ПРОБЛЕМА ПРЕВРАЩЕНИЯ ВОДОРОДА В ГЕЛИЙ.

Е. Рабинович.

Опубликованные в последнее время результаты опытов берлинских химиков Панета и Петерса (1) заставляют внимание физиков возвратиться к проблеме возможности превращения водорода в гелий. Теоретически дело обстоит следующим образом: ядро гелия состоит, по современным представлениям (прямо не доказанным, но имеющим за себя высокую степень вероятности) из 4 ядер водорода и 2 электронов. Эти шесть частиц образуют систему, расположение коей нам неизвестно, но относительно которой мы знаем из опытов Резерфорда, Чадвика и Билера (2), что она действует наружу как эластический эллипсоид с полуосями, равными $8 \cdot 10^{-13}$ и $4 \cdot 10^{-13}$ *см.* До тех пор, пока частица, к которой приближается ядро гелия, не коснется поверхности этого эллипсоида, на нее действует обыкновенная кулоновская сила, обратно пропорциональная квадрату расстояния от центра эллипсоида, как если бы в этом центре был сосредоточен заряд ядра гелия, равный $2e$. Когда посторонняя частица (ядро водорода в опытах Резерфорда) достигнет поверхности эллипсоида, отталкивающая сила начинает возрастать гораздо скорее, чем по закону Кулона; происходит как бы эластическое отражение частицы от поверхности эллипсоида. Вычисления Чадвика и Билера показали, что невозможно придумать такое пространственное расположение четырех протонов и двух электронов, взаимодействующих по закону Кулона, при котором действие системы наружу оказалось в соответствии с этими опытными результатами. Резерфорд склонен поэтому думать, что составные части гелиевого ядра связаны между собой другими силами, а не электростатическим притяжением по закону Кулона. Были сделаны Петтерсоном (3) попытки объяснить внезапное возрастание отталкивания в непосредственной близости от ядра поляризацией последнего под действием приближающейся частицы, и избавиться таким образом от необходимости отказаться внутри ядра от кулоновского закона; но и эта попытка не привела еще к каким-либо конкретным представлениям о расположении составных частей

в гелиевом ядре. Таким образом о строении ядра гелия мы ничего определенного не знаем, и проблема этого строения теоретически представляется еще недоступной.

В нашем распоряжении имеется зато косвенное указание на энергию образования ядра гелия, в виде известной гипотезы „массового дефекта", впервые предложенной Резерфордом (4) и затем развитой Гаркинсом и Вильсоном (5). Согласно этой гипотезе, „дефекту" в $\Delta M = 0{,}032$ *г*, наблюдаемому при превращении четырех грамм-атомов водорода (4,032 *г*) в 1 грамм-атом гелия (4,000 *г*) должна соответствовать „теплота реакции", равная, согласно Эйнштейновской формуле, $\Delta E = \Delta M \cdot c^2 = 0{,}032 \cdot 9 \cdot 10^{20}$ эргов $= 6{,}9 \cdot 10^8$ больших калорий. Представим себе 2 „грамм-атома" электронов и 4 грамм-атома протонов в виде двух одноатомных газов и предположим, что химическая постоянная этих газов может быть вычислена по формулам, по которым это вычисление производится для обычных одноатомных газов. Мы можем тогда, вместе с Тольманом (6), с помощью теоремы Нернста, вычислить равновесие реакции $4H^+ + 2El \rightleftarrows He^{++}$. Как легко предположить a priori, вычисление приводит к результату, согласно которому даже при температуре до 10^6 градусов и давлении в 10^{-100} атмосфер, т.-е. при условиях, наиболее благоприятных для диссоциации, равновесие все еще должно всецело находиться на стороне ассоциации. Другими словами, водород может вообще существовать в природе в конечном количестве только в силу одной из следующих трех причин: или гипотеза образования He из четырех H с указанной энергией не верна; или реакция эта никогда и ни при каких конкретно осуществленных в природе условиях не происходит с конечной скоростью; или же, количество водорода, исчезающее благодаря превращению в гелий, компенсируется новообразованием водорода путем распада более тяжелых элементов или же самого гелия. Последний процесс не может, разумеется, происходить самопроизвольно, а только с поглощением огромного количества энергии; единственная возможность его заключается, таким образом, в наличии какого-либо космического излучения с необычайно короткой длины волны.

Предположим, что гипотеза строения He^{++} из $4He^{+} + 2El$ верна. Что может препятствовать тому, чтобы везде, где присутствуют одновременно электроны и протоны, не происходило соединения их в ядро гелия? Все шесть участвующих в реакции частиц, по нашим современным представлениям, суть частицы элементарные, не обладающие каким-либо внутренним строением. Следовательно, каких-либо задержек в реакции, аналогичных таковым при обычных химических реакциях, быть не может. Например, O_2 и H_2 не соединяются при обычной температуре потому, что первой ступенью процесса должна быть диссоциация, или возбуждение, требующее энергии, которой не могут доставить взаимные столкновения молекул. Подобных задержек из-за

эндотермичности первых ступеней реакции при образовании гелия из водорода мы себе представить в настоящее время не можем. Но одно затруднение, обусловливающее бесконечную медленность реакции, легко может быть найдено: оно заключается в бесконечно малой вероятности шестерного соударения, необходимого для образования гелиевого ядра. Вероятность эта настолько ничтожна, что, даже при увеличении плотности водорода до десяти тысяч атмосфер, такого рода соударения не в состоянии еще повести к заметной скорости реакции.

Таким образом, с точки зрения теоретической, есть основания считать превращение водорода в гелий неизбежным, но протекающим бесконечно-медленно процессом, который не может быть заметно ускорен с помощью каких-либо доступных экспериментатору средств; ибо применение концентрированной внешней энергии не может играть никакой роли в экзотермическом процессе, не имеющем никаких предварительных эндотермических стадий, а доступная нам шкала давлений слишком ничтожна для заметного увеличения вероятности реакции. Единственная возможность заключается в допущении ступенчатой реакции, постепенного построения гелиевого ядра с образованием промежуточных продуктов, например, изотопа водорода с атомным весом 2 из двух протонов и одного электрона, или „нейтронов“ из 1 протона и 1 электрона и т. д.

Такова теоретическая сторона вопроса. Что касается до экспериментальной стороны, то утверждения об удачном превращении водорода в гелий встречаются в литературе уже давно. Напомним только нашумевшие в свое время опыты самого Рамзая и сотрудников его Колли, Петерсона и Мэссона (7) относительно образования гелия (и неона) в разрядных трубках, наполненных водородом. Проверка этих опытов Стреттом (8), Мертоном (9), Эгертоном (10), Пиутти (11) и др. дала отрицательные результаты, а факт нахождения неона, количества которого обычно даже превышали количества найденного гелия, делает весьма вероятным объяснение результатов Колли, Петерсона и Мэссона проникновением в аппарат следов воздуха; ибо воздух содержит, как известно, неон и гелий в отношении 3:1. Панет и Петерс сообщают, что и они получили отрицательные результаты при попытке повторения опытов образования гелия в разрядной трубке.

Тем неожиданнее и парадоксальнее является положительный результат, полученный этими учеными при действии палладия на водород. Сначала они обнаружили гелий в водороде, пропущенном в вакууме сквозь раскаленный палладиевый капилляр, а позже нашли, что еще более значительные количества гелия могут быть обнаружены в водороде после простого стояния его над активным палладиевым препаратом — палладиевой губкой, палладиевым асбестом и т. п.

Опыты производились таким образом, что водород, стоявший в течение некоторого времени над палладием, смешивался с кислородом и сжигался с помощью того же самого палладиевого препарата. Затем все газы (кроме гелия и неона) поглощались с помощью активного угля при температуре жидкого воздуха, и остаток подвергался спектральному анализу. Отсутствие в спектре линий неона считалось доказательством „чистоты" работы; гелий не мог происходить в этом случае из случайно попавшего в аппарат воздуха.

В результате этих опытов был обнаружен параллелизм между продолжительностью стояния водорода над палладием и количеством гелия; однако, оказалось, что различные препараты палладия обладают весьма различной интенсивностью действия и что даже наиболее активные препараты постепенно теряют свою активность; иногда последняя может быть восстановлена по обычным способам — путем накаливания препарата (в водороде, кислороде или вакууме). В наиболее успешном опыте, при поочередном стоянии препарата в водороде и кислороде в течение нескольких часов, после стояния в водороде было каждый раз обнаруживаемо около 10^{-8} — 10^{-7} *см*^{3} гелия, в то время как после стояния в кислороде — количество гелия было в 10 — 100 раз меньше.

Можно ли считать эти результаты окончательным доказательством успешного превращения водорода в гелий? Большое число возможных источников погрешностей было принято Панетом и Петерсом во внимание и устранено с помощью особых опытов. Источники эти троякого характера: 1) присутствие следов гелия во всех материалах [ср., например, исследования Стретта (12)]; 2) селективная диффузия гелия из воздуха сквозь стекло и кварц (13) и 3) возможное поглощение неона в угле. Из этих трех источников наиболее опасным представляется нам первый. Правда, Панет и Петерс показали с помощью специальных опытов, что палладиевые препараты полностью отдают газ, поглощенный ими в атмосфере чистого гелия, уже при коротком нагревании и что поэтому невозможно предполагать, что препараты эти способны поглощать в заметном количестве гелий из воздуха и удерживать его так прочно, как это необходимо для объяснения результатов опытов. Однако можно представить себе, что поглощенный палладием гелий в действительности при нагревании полностью не выделяется. Быть может, гелий, подобно водороду, обладает способностью проникать в кристаллическую решетку палладия,— хотя и в несравненно меньшем количестве, чем водород; при поглощении водорода „застрявший" в решетке гелий вытесняется водородом, проникающим всю решетку и расширяющим ее, а при последующем нагревании гелий улетучивается.

Судить о вероятности этого и других подобного рода объяснений (a priori, разумеется, мало правдоподобных) можно будет только после

появления подробного описания опытов Панета и Петерса и появления дальнейших исследований по этому вопросу. До тех пор приходится считаться с тем, что результаты Панета и Петерса являются плодом трехлетнего упорного и необычайно тщательного труда, проведенного с затратой больших аппаративных средств, и заслуживают поэтому самого серьезного отношения и доверия.

Если факт превращения водорода в гелий с помощью каталитического действия палладия подтвердится, то, как нам кажется, придется признать наиболее вероятной приведенную выше вторую гипотезу Тольмана. Условия, имеющиеся в наличности в абсорбированном палладиевом водороде, не могут быть в какой-либо особенной, чрезвычайной мере более выгодными для трансмутации, нежели таковые, имеющиеся в природе. По новейшим исследованиям, водород в палладии, как кажется, не находится даже в виде свободных протонов, а в виде нейтральных атомов H; правда, в необычайно высокой концентрации.

Поэтому если реакция действительно происходит в палладии с установленной Панетом и Петерсом быстротой, то она должна в заметной мере протекать и в природе; а, следовательно, присутствие водорода в нашем мире может быть объяснено, согласно вычислениям Тольмана, только постоянным новообразованием его из более тяжелых атомов.

В связи с этим выводом можно напомнить еще о том, что Эддингтон (14) и др. ученые неоднократно указывали на то, что превращение водорода в гелий в природе могло бы служить достаточным ответом на вопрос, откуда покрываются затраты энергии при излучении солнца и других звезд.

ЛИТЕРАТУРА.

1) F. Paneth und K. Peters. Berichte der Deut. Chem. Ges. *59*, 2039 (1926) [Русск. перев. см. УФН, *6*, вып. 4—5 (1926)].

2) J. Chadwick and E. S. Bieler. Phil. Mag. *42*, 923 (1921).

3) См., напр., Petterson und Kirsch в Handbuch der Physik von Geiger und Scheel, том XXII, стр. 171—178 (1926).

4) E. Rutherford. Phil. Mag. *27*, 488 (1914).

5) W. D. Harkins und E. D. Wilson. J. Amer. chem. Soc. *37*, 1367 (1915).

6) R. C. Tolman. J. Amer. chem. Soc. *44*, 1902 (1922).

7) J. N. Collie and H. J. Pattersson. J. chem. Soc. *103*, 419 (1913); Proc., chem. Soc. *29*, 22, 217, J. Masson. Proc. chem. Soc. *29*, 233 (1913); J. N. Collie, H. J. Pattersson and J. Masson. Proc. Roy. Soc. *91*, 30 (1915).

8) R. J. Strutt. Proc. Roy. Soc. *89*, 499 (1914).

9) T. H. Merton. Proc. Roy. Soc. *90*, 549 (1914).

10) A. C. G. Egerton. Proc. Roy. Soc. *91*, 180 (1915).

11) A. Piutti et E. Cardoso. Journ. d. chimie phys. *18,* 81 (1920); A. Piutti. Z. f. Electrochemie. *28,* 452 (1922); A. Piutti e E. Boggio-Lera. Gazzeta chim. italiana *53,* 473 (1923).

12) R. J. Strutt. Proc. Roy. Soc. *80,* 572 (1907).

13) Jaquerod et Perrot. Comptes rendus *139,* 789 (1904); *140,* 1542. Archive des sciences phys. et nat. *18,* 613 (1904); *20,* 128 (1905); Jaquerod et Przempski ibid., *34,* 255 (1912); Williams and Ferguson (J. Amer. chem. Soc. *44,* 2160 (1922); *46,* 635 (1924); Lo Surdo Atti Accad. Lincei *30,* I, 85 (1921).

14) A. S. Eddington. Nature; прибавл. к № от 9/XII 1923.