дисперсности системы, ибо вмѣсто жидкой массы съ одной общей поверхностью получился твердый кусокъ, который, кромѣ поверхности, отдѣляющей его отъ окружающаго пространства, имѣетъ еще внутреннія поверхности, отдѣляющія другъ отъ друга кристаллическія зерна, аггрегатомъ которыхъ и является разсматриваемый твердый кусокъ [2]).

[1]) Коттонъ и Мутонъ. Ann. de chimie et physik. **11**, (1907), 145, 289.

[2]) О. Леманнъ. Flüssige Kristalle 237 (тамъ же литература) 1904. Engelmann. Leipzig.

[1]) См. напр. Вильгельмъ Оствальдъ. Grundriss der allg. Chemie, 227.

[2]) Надо замѣтить, что существованіе и внутри жидкости невидимыхъ поверхностей не представляется вполнѣ невѣроятнымъ.

Съ возрастаніемъ относительнаго переохлажденія жидкости, степень дисперсности получаемыхъ изъ нея кристаллическихъ системъ прогрессивно растетъ, стремясь какъ къ предѣлу къ молекулярной степени дисперсности [1]).

Нетрудно теперь выяснить, что и степень оріентированности получаемыхъ такимъ образомъ дисперсныхъ кристаллическихъ системъ, по мѣрѣ увеличенія степени дисперсности, стремится какъ къ предѣлу къ степени оріентированности жидкости, т. е. къ почти полной дезоріентированности [2]).

Такъ какъ явленіе сводится очевидно въ главныхъ чертахъ здѣсь къ механическому раздробленію кристалла, то мы сначала и займемся вопросомъ, какъ измѣняется степень общей оріентированности данной массы кристаллическаго вещества при прогрессивномъ раздробленіи.

Въ одной изъ своихъ прежнихъ статей, я привелъ основанія для признанія меньшей оріентированности молекулъ поверхностнаго слоя кристалла, чѣмъ его ядра, поэтому здѣсь я не буду касаться этого вопроса и для простоты изложенія приму, что молекулы поверхностнаго слоя одинаково оріентированы съ ядромъ кристалла [3]).

Это неправильное допущеніе (см. статьи, цитированныя въ предшествующемъ примѣчаніи) не повліяетъ на наши дальнѣйшія разсужденія, ибо рѣчь будетъ идти объ измѣненіи оріентированности по независимой отъ этого допущенія причинѣ.

Далѣе, чтобы исключить дезоріентирующее вліяніе адсорбціи поверхностными слоями газообразной среды, въ которой совершается измельченіе, предположимъ, что измельченіе кристалла совершается въ пустотѣ и что упругость пара вещества кристалла практически равна нулю при температурѣ измельченія.

Какъ ни велико векторіальное сцѣпленіе у даннаго кристаллическаго вещества, какъ бы быстро ни оріентировались подъ его вліяніемъ молекулы въ стройное цѣлое—въ кристаллы, все-таки соотвѣтственными энергично дѣйствующими факторами мы всегда можемъ нарушить весьма существенно правильность этой оріентировки и затормазить дѣйствіе векторіальныхъ силъ, которыя однако немедленно проявятъ свое могущество, какъ скоро будутъ изъяты изъ системы тормазящіе факторы.

Конечно, чѣмъ меньше векторіальное сцѣпленіе молекулъ, тѣмъ легче нарушить оріентированность.

Возьмемъ теперь одинъ цѣльный твердый кристаллъ нѣкотораго опредѣленнаго вѣса (напр., содержащій одну граммъ-молекулы) и будемъ его мельчить въ указанныхъ выше условіяхъ и посмотримъ, какъ измѣняется степень общей оріентированности этой граммъ-молекулярной массы кристаллическаго вещества при прогрессивномъ измельченіи, т. е. при прогрессивномъ увеличеніи степени дисперсности этой кристаллической массы.

Расколемъ сначала нашъ кристаллъ на двѣ части, нетрудно понять, что общая оріентированность отъ этого уменьшилась.

Дѣйствительно, когда измельчаемая граммъ-молекулярная масса кристаллическаго вещества представляла одинъ кристаллъ, то молекулы, которыя послѣ распаденія кристалла на двѣ части образовали новыя поверхности этихъ отколотыхъ частей, были расположены въ пространствѣ параллельно другъ другу, т. е. оріентированы; очевидно, что тѣ же молекулы [1]) послѣ раздробленія кристалла на двѣ части не будутъ уже параллельны другъ къ другу и какъ бы мы старательно ни прикладывали эти части одну къ другой, намъ не удастся привести всѣ молекулы вновь образовавшихся поверхностей въ то же самое оріентированное положеніе, какое онѣ занимали въ цѣльномъ кристаллѣ, ибо это равносильно было бы полному сростанію отколотыхъ другъ отъ друга частей: такимъ образомъ, поверхности раздѣла разбиваютъ кристаллъ на зерна, внутри которыхъ молекулы остались правильно оріентированными, но группы оріентированныхъ молекулъ, составляющихъ эти зерна, уже по отношенію другъ къ другу не сохранили прежней правильной оріентировки.

---

[1]) См. П. П. фонъ Веймарнъ. Grundzüge der Dispersoidchemie 44—46. Dresden. 1911. Verlag von Theodor Steinkopff.

[2]) Случаи полиморфизма и другихъ побочныхъ явленій исключаются. Разсматривается идеальный случай, когда молекулы жидкости и твердаго состоянія тождественны, т. е., когда жидкое и твердое состоянія отличаются оріентировкой молекулъ. Ясно, что случаи, когда при переходѣ жидкости въ твердое состояніе совершается превращеніе молекулъ (т. е. когда жидкость представляетъ смѣсь различныхъ молекулъ) сводятся въ главныхъ чертахъ къ явленіямъ кристаллизаціи обычныхъ смѣсей—растворовъ. Сущность явленій не мѣняется, только молекулярная дисперсность достигается легче для смѣсей молекулъ.

[3]) П. П. фонъ-Веймарнъ. Koll.—Zeitschr. **6**, 32—38 (1910); **7**, 205—208 (1910). „Gedenkboek—van Bemmelen 50 (1910) Grundzüge der Dispersoidchemie 20—24 (1911).

[1]) Само собой понятно, что поверхности нѣсколькихъ соприкасающихся частей расколотаго кристалла, раздѣляютъ кристаллъ на участки, которые неоріентированы правильно другъ относительно друга, но въ каждомъ участкѣ молекулы оріентированы правильно. Мѣриломъ такого нарушенія оріентировки очевидно будетъ служить развитіе поверхности раздѣла зеренъ кристаллической системы.

Отсюда ясно, что степень общей оріентированности постоянной массы кристалла при ея измельченіи будетъ уменьшаться съ измельченіемъ, если даже предположить, что молекулы поверхностныхъ слоевъ кристалловъ сами по себѣ столь же оріентированы, какъ и ихъ ядра.

Причина уменьшенія оріентированности въ разсматриваемомъ случаѣ очевидно покоится на чисто геометрическихъ основаніяхъ: именно, возникающія при раздробленіи новыя поверхности не остаются въ томъ же положеніи въ пространствѣ, какое онѣ занимали внутри нераздробленнаго кристалла [1]).

Совершенно понятно, что при достаточно высокой степени дисперсности, количество этихъ геометрически уклонившихся отъ своего первоначальнаго положенія новыхъ поверхностей будетъ громадно и степень общей оріентированности такой системы очень мала.

Достаточно энергичнымъ раздавливаніемъ кристалла, мы можемъ такъ сильно нарушить его оріентировку, что полученная послѣ раздавливанія система оптически будетъ вполнѣ изотропна.

Такіе опыты очень легко произвести на кристаллахъ веществъ сравнительно мягкихъ, какъ, напр., олеиново-кислый калій, японская камфора и много др. [2]).

Раздавливая между двумя стеклами въ сильныхъ тискахъ кристалликъ камфоры, мы получаемъ вполнѣ изотропную массу, которая, будучи освобождена отъ давленія, въ смыслѣ кристаллизаціи ведетъ себя, какъ самая обыкновенная „аморфная“ сильно переохлажденная жидкость, именно кристаллизація начинается въ чрезвычайно большомъ числѣ пунктовъ (А. П. Гутманъ).

Конечно, въ случаѣ хрупкихъ твердыхъ кристалловъ, молекулы которыхъ могутъ менѣе свободно перемѣщаться, чѣмъ въ упомянутыхъ случаяхъ, самопроизвольное уменьшеніе степени дисперсности и самопроизвольное увеличеніе степени общей оріентированности будетъ итти съ гораздо меньшей скоростью.

Всего сказаннаго до сихъ поръ вполнѣ достаточно, чтобы сдѣлать слѣдующее заключеніе:

Путемъ достаточно энергичнаго раздавливанія, толченія, размалыванія и т. п. можно приблизить твердую кристаллическую систему, составленную изъ одного рода молекулъ, въ смыслѣ степени дисперсности и степени оріентированности, къ состоянію практически [1]) не отличимому въ указанномъ смыслѣ отъ жидкости [2]).

Измѣненіе степени оріентированности и степени дисперсности, какъ уже замѣчено выше, можно достигнуть, заставляя опредѣленную массу жидкости затвердѣвать при различныхъ скоростяхъ охлажденія, т. е. при различныхъ значеніяхъ начальнаго относительнаго переохлажденія.

Если жидкость составлена изъ одного рода молекулъ, которыя, не претерпѣвая какихъ-либо превращеній, просто оріентируются при кристаллизаціи, то результаты затвердѣванія при различныхъ скоростяхъ охлажденія отличаются отъ результатовъ механическаго измельченія лишь тѣмъ, что съ измѣненіемъ степени дисперсности измѣняется и форма кристалловъ, именно вмѣсто полногранныхъ кристалловъ получаются различныя фигуры роста; звѣзды, сферолиты, иглы и трихиты.

Во всякомъ случаѣ и здѣсь (принимая во вниманіе бо̀льшую удѣльную поверхность фигуръ роста, чѣмъ полногранныхъ кристалловъ) наблюдается уменьшеніе общей оріентированности системы съ возрастаніемъ степени дисперсности.

Если же жидкость состоитъ изъ нѣсколькихъ родовъ молекулъ, находящихся между собою въ динамическомъ равновѣсіи, или, если новые роды молекулъ возникаютъ при быстрыхъ охлажденіяхъ, или, наконецъ, если кристаллизація заключается не только въ оріентированіи молекулъ жидкости, но и въ ихъ превращеніи, то вліяніе скорости охлажденія на дисперсность и оріентированность, получаемыхъ при затвердѣваніи кристаллическихъ системъ можетъ ставиться въ параллель съ прогрессивнымъ механическимъ измельченіемъ уже не однороднаго кристал-

---

[1]) Объ уменьшеніи оріентированности въ силу указанныхъ геометрическихъ причинъ, я еще кратко указывалъ въ своемъ сообщеніи Русскому Химическому Обществу 13-го декабря 1907 г.

[2]) П. П. Фонъ-Веймарнъ. Grundzüge der Dispersoidchemie 20—24 (1911). Насколько я знаю открытіе явленія „Псевдоизотропіи“ мягкихъ кристалловъ принадлежитъ О. Леманну (Flüssige Kristalle 47, 81 (1904).

[1]) Т. е., нельзя считать степень оріентированности въ точности равной степени оріентированности жидкости.

[2]) Надо еще имѣть въ виду, что при сильныхъ измельченіяхъ можетъ произойти еще полиморфное превращеніе. твердыхъ кристалловъ. (См. объ этомъ ниже стр. 139 и слѣд.).

ла, а смѣси кристалловъ двухъ различныхъ веществъ [1]).

Особенно присутствіе нѣсколькихъ родовъ молекулъ во время затвердѣванія жидкости сказывается при большихъ скоростяхъ конденсаціи молекулъ въ кристаллы: нѣкоторые изъ родовъ этихъ молекулъ во-первыхъ запутываются среди конденсирующихся молекулъ и включаются въ образующіеся кристаллы, нарушая тѣмъ оріентированность, во-вторыхъ, когда превзойденъ предѣлъ включаемости этихъ мѣшающихъ молекулъ въ строеніе кристалла, онѣ оказываютъ еще дисперсирующее дѣйствіе [2]): подобно многочисленнымъ клиньямъ эти молекулы внѣдряются въ группы конденсирующихся молекулъ и разбиваютъ ихъ на меньшія, которыя затѣмъ конденсируются отдѣльно.

Чѣмъ стремительнѣе идетъ конденсація, тѣмъ разрушительнѣе вліяніе молекулъ не принимающихъ прямого участія въ кристаллизаціи, тѣмъ меньше степень общей оріентированности получающейся кристаллической системы и тѣмъ выше ея дисперсность.

Надо имѣть въ виду, что никакая современная дробильная машина не въ состояніи въ короткій промежутокъ времени такъ раздробить кристаллическое вещество и такъ исказить его оріентировку, какъ громадныя начальныя относительныя пересыщенія [3]).

Присутствіе постороннихъ (т. е. не принимающихъ прямого участія въ кристаллизаціи) молекулъ въ высоко дисперсныхъ кристаллическихъ системахъ чрезвычайно замедляетъ самопроизвольное увеличеніе степени общей оріентированности дисперсной системы.

Путемъ устраненія этихъ мѣшающихъ молекулъ (напр. нагрѣваніемъ системы до температуры максимальной скорости превращенія всѣхъ молекулъ въ меньшее число родовъ или даже въ одинъ родъ) достигается значительное увеличеніе скоростей уменьшенія степени дисперсности и увеличенія степени оріентированности.

Если въ жидкости, напр. путемъ химическаго разложенія, до ея затвердѣванія возникли молекулы новыхъ веществъ, то для ускоренія уменьшенія степени дисперсности полученной изъ такой жидкости высоко-дисперсной твердой системы надъ тѣмъ или другимъ путемъ извлечь эти постороннія молекулы: можно напр. этого достигнуть, или заставляя реакцію разложенія пойти обратно, или пользуясь растворителемъ, растворяющемъ только эти постороннія молекулы, убрать ихъ изъ системы и т. д.

Ко всему сказанному надо добавить, что особенно легко вышеуказанными путями получаются высоко-дисперсныя и мало оріентированныя кристаллическія системы изъ жидкостей, составленныхъ изъ сложныхъ и большихъ молекулъ.

Для такихъ жидкостей полученіе грубо-дисперсныхъ отчетливо оріентированныхъ системъ является очень трудной задачей, ибо, при сколь-нибудь значительной скорости конденсаціи малоповоротливыхъ молекулъ такихъ жидкостей въ кристаллы возникаютъ уже высоко-дисперсныя и мало-оріентированныя системы.

Тщательнымъ выдѣленіемъ постороннихъ примѣсей изъ такихъ жидкостей и путемъ чрезвычайно медленнаго охлажденія можно, однако, достигнуть полученія грубо-дисперсныхъ и отчетливо оріентированныхъ кристаллическихъ системъ.

Итакъ, теперь мы изъ содержанія первыхъ двухъ отдѣловъ настоящей статьи можемъ сдѣлать два вывода:

1. Матерія векторіальна во всѣхъ своихъ аггрегатныхъ состояніяхъ.

2. Увеличеніемъ степени дисперсности любого твердаго кристаллическаго вещества можно измѣнять степень общей его оріентированности; причемъ при крайне высокихъ степеняхъ дисперсности получаемыя кристаллическія системы въ смыслѣ оріентированности практически [1]) не отличимы отъ жидкостей.

Существеннымъ отличіемъ такихъ минимально оріентированныхъ твердыхъ системъ отъ обычныхъ жидкостей является стремленіе къ самопроизвольному уменьшенію степени дисперсности и увеличенію степени оріентированности, которыя, однако, при наличности энергичныхъ тормазящихъ факторовъ, идутъ съ исчезающе малой скоростью.

---

[1]) Опять таки надо имѣть въ виду указанную уже выше разницу, въ смыслѣ появленія различныхъ формъ роста кристалловъ при затвердѣваніи жидкостей.

[2]) Оріентированность въ системахъ изъ нѣсколькихъ родовъ молекулъ можетъ быть гораздо сильнѣе и легче нарушена, чѣмъ для системы изъ одного рода молекулъ.

[3]) Надо еще прибавить, что оріентированность при раздробленіи вещества еще нарушается по причинамъ, изложеннымъ въ моихъ статьяхъ, цитированныхъ въ примѣчаніи 3 на стр. 131.

[1]) Т. е. системы отнюдь нельзя считать точно равными по оріентировкѣ съ жидкостями; иначе говоря равенство достигается въ предѣльныхъ случаяхъ: сложныя вещества или смѣси нѣсколькихъ родовъ молекулъ.

III.

Газообразно-жидкое кристаллическое состояніе матеріи и его всеобщность.

А. Жидко-кристаллическое состояніе. Открытіе О. Леманномъ жидко-кристаллическихъ веществъ представляетъ несомнѣнно одно изъ величайшихъ открытій нашего времени, значеніе котораго для общаго ученія о состояніяхъ матеріи далеко еще не оцѣнено.

Достойны удивленія и подражанія то мужество и стойкость, съ которымъ маститый ученый въ теченіе почти 20-ти лѣтъ защищалъ свое ученіе о жидкихъ кристаллахъ противъ несправедливыхъ возраженій тѣхъ изъ своихъ коллегъ, въ сознаніи которыхъ соединеніе понятій „жидкость“ и „кристаллъ“ звучало какъ сплошной абсурдъ.

Это неожиданное и въ своемъ существѣ совершенно новое открытіе вызвало большую путаницу въ понятіяхъ, особенно послѣ того, какъ Г. Таммапъ, на основаніи своихъ, въ экспериментальномъ отношеніи, замѣчательно выдающихся работъ, провозгласилъ невозможность существованія критической точки между твердымъ и жидкимъ состояніемъ [1]) и отождествилъ понятіе о твердомъ состояніи съ понятіемъ объ оріентированности молекулъ.

Все это было тогда, когда ученіе о дисперсныхъ системахъ находилось еще въ неупорядоченномъ состояніи, когда еще не было раціональной систематики дисперсныхъ системъ, когда идея о фактической возможности получить по желанію любое вещество въ какой угодно степени дисперсности еще не сложилось въ мозгу ни одного естествоиспытателя и когда объ измѣненіи со степенью дисперсности степени оріентированности кристаллической системы не было никакой рѣчи.

Послѣ установленія мною (1905—1906) съ полной несомнѣнностью дѣйствительной возможности по желанію получить любое вещество въ любой степени дисперсности, жидко-кристаллическое состояніе привлекло къ себѣ мое особое вниманіе [1]).

Начиная съ 1907 г., я принялся за детальное изученіе обширныхъ трудовъ О. Леманна, съ которыми, до этого времени былъ знакомъ очень мало.

Это изученіе, съ одной стороны, благодаря обширному литературному матеріалу, собранному О. Леманномъ, познакомило меня съ историческимъ ходомъ развитія идей объ „аморфномъ“ состояніи и привело къ знакомству съ замѣчательными взглядами М. Л. Франкенгейма, которые я потомъ смогъ подробнѣе изучить по оригиналамъ [1]); съ другой стороны, я такимъ путемъ познакомился съ своеобразными (но не свободными отъ противорѣчій) воззрѣніями самого О. Леманна на аггрегатныя состоянія матеріи и, что для меня было особенно цѣнно, съ экспериментальнымъ матеріаломъ, касающимся жидкихъ кристалловъ.

Повтореніе нѣкоторыхъ опытовъ О. Леманна съ жидкими кристаллами заставило меня обратиться къ ультрамикроскопическимъ изслѣдованіямъ веществъ, дающихъ жидко-кристаллическія фазы; результаты этихъ изслѣдованій будутъ приведены въ концѣ этого подъотдѣла.

Выше мы установили, что молекулы во всѣхъ состояніяхъ матеріи векторіальны и показали, что созданіемъ соотвѣтственныхъ условій, мы можемъ по произволу измѣнять степень общей оріентированности твердой кристаллической системы.

Причемъ оказалось, что для однихъ веществъ это совершается очень легко, для другихъ нѣсколько труднѣе и, наконецъ, для веществъ сложныхъ, съ большими молекулами, весьма трудно получить твердую кристаллическую систему большой степени оріентированности.

Такимъ образомъ, намъ ясно, что когда причины малой оріентированности твердыхъ системъ лежатъ въ самихъ молекулахъ, то, вслѣдствіе невозможности уничтожить эти причины безъ совмѣстнаго уничтоженія химической индивидуальности самого вещества, получаются высоко-дисперсныя, едва оріентированныя системы высокой степени устойчивости.

Нормальное, такъ сказать, свободное, твердое кристаллическое состояніе характеризуется высокой степенью оріентированности и малой степенью дисперсности.

Для того, чтобы достигнуть максимальнаго нарушенія оріентированности этого состоянія, намъ приходится вводить въ кристаллическую систему тормозящіе оріентировку факторы.

Такое состояніе мы можемъ назвать заторможеннымъ минимально оріентирован-

---

[1]) Сравн.; прямо противоположныя воззрѣнія; П. П. фонъ-Веймарнъ. Kolloid.-Zeitschr. **6**, 307—311 (1910); I. I. ванъ-Лааръ «Sur l'etat solide» Archives Néerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles Série III A, Tome I p. 51 (1911). u. Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. 1910, 675—688.

[2]) П. П. фонъ-Веймарнъ. Koll.-Zeitschr. **3**, 168—168 (1908); **4**, 59—62 (1909). Kollchem. Beihefte **I**, 366—368 (1910).

[1]) См. П. П. фонъ-Веймарнъ. «Zur Geschichte meiner Vektorialitätstheorie der Materie» Koll.-Zeitschr. **7**, 256—265 (1910).

нымъ твердымъ векторіальнымъ состояніемъ.

По аналогіи съ только что сдѣланной классификаціей, мы можемъ ожидать, что нормальному или свободному минимально оріентированному жидкому состоянію должно отвѣчать заторможенное оріентированное жидкое состояніе.

Если это такъ, то должны быть такія условія, съ помощью которыхъ любое жидкое неоріентированное вещество можно, по желанію, перевести въ оріентированную жидкость.

Если причины созданія такихъ условій лежатъ въ самихъ молекулахъ и не могутъ быть устранены безъ нарушенія химической ихъ индивидуальности [1]), то оріентированное жидкое состояніе для подобныхъ веществъ будетъ очевидно болѣе или менѣе рѣзко выраженнымъ и устойчивымъ [2]).

Если такихъ облегчающихъ причинъ нѣтъ, то надо создавать условія для существованія жидкокристаллическаго состоянія до извѣстной степени искусственно.

Отношенія здѣсь вполнѣ напоминаютъ отношенія при достиженіи заторможеннаго неоріентированнаго твердаго состоянія.

Уже въ первомъ отдѣлѣ мы указали, что при достаточной интенсивности электрической, или магнитной энергіи, молекулы жидкостей оріентируются въ достаточно замѣтной степени.

Совершенно тѣхъ же и даже большихъ результатовъ, мы должны достигнуть при опредѣленныхъ значеніяхъ интенсивности тепловой энергіи или энергіи объема.

Я уже указывалъ, что на кривой жидкость—твердое вблизи критической точки должно для любого вещества существовать жидко-кристаллическое состояніе [3]).

Къ этому надо добавить, что это состояніе должно возникать при такихъ значеніяхъ температуры и давленія, когда молекулы очень сближены, но обладаютъ столь интенсивнымъ тепловымъ движеніемъ, что векторіальное сцѣпленіе едва-едва можетъ ихъ оріентировать.

Очевидно, такія условія могутъ создаться и при обычныхъ значеніяхъ температуры и давленія (т. е. внѣ критической области) и тогда мы имѣемъ мягкіе полужидкіе пластическіе кристаллы.

Такимъ образомъ, между нормальнымъ оріентированнымъ твердымъ состояніемъ имѣется рядъ переходныхъ формъ къ заторможенному оріентированному жидкому состоянію.

Особенный интересъ представляетъ, конечно, оріентированное жидкое состояніе, когда, при легко достижимыхъ значеніяхъ температуры и давленія, эта оріентировка достигается, вслѣдствіе особеннаго строенія молекулъ, мѣшающаго свободному странствованію молекулъ.

Но область этихъ веществъ такъ хорошо освѣщена глубокомысленной кинетическо-химической теоріей Д. Форлендера [1]), при помощи которой, этотъ талантливый ученый открылъ массу новыхъ оріентированныхъ жидкостей, что я лишь могу отослать читателей къ сочиненію этого автора: „Kristallinisch-flüssige Substanzen“.

Весьма характерно, что при описаніи жидкокристаллическихъ веществъ (см. Д. Форлендеръ) встрѣчаются указанія какъ на различныя степени устойчивости жидко-кристаллическихъ веществъ, такъ и обозначенія вродѣ: „kaum kr.-flüssig“, „Wahrscheinlich kr.-flüssig“ и т. п.

Если мы обратимся къ исторіи ученія о коллоидахъ, то до установленія общности коллоиднаго состоянія, во-первыхъ, считали способными быть въ этомъ состояніи лишь особыя группы веществъ, затѣмъ стали говорить о веществахъ, „мало-коллоидныхъ“ и „сильно-коллоидныхъ“ и т. п.

Вообще исторія развитія ученія о жидко-кристаллическомъ состояніи имѣетъ много общаго съ исторіей развитія ученія о коллоидномъ состояніи [2])

Можно уже теперь съ увѣренностью говорить, что жидко-кристаллическое состояніе есть общее свойство матеріи и что индивидуальныя свойства веществъ играютъ для него ту же роль, что и въ коллоидномъ состояніи, т. е. затрудняютъ, или облегчаютъ способы осуществленія этихъ состояній.

Надо всегда имѣть въ виду, что подборомъ соотвѣтственныхъ условій можно преодолѣть всѣ трудности и получить любое вещество какъ въ дисперсоидномъ, такъ и въ жидкомъ оріентированномъ состояніи.

Для полученія веществъ въ дисперсоидномъ со-

---

[1]) При данныхъ значеніяхъ температуры и давленія, ибо, очевидно, повышая температуру, напр., мы, не нарушая индивидуальности молекулъ можемъ уничтожить оріентировку и т. п.

[2]) Тѣми же способами, какъ для твердыхъ кристалловъ, мы и здѣсь можемъ мѣнять оріентировку.

[3]) П. П. фонъ-Веймарнъ. Koll.-Zeitschr. **6**, 311 (1910).

[1]) Д. Форлендеръ. «Kristallinischflüssige Substanzen» (1908). Stuttgart Verlag von Ferdinand Enke.

[2]) Сравн. Вольфгангъ Оствальдъ. Koll.-Zeitschr. **8**, 269—270 (1911).

тоянiи уже имѣются прекрасно разработанные общiе етоды [1]) и нельзя сомнѣваться въ томъ, что сдѣанныя выше общiя указанiя объ условiяхъ, необдимыхъ для возникновенiя орiентированнаго жидаго состоянiя со временемъ разовьются въ подобые же общiе методы.

Изъ выше сдѣланной характеристики орiентированнаго жидкаго состоянiя ясно, что эта орiентировка можетъ легко нарушаться въ той или другой тепени.

Не только сильное раздавливанiе, но уже и собственный вѣсъ капли можетъ вызвать нарушенiя рiентировки, точно также, конечно, вліяетъ теплое неоднобразiе и проч.

Эти нарушенiя орiентировки, въ виду легкой еремѣщаемости молекулъ легко могутъ возстановяться въ однихъ мѣстахъ кристалла и возникать ъ другихъ и т. п.

Такъ, или иначе, эти нарушенiя должны вызыать какъ бы появленiе временныхъ внутреннихъ поерхностей, безъ видимаго нарушенiя цѣлостности идко-кристаллическаго индивидуума.

Ультрамикроскопическiя наблюденiя, произведенныя мною надъ рядомъ жидко-кристаллическихъ ществъ [2]) показали, что жидко-кристаллическiе ндивидуумы всѣхъ подвергнутыхъ изслѣдованiю веществъ болѣе или менѣе сильно опалесцируютъ, т. е. аютъ весьма рѣзкiй Тиндалевскiй феноменъ.

Только у производныхъ холестерина (холестеринропiоната и холестерин-бензоата), я могъ съ полой несомнѣнностью установить наличность многочисленныхъ ультрамикроскопическихъ частицъ, приемъ появленiе этихъ частицъ знаменуется измѣненiемъ цвѣта опалесценцiи изъ голубого въ голубовато-зеленый.

Надо имѣть въ виду (Д. Форлендеръ l. c. 7—38), что какъ разъ у производныхъ холестерина, тношенiя между фазами сравнительно сложны и ромѣ того они представляютъ, вѣроятно, смѣси изомеровъ.

Въ другихъ жидко-кристаллическихъ веществахъ пара-азооксианизолъ, анизалдоцинъ, продуктъ конденсацiи бензальдегида и бензидина, (Гаттерманъ) родуктъ конденсацiи пара-толуилальдегида и бензидина (Гаттерманъ)] я не могъ замѣтить отдѣльныхъ ультрамикроскопическихъ частицъ.

Я работалъ съ тѣми же препаратами жидко-кристаллическихъ веществъ, съ которыми производили свои опыты надъ электрофарезой Бредигъ и Жуковскiй [1]) (послѣдній любезно предоставилъ мнѣ часть своихъ препаратовъ); замѣчу, что при продолжительномъ электрофарезѣ положительный результатъ этими учеными былъ полученъ лишь съ холестеринпропiонатомъ [1]).

Ультрамикроскопическiя изслѣдованiя я производилъ при различныхъ условiяхъ: 1) при очень быстрыхъ охлажденiяхъ (прямо помѣщалъ нагрѣтый до точки просвѣтленiя препаратъ на холодный столикъ [2]) ультрамикроскопа), 2) при почти постоянной температурѣ, пользуясь для этой цѣли спецiальнымъ нагрѣвательнымъ ультрамикроскопомъ, сконструированнымъ по моимъ указанiямъ фирмою С. Рейхерта въ Вѣнѣ.

При первомъ способѣ замѣчалось при охлажденiи отчетливое возрастанiе опалесценцiи; причиной такого увеличенiя надо считать чрезвычайное тепловое неоднообразiе охлаждаемой системы при указанныхъ условiяхъ опыта.

Нагрѣвательный ультрамикроскопъ, которымъ я пользовался для изслѣдованiй при постоянной температурѣ, состоялъ изъ коническаго ультра-конденсора не требующаго примѣненiя иммерсiоннаго масла и электрически-нагрѣваемой пластинки съ отверстiемъ посрединѣ, соединенной съ системой реостатовъ для регулировки температуры.

Существеннымъ отличiемъ отъ всѣхъ системъ нагрѣвательныхъ микроскоповъ въ моемъ нагрѣвательномъ ультрамикроскопѣ является нагрѣваніе препарата сверху (а не снизу какъ это дѣлается обыкновенно) и возможность, путемъ надавливанiя нагрѣвательной пластинкой, достигать очень небольшой толщины препарата.

Регулируя реостатами силу тока (напряженiе 6—12 Volt) возможно часами держать препаратъ при постоянной температурѣ: напр. ничтожнымъ передвиженiемъ реостата можно заставить увеличиваться или уменьшаться жидко-кристаллическiе индивидуумы—капли.

До сихъ поръ полученные результаты сводятся къ слѣдующимъ: опалесценцiя, весьма отчетливая, мало измѣняется съ измѣненiемъ температуры, появленiе опалесценцiи совершается сразу: точно опускается и подымается голубовато мутная завѣса.

Ультрамикроскопическихъ частицъ не видно въ вышеперечисленныхъ веществахъ.

[1]) П. П. фонъ-Веймарнъ. «Grundzüge der Dispersoidchemie» 1911. Dresden. Verlag Theodor Steinkopff.

[2]) Ультрамикроскопическiя изслѣдованiя жидкихъ кристалловъ и процессовъ плавленiя обыкновенныхъ кристалловъ мною продолжаются.

[1]) Бредигъ и Жуковскiй. Berl. Ber. 37, 3419 (1904).

[2]) Этотъ способъ (конечно оч. несовершенный) мною теперь оставленъ.

Долженъ теперь же замѣтить, что, судя по рѣзкой опалесценціи, возможность увидѣть отдѣльные ультрамикроны вовсе не исключена, ибо надо имѣть въ виду, что отсутствіе подходящаго иммерсіоннаго вещества не позволило мнѣ еще использовать вполнѣ расчленяющую способность современныхъ ультраконденсоровъ.

Во всякомъ случаѣ фактъ оптической неоднородности жидко-кристаллическихъ индивидуумовъ установленъ съ полной несомнѣнностью.

Это обстоятельство существенно отличаетъ жидкій кристаллъ отъ типичнаго твердаго кристалла и вполнѣ соотвѣтствуетъ данной выше характеристикѣ жидко-кристаллическаго состоянія.

Дальнѣйшія ультрамикроскопическія наблюденія, которыя я продолжаю, должны выяснить измѣненія въ интенсивности опалесценціи съ измѣненіемъ діаметра жидко-кристаллической капли и нѣкоторыя интересныя явленія, имѣющія мѣсто на ея поверхности.

В. Газообразное оріентированное состояніе. Форлендеръ и Леманнъ не считаютъ невѣроятнымъ проявленія оріентировки молекулъ у сильно сжатыхъ газовъ, если молекулы достаточно длинны.

Съ высказанныхъ выше точекъ зрѣнія при достаточно большомъ давленіи, или при введеніи оріентирующихъ факторовъ у любого газа можно вызвать ту или другую степень оріентированности.

Поэтому нѣтъ ничего парадоксальнаго въ существованіи заторможеннаго газообразнаго оріентированнаго состоянія [1]).

IV.

Систематика и номенклатура различныхъ родовъ векторіальнаго состоянія матеріи.

Если мы будемъ сравнивать нормальный газъ, или нормальную жидкость съ нормальнымъ твердымъ кристалломъ, то характеръ молекулярнаго движенія въ сравниваемыхъ системахъ будетъ существенно отличенъ: именно въ твердомъ кристаллѣ молекулы, хотя и находятся въ энергичномъ тепловомъ движеніи, но почти не могутъ удалиться отъ нѣкотораго средняго положенія, обусловливаемаго оріентировкой.

На основаніи этого, нормальное газообразно-жидкое состояніе мы можемъ назвать свободнымъ динамическимъ минимально-оріентированнымъ [2]) векторіальнымъ состояніемъ, а нормальное твердое состояніе—свободнымъ статическимъ оріентированнымъ векторіальнымъ состояніемъ.

Такимъ образомъ, нормальнымъ состояніемъ для газа и жидкости будетъ состояніе минимально-оріентированное, для твердаго же вещества, наоборотъ, нормальнымъ будетъ состояніе оріентированное (точнѣе максимально-оріентированное).

Этимъ свободнымъ нормальнымъ состояніямъ будутъ отвѣчать состоянія заторможенныя, причемъ для газа и жидкости это заторможенное состояніе будетъ оріентированнымъ для твердаго вещества, наоборотъ, минимально-оріентированнымъ [1]).

Какъ уже было говорено, между всѣми родами состоянія существуютъ постепенные переходы; на прилагаемой схемѣ условія такихъ переходовъ написаны надъ изогнутыми стрѣлками, проведенными, отъ одного рода состоянія къ другому.

Въ дальнѣйшемъ схема настолько ясна, что не нуждается въ дополнительныхъ поясненіяхъ.

Для сравненія привожу обычную схему состояній и схему Д. Форлендера (см. стр. 138).

Весьма часто, безъ должныхъ оговорокъ, пишутъ въ учебникахъ физики, что обыкновенная „аморфная“ жидкость не имѣетъ своей собственной формы и не способна ее сохранять и эта характеристика приводится въ противовѣсъ свойствамъ твердаго состоянія.

Но совершенно справедливо пишетъ въ своемъ курсѣ физики Б. П. Вейнбергъ, что, если взять маленькій объемъ жидкости, то онъ будетъ имѣть форму шара и что каждый отрѣзанный кусочекъ этого объема будетъ самостоятельно принимать характерную для жидкости форму шара.

---

[1]) Обращаю еще здѣсь вниманіе на то, что газы выше критической температуры, сжатые большимъ давленіемъ, еще до появленія въ нихъ замѣтной оріентировки должны стать до извѣстной степени неоднородными въ смыслѣ появленія въ нихъ комплексовъ молекулъ и т. п. Надо замѣтить, что до сихъ поръ вопросъ о состояніи вещества въ критической точкѣ вызываетъ разногласія. Андрьюсъ прямо говоритъ, что угольная кислота, взятая при температурѣ выше критической и сжатая давленіемъ значительно большимъ, чѣмъ критическое, находится не въ газообразномъ и не въ жидкомъ состояніи, а въ какомъ то промежуточномъ между этими состояніями. Я лично убѣжденъ, что здѣсь скрывается новая обширная область дисперсоидной химіи.

[2]) Въ обоихъ случаяхъ, мы не имѣемъ никакого права говорить объ абсолютномъ отсутствіи оріентировки, поэтому я и считаю необходимымъ примѣнять, вмѣсто прилагательнаго «неоріентированное» прилагательное «минимально-оріентированное». См. по этому поводу П. П. фонъ-Веймарнъ Kollchem. Beihefte **1**, 331—374 (1910).

Обычная схема.

Твердое.	Жидкое.	Газообразное.
1. Кристаллическое	—	—
а) изотропное (правильная)	—	—
в) анизотропное.	—	—
2. Аморфное изотропное.	Аморфное изотропное.	Аморфное изотропное

Схема Д. Форлендера [1].

Твердое.	Жидкое.	Газообразное.
1. Кристаллическое	1. Кристаллическое	1. Кристаллическое
а) изотропное (правильная)	а) изотропное (правильная)	а) изотропное (правильная)
в) анизотропное.	в) анизотропное.	в) анизотропное
2. Аморфное изотропное.	2. Аморфное изотропное.	2. Аморфное изотропное.

[1]) Въ схему мною внесено предполагаемое Д. Форлендеромъ газообразное кристаллическое состояніе.

Отрѣзанные же отъ кристалла кусочки не будутъ съ замѣтной скоростью принимать самостоятельно форму многогранника, если кристаллъ только не мягокъ.

Способность къ самовозстановленію формы, прибавляю я къ указаннымъ разсужденіямъ Б. Н. Вейнберга, находится въ прямой зависимости отъ удобоперемѣщаемости молекулъ, которая и обусловливаетъ консистенцію веществъ.

Чѣмъ жиже консистенція, тѣмъ больше скорость какъ къ самовозстановленію формы, такъ и къ самовозстановленію оріентированности.

Самоуменьшеніе степени дисперсности, особенно, если оно связано съ „самоочищеніемъ“, какъ показалъ О. Леманъ [1]) особенно рельефно наблюдается у жидкихъ кристалловъ.

Однако, весьма важно понимать, что всѣ эти самопроизвольные процессы имѣютъ мѣсто при всякой консистенціи системы, но что скорость очень мала для системъ съ твердой консистенціей.

При современномъ развитіи ученія о дисперсныхъ системахъ, является совершенно умѣстнымъ вопросъ о консистенціи самихъ молекулъ.

Конечно, если мы зададимъ себѣ вопросъ, каково аггрегатное состояніе молекулъ, то такой вопросъ очевидно будетъ лишенъ смысла въ приложеніи къ одной молекулѣ.

Если же мы на состоянія будемъ смотрѣть какъ смотритъ Вильгельмъ Оствальдъ, т. е. по отношенію къ энергіямъ объема и формы, то вопросъ, „каковъ родъ формы молекулъ?“ будетъ совершенно правильнымъ.

Очевидно, что уже съ кинетическо-молекулярныхъ точекъ зрѣнія нельзя приписать молекуламъ газообразно-жидкаго состоянія и потому на поставленный вопросъ надо отвѣтить, что молекулы обладаютъ твердымъ векторіальнымъ состояніемъ.

Въ обыкновенномъ оріентированномъ твердомъ состояніи эта „твердость“ и „векторіальность“ молекулъ получаетъ наиболѣе отчетливое, бьющее въ глаза, выраженіе.

Чѣмъ плотнѣе сѣтка твердаго кристалла, чѣмъ ниже температура, чѣмъ сильнѣе проявлено векторіальное сцѣпленіе, тѣмъ яснѣе выступаетъ „твердость“ и „векторіальность“ молекулъ.

На основаніи этого, я думаю, что нѣтъ ничего парадоксальнаго въ высказанныхъ мною уже давно основныхъ положеніяхъ моей векторіальной теоріи матеріи [1]) напр., въ слѣдующемъ положеніи:

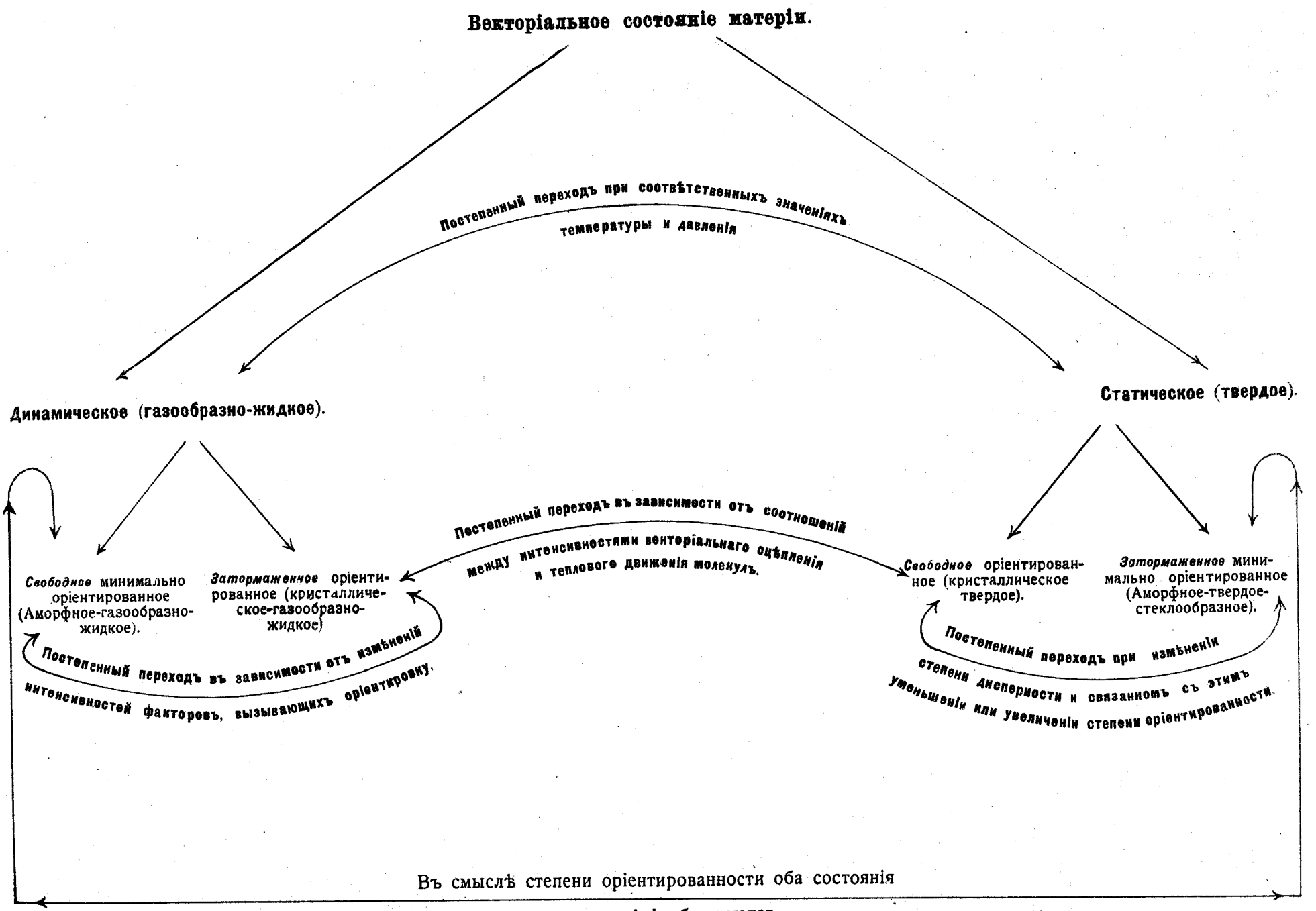
„Jedes reale materielle System, wie es auch seiner Konsistenz nach beschaffen sein möge, besteht aus kleinsten, festen, vektorialen Elemente (Moleküle und deren Komplexe). Die Konsistenz eines solchen Systems bei gegebenen Bedingungen ist von zwei Faktoren abhängig: I. Vom Spannungsgrad der Vektorialkräfte und II. Vom Beweglichkeitsgrad der festen Vektorialelemente“ [2]).

[1]) См. О. Леманнъ. „Die neue Welt d. flüssigen Kristalle“ 337—342 (1911); Leipzig. Akademische Verlagsgesellschaft.

[1]) П. П. фонъ-Веймарнъ. Koll.-Zeitschr. **2**, 83 (1907); **3**, 168 (1908); **6**, 32—38, 209—213, 307—311 (1910); **7**, 96, 256—265 (1910); Kollchem. Beihefte **1**, 331—374 (1910).

[2]) П. П. фонъ-Веймарнъ. Koll.-Zeitschr. **3**, 168 (1908).

Схема систематики аггрегатныхъ состояній матеріи П. П. фонъ-ВЕЙМАРНА



Экономич. вѣст.

Замѣчу еще, что мы не можемъ знать абсолютнаго значенія векторіальнаго сцѣпленія, ибо мы всегда лишь наблюдаемъ сумму вліяній теплового движенія молекулъ и векторіальнаго сцѣпленія.

Подъ конецъ этой части статьи, я хочу еще разъ обратить вниманіе на нѣкоторыя соотношенія между жидкимъ неоріентированнымъ состояніемъ и твердымъ оріентированнымъ.

Если мы имѣемъ, напр., килограммъ расплавленнаго золота, то мы смотримъ на всю массу жидкости какъ индивидуумъ, не имѣющій макро- или микроскопическихъ внутреннихъ поверхностей раздѣла.

Происходитъ это, конечно, отъ того, что жидкость не имѣетъ сколь нибудь замѣтныхъ оріентированныхъ группъ молекулъ.

Когда расплавленное золото затвердѣетъ, то, хотя мы и получимъ цѣльный кусокъ съ одной общей поверхностью, отграничивающей его отъ окружающаго пространства, но уже простое микроскопическое изслѣдованіе намъ показываетъ, что имѣется еще въ этомъ кускѣ сильно развитая внутренняя поверхность, которая раздѣляетъ кусокъ золота на части, въ каждой изъ которыхъ, молекулы правильно оріентированы, но сами части по отношенію другъ друга не имѣютъ правильной оріентировки.

Какъ уже было говорено, развитіе этой внутренней поверхности служитъ мѣриломъ для степени общей оріентированности твердой кристаллической системы.

Такимъ образомъ, при изученіи соотношеній между жидкостью и твердымъ веществомъ мы сравниваемъ индивидуумъ съ аггрегатомъ индивидуумовъ.

Очевидно, что свойства такихъ системъ могутъ сблизиться только при условіи, если у жидкости, вслѣдствіе той, или иной степени оріентированности появятся внутреннія поверхности раздѣла, или у твердаго вещества внутреннія поверхности раздѣла достигнутъ максимума и, вмѣстѣ съ этимъ, степень оріентированности—минимума.

Существованіе самыхъ разнообразныхъ степеней дисперсности, оріентированности и удобоподвижности не даетъ никакой возможности провести рѣзкія грани между различными родами, **по существу единаго**, векторіальнаго состоянія матеріи.

V.

Основной законъ дисперсоидологіи и его приложенія [1]).

Наши представленія объ аггрегатныхъ состояніяхъ матеріи будутъ не ясны, если мы не познакомимся съ основнымъ закономъ дисперсоидологіи (науки о дисперсныхъ системахъ).

Этотъ законъ гласитъ: *Всякое вещество стремится всѣми возможными средствами уменьшить свою свободную поверхностную энергію.*

Высказанное положеніе есть частный случай закона о стремленіи къ минимуму свободныхъ энергій всевозможныхъ родовъ.

Превращеніе вещества въ грубо-дисперсномъ состояніи зависитъ отъ общаго запаса свободныхъ энергій всѣхъ родовъ, а не отъ одной поверхностной энергіи; поэтому модификація вещества, обладающая большимъ запасомъ поверхностной энергіи вовсе не должна быть обязательно менѣе устойчивой, чѣмъ модификація того же вещества съ меньшимъ запасомъ той же энергіи, если разсматривается превращеніе въ грубо-дисперсномъ состояніи.

При достаточно же высокой степени дисперсности вещества его превращеніями будетъ почти всецѣло управлять одна поверхностная энергія и вещество, согласно указанному закону, будетъ противодѣйствовать чрезмѣрному увеличенію свободной поверхностной энергіи.

Дѣйствительно, опытъ показываетъ, что дисперсное вещество, путемъ перегонки, перекристаллизаціи и, наконецъ, при достаточно высокой степени дисперсности, путемъ непосредственнаго сростанія дисперсныхъ частицъ въ менѣе дисперсныя, стремится уменьшить свою свободную поверхностную энергію.

Но далеко не одними этими случаями исчерпывается многообразное примѣненіе этого закона; здѣсь я ограничусь тремя интересными примѣрами:

1. Превращеніе твердаго вещества при измельченіи въ неустойчивыя [1]) кристаллическія модификаціи и въ жидкое состояніе.

Извѣстно, что неустойчивыя модификаціи являются болѣе легкоплавкими и, по большей части, также и менѣе плотными чѣмъ устойчивыя.

Отсюда слѣдуетъ заключить, что поверхностное натяженіе и вообще поверхностная энергія неустойчивой формы меньше чѣмъ устойчивой, но въ грубодисперсномъ состояніи, какъ сказано выше, не одна поверхностная энергія управляетъ превращеніемъ.

На основаніи сказаннаго необходимо сдѣлать выводъ, что при достаточномъ измельченіи [2]), когда

[1]) P. P. von Weimarn. Ueber ein Grundgesetz der Dispersoidologie. Koll-Zeitchr. **12**. Heft. 3. (1913).

[1]) Надо имѣть въ виду, что всегда подразумѣвается неустойчивость въ грубо-дисперсномъ состояніи.

[2]) Физико-химическомъ или механическомъ (см. стр. 82 „Grundzüge der Dispersoidchemie“) безразлично.

явленіе превращенія будетъ зависѣть уже главъ образомъ отъ поверхностной энергіи, устойя модификація перейдетъ въ неустойчивую.

Въ видѣ иллюстраціи разсмотримъ превращеніе го металлическаго селена въ красный:

Еще Сандерсъ [1]) замѣтилъ, что тонкій порошъ металлическаго селена имѣетъ красный цвѣтъ. Л. Штейнъ [2]) получилъ, слѣдуя предложенмною механическому кетоду [3]), изъ металлиаго селена красный коллоидный растворъ. Я же залъ [4]), что изъ краснаго коллоиднаго раствора на получаются кристаллы краснаго, а не металскаго селена. Если теперь еще вспомнить опреніе Холоднаго [5]) плотности краснаго коллоидселена, то станетъ очевиднымъ, что измѣненіе га при измельченіи металлическаго селена не чисто оптическое явленіе, а есть превращеніе йчивой модификаціи въ неустойчивую (подробсм. подъотдѣлъ 4).

Другимъ примѣромъ можетъ служить красная оклинной сингоніи) и желтая (тетрагональной гоніи) окись ртути, какъ это ясно изъ литературы войствахъ этихъ модификацій [6]).

На основаніи того же закона о противодѣйіи вещества чрезмѣрному увеличесвободной поверхностной энергіи дуетъ, что при достаточно большомъ измельченіи ества, при температурѣ не слишкомъ удаленной температуры плавленія наиболѣе неустойчивой ификаціи, дисперсныя частички обратятся въ ельки.

Въ случаѣ очень тугоплавкихъ веществъ и имѣющихъ легкоплавкихъ модификацій должно исходить при крайне большихъ степеняхъ дисности нарушеніе оріентированности молекулъ дисперсныхъ кристаллическихъ частицахъ, ибо Ѣстно изъ опыта съ грубо-дисперсными веществами, жидкости (и, вообще, системы съ нарушенной нтировкой) обладаютъ меньшей плотностью и ерхностнымъ натяженіемъ, по сравненію съ правьно молекулярно-оріентированными твердыми ествами.

[1]) Moissan. Traité de chimie minerale **I**, 456 (1904)
[2]) Koll-Zeitschr. **11**, 315—316 (1912).
[3]) Grundzüge d. Dispersoidchemie. 82 (1911).
[4]) Grundzüge d. Dispersoidchemie. 68—69 (1911).
[5]) Grundzüge d. Dispersoidchemie. 14—15 (1911).
[6]) Moissan. Traité de chimie minerale. **5**, 281—286 5]).

2. Ослабленіе связи гидратной воды въ кристаллогидратахъ при измельченіи.

Это ослабленіе является прямымъ требованіемъ разбираемаго закона и подтверждается какъ нельзя лучше опытомъ.

Принявъ во вниманіе, что такіе прочные кристалло-гидраты, какъ напр. $Al_2O_3 . 3H_2O$, въ высокодисперсномъ состояніи (студенистые осадки) легко отдаютъ свою воду и зная, что въ истинныхъ растворахъ не можетъ быть иныхъ частицъ, какъ еще болѣе дисперсныхъ, чѣмъ въ студенистыхъ осадкахъ,—слѣдуетъ прійти къ важному для теоріи растворовъ выводу, что въ растворахъ (исключая область очень низкихъ температуръ) не можетъ существовать химически прочныхъ гидратовъ, подобныхъ твердымъ кристалло-гидратамъ.

Изъ ослабленности связи воды въ высоко-дисперсныхъ частицахъ гидратовъ еще нельзя дѣлать вывода, что вода въ нихъ уже не находится въ стехіометрическихъ отношеніяхъ.

Наоборотъ, опыты знаменитаго Вѣнскаго минералога Густава Чермака [1]) вполнѣ подтверждаютъ неоднократно высказываемое мною положеніе, что связь воды, хотя въ разбираемыхъ случаяхъ и ослаблена, но все же можно обнаружить стехіометрическія отношенія воды въ студенистыхъ гидратахъ.

3. Распаденіе вещества на іоны.

Вольфгангъ Оствальдъ,—одинъ изъ немногихъ современныхъ ученыхъ особенно ясно понимающихъ все значеніе и всю глубину дисперсоидологіи,—указывалъ на то, что различныя физико-химическія превращенія въ молекулярно-дисперсныхъ системахъ могли бы быть сведены теоретически къ уменьшенію и увеличенію поверхностей максимально-дисперсныхъ частичекъ, составляющихъ такія системы.

Съ такимъ возрѣніемъ нельзя не согласиться.

На основаніи изложеннаго въ подъотдѣлѣ 2, въ слабомъ ненасыщенномъ растворѣ невозможно представить иныхъ сольватовъ, какъ съ сильно-ослабленной связью между сольватными молекулами.

Мы знаемъ, что поверхностное натяженіе уменьшается, если на поверхности имѣется электрическая энергія; мы знаемъ также, что во избѣжаніе быстрой нейтрализаціи противоположныхъ зарядовъ необходима наличность между электрически заряженными

[1]) Извѣстія Вѣнской Академіи Наукъ за 1912 годъ.

юверхностями среды съ значительной діэлектрической постоянной.

Если растворъ достаточно слабъ, то путемъ конденсаціи большая часть сольватныхъ дисперсныхъ частичекъ (молекулъ) не можетъ уменьшить своей юверхностной энергіи, поэтому, если только растворитель является діэлектрикомъ, то сольватнымъ частичкамъ остается еще путь уменьшить свою поверхностную энергію, именно раздѣлиться на сольватированные іоны; это раздѣленіе совершается тѣмъ легче, чѣмъ больше діэлектрически постоянныя среды.

Уменьшеніе электролитической диссоціаціи съ возрастаніемъ концентраціи раствора, согласно разсматриваемому закону, происходитъ потому, что при большихъ концентраціяхъ создаются лучшія условія для конденсаціи сольватныхъ дисперсныхъ частицъ въ болѣе крупныя и этимъ путемъ совершается уменьшеніе поверхностной энергіи въ болѣе значительной степени, чѣмъ при меньшихъ концентраціяхъ.

Итакъ, приложеніе разбираемаго закона къ случаю электролитической диссоціаціи не только ее объясняетъ, но и приводитъ къ тѣмъ же условіямъ ея осуществленія, которыя установлены работами В. Нериста, І. І. Томсена, П. И. Вальдена и друг.

4. Подраздѣленіе основного закона дисперсоидологіи на два отдѣльныхъ закона. Графическое изображеніе закона и поясненіе графика на частномъ примѣрѣ.

Вышеформулированный основной законъ дисперсоидологіи удобнѣе разбить на два закона:

I. При физико-химическомъ или механическомъ измельченіи вещества, получаются дисперсныя системы съ возрастающей степенью неустойчивости, стремящіяся путемъ испаренія, перекристаллизаціи итому подобныхъ процессовъ уменьшить свою дисперсность.

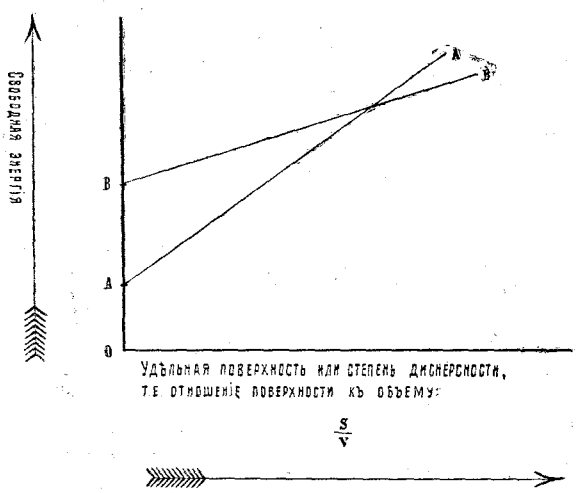
II. При физико-химическомъ или механическомъ измельченіи вещества, послѣднее стремится всѣми доступными ему средствами превратиться въ модификаціи или состоянія, обладающія меньшимъ запасомъ поверхностной энергіи; эти модификаціи и состоянія обладаютъ меньшимъ поверхностнымъ натяженіемъ и, въ подавляющемъ большинствѣ случаевъ [1]), меньшей плотностью.

Первый законъ давно извѣстенъ, что касается второго, то (хотя я, начиная съ 1907 г. неоднократно указывалъ на возможность съ точекъ зрѣнія кинетическо-молекулярной теоріи полиморфныхъ и др. превращеній при измельченіи) онъ энергетически мною выведенъ впервые только теперь.

Этотъ второй законъ имѣетъ несравненно болѣе важное значеніе, чѣмъ первый и необычайно богатъ слѣдствіями, что мною и будетъ показано въ работѣ „Растваореніе, пересыщеніе и кристаллизація“ [2]).

Необходимость полиморфныхъ и др. превращеній подъ вліяніемъ сильнаго измельченія вещества легко наглядно показать путемъ графическаго изображенія (см. фиг. 1).

Фиг. 1.



Линія AA_1 относится къ модификаціи А, которая въ грубо-дисперсномъ состояніи устойчивѣе модификаціи В, т. е. модификація А въ грубо-дисперсномъ состояніи обладаетъ меньшимъ запасомъ свободной энергіи (сумма всѣхъ родовъ энергіи), чѣмъ модификація В (линія BB_1).

Такъ какъ поверхностное натяженіе модификаціи А, больше поверхностнаго натяженія модификаціи В (см. подотдѣлъ 1), то линія AA_1 должна подыматься круче, чѣмъ линія BB_1 и должно произойти пересѣченіе этихъ линій.

Точка О на оси абсциссъ соотвѣтствуетъ такому грубо-дисперсному состоянію веществъ, когда можно пренебречь поверхностной энергіей по сравненію съ другими родами энергіи.

---

[1]) Исключеніемъ напр. является вода и обыкновенный ледъ.

[2]) Въ краткой формѣ доложено Русскому Химич. О-ву 7 февраля 1913 г.

Для лучшаго пониманія формулированнаго мною основного закона дисперсоидологіи разберемъ болѣе подробно, чѣмъ это сдѣлано выше (подотдѣлъ 1), превращеніе металлическаго селена въ красный подъ вліяніемъ измельченія.

Приведемъ сперва нѣкоторыя, физическія константы обѣихъ кристаллическихъ модификацій:

Наименованіе модификацій.	Температура плавленія.	Удѣльный вѣсъ.	Поверхностное натяженіе.
Металлическій селенъ	217° Ц.	4,80	G_1
Красный селенъ.	175° Ц.	4,47	G_2

Красная модификація (рѣчь идетъ пока о превращеніи въ грубо-дисперсномъ состояніи) менѣе устойчива, чѣмъ металлическая, слѣдовательно свободная энергія (подразумѣвается суммарно энергіи всѣхъ родовъ) краснаго селена больше, чѣмъ металлическаго.

Представимъ себѣ, что мы имѣемъ при одной и той же температурѣ по довольно крупному куску той и другой модификаціи селена, пусть объемы этихъ кусковъ равны.

Зададимъ теперь себѣ вопросъ: какая модификація обладаетъ большей величиной поверхностной энергіи?

Въ виду того, что красный селенъ ближе къ жидкому состоянію [1]) мы должны принять, что $G_1 > G_2$ и поверхностная энергія металлическаго селена больше краснаго; разъ это такъ, то ясно, что при измельченіи обѣихъ модификацій должно имѣть мѣсто неравенство:

$G_1 \cdot \frac{S}{V} > G_2 \cdot \frac{S}{V}$ (гдѣ $\frac{S}{V}$ —удѣльная поверхность)

т. е. при измельченіи свободная энергія металлическаго селена будетъ возрастать быстрѣе, чѣмъ краснаго.

При нѣкоторой степени дисперсности обѣ модификаціи сравняются по своимъ запасамъ энергіи и при этой дисперсности онѣ не будутъ имѣть тенденціи къ превращенію; при высшей же степени дисперсности металлическая модификація перегонитъ по запасу свободной энергіи красную и тогда должно наступить превращеніе обратное тому, которое мы наблюдаемъ для тѣхъ же модификацій въ грубодисперсномъ состояніи (см. фиг. 1).

До сихъ поръ въ дисперсоидологіи обращалось вниманіе на уменьшеніе поверхностной энергіи при постоянствѣ ея фактора интенсивности т. е. поверхностнаго натяженія (законъ I), въ настоящей же работѣ указывается на уменьшеніе поверхностной энергіи съ одновременнымъ уменьшеніемъ ея фактора интенсивности (законъ II).

Если мы внимательно вглядимся въ фиг. 1 и поймемъ, что вещество можетъ уменьшать свою поверхностную энергію, какъ путемъ уменьшенія фактора емкости при постоянномъ факторѣ интенсивности (законъ I), такъ и путемъ одновременнаго уменьшенія послѣдняго, (законъ II) то изъ фиг. 1 станетъ яснымъ, когда вещество пойдетъ по первому или второму пути; существованіе и протяженіе области пересыщенія, необходимость образованія новыхъ фазъ и послѣдовательность ихъ выдѣленія (законъ Вильгельма Оствальда), всѣ эти и многія другія явленія растворенія, пересыщенія и кристаллизаціи или, общнѣе сказать, многія явленія диспергаціи и аггрегаціи [1]) выясняются изъ графическаго изображенія основного закона дисперсоидологіи [2]).

Заключеніе.

Въ заключеніе настоящей статьи, посвященной, въ отдѣлахъ I—IV, доказательствамъ несостоятельности ученія объ „аморфіи“, я хочу обратить вниманіе на то, что съ общихъ точекъ зрѣнія естествознанія, понятіе „аморфія“ является совершенно недопустимымъ.

Понятіе „аморфія“ равноцѣнно понятіямъ „Безформенность“ и „Хаосъ“, но такимъ понятіямъ не должно быть мѣста въ наукѣ.

Естествоиспытатель долженъ быть убѣжденъ, что въ природѣ царствуетъ опредѣленный порядокъ и нѣтъ нигдѣ въ ней мѣста аморфному хаосу, иначе у него должны были бы опуститься руки передъ проблемами природы: вѣдь хаоса изучить нельзя.

Весьма часто при изложеніи кинетическо-моле-

[1]) Низшая температура плавленія неустойчивой модификаціи явленіе вполнѣ общее. Въ моей работѣ „Раствореніе, пересыщеніе и кристаллизація“ будетъ энергетически доказано, что поверхностный слой, какъ и неустойчивыя модификаціи, въ подавляющемъ большинствѣ случаевъ обладаетъ меньшей плотностью.

[1]) P. P. von Weimarn. Grundzüge der Dispersoidchemie. Vorwort: V—VII (1911).

[2]) Подробнѣе въ указанной выше работѣ „Раствореніе, кристаллизація и пересыщеніе“.

кулярной теоріи обращаютъ вниманіе учениковъ, что молекулы газа въ своемъ движеніи представляютъ хаотическій безпорядокъ, не указывая на относительность этого хаоса:

Не трудно себѣ представить, что обладающему разумомъ гиганту, по отношенію къ которому наши планеты и звѣзды являлись бы такими же малыми величинами, какими для насъ являются дисперсоидныя частички и молекулы и для котораго тысячелѣтія протекаютъ такъ же быстро, какъ для насъ мгновенія—вся гармонія нашей вселенной представилась бы такимъ же хаотическимъ безпорядкомъ, какимъ кинетическая теорія изображаетъ намъ молекулярное состояніе газа.

Ясно, что „абсолютной аморфіи“, „абсолютнаго хаоса“ не можетъ существовать въ природѣ для тѣхъ, кто съ вдохновеніемъ старается проникнуть въ ея тайники; у такихъ людей въ сознаніи должна господствовать увѣренность, что „природа вездѣ совершенна и гдѣ мы роемся вглубь, тамъ мы навѣрно приближаемся къ центру“ (Вильгельмъ Оствальдъ) [1]).

[1]) „Grundriss der allgemeinen Chemie“ 644 (1909).