

ПРЕВРАЩЕНИЕ ВОДОРОДА В ГЕЛИЙ ¹⁾).

Фриц Панет и Курт Петерс.

1. Основная идея работы.

При современной разработке гипотезы Прюта (Prout), при астрофизических вычислениях продолжительности жизни неподвижных звезд и при объяснении происхождения Гессовского (Hess) излучения с точки зрения радиоактивности теоретически необходимо допустить возможность превращения водорода в гелий. Однако, осуществить это превращение элементов до сих пор не удалось, хотя с этой целью применялись самые различные виды электрических разрядов при затрате больших количеств энергии.

Сама эта реакция должна выделять громадные количества энергии; из уменьшения массы четырех грамматомов водорода при переходе в гелий можно вычислить тепловой эффект реакции, равный $6,4 \cdot 10^{11}$ калорий. Поэтому, вообще нельзя считать установленным, что проведение этой реакции требует доставки энергии извне. Другая возможность проведения этой реакции в заметном масштабе, быть может, заключается в том, чтобы каталитически ускорить реакцию, которая протекает сама по себе неизмеримо медленно. Основной мыслью этой работы и было: попробовать, превращается ли водород частично в гелий без доставки энергии извне, если привести его в контакт с подходящим катализатором; при этом, в качестве катализатора мы заранее остановились на палладии.

У нас не было, конечно, никаких данных для предварительного учета количеств гелия, которые могли образоваться из водорода в течение практически возможного времени опыта при самых благоприятных условиях. Однако надежды на получение искомого эффекта должны были быть тем больше, чем точнее мы могли произвести аналитическое определение гелия. Попытки повысить образующееся количество гелия должны были быть дополнены с другой стороны

¹⁾ Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, 59, 2039 (1926).

попыткой уменьшить то количество гелия, которое мы еще можем определить: таким образом мы надеялись, действуя сверху и снизу, свести опыт к величине одного и того же порядка. Конечно, в начале работы мы не могли судить о том, достижима ли эта цель. Теперь, после того, как мы несколько лет занимались этой проблемой, мы думаем, что нам удалось ее решить, и в дальнейшем изложим вкратце наши результаты. Более подробная статья с рисунками аппаратуры и с литературными указаниями, появится в другом месте.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕЛИЯ.

Усовершенствованием обычного до сих пор способа спектроскопического исследования гелия мы понизили границу возможного определения его до 10^{-8} — 10^{-9} см³ (что соответствует 10^{-12} — 10^{-13} г). Прежде всего мы удаляем обычным способом более легко конденсирующиеся газы, поглощая их углем, охлажденным жидким воздухом; затем избытком кислорода окисляем водород в воду. Это соединение мы производим не так, как это обычно делается, электрическим разрядом, а сжигаем водород, пользуясь платиной или палладием в качестве катализатора. Избыток кислорода затем поглощается охлажденным углем, а небольшой объем оставшегося газа переводится в стеклянный капилляр с диаметром отверстия 0,1 мм, обернутый снаружи проволочными электродами. Благодаря тонкости капилляра он может заменить шель спектроскопа.

Кроме остающихся при такой обработке несконденсированными газов неона и гелия, в начале пропускания разрядов через капилляр обыкновенно наблюдаются также ничтожные следы водорода, а иногда и других газов. Особо благоприятно для определения малых количеств гелия то обстоятельство, что при долгом электрическом возбуждении безэлектродной стеклянной трубки все газы исчезают раньше чем легкие благородные газы — гелий и неон.

Нашим способом не достигается удаление неона, и вообще его добиться трудно. Если бы даже его и можно было произвести каким-нибудь другим способом¹⁾, при нашей постановке проблемы этого следовало бы избежать. Действительно, присутствие неона является чрезвычайно ценным указанием на то, что приток атмосферный воздух. Опасность его проникновения через не вполне безупречный кран или плохое место в стекле очень велика; при появлении малых количеств гелия мы только в том случае можем быть вполне уверены, что он не попал вместе с воздухом, если поглощение поставлено так, что в этом случае вместе с гелием оказался бы в спектральной трубке также и неон.

¹⁾ Напр. фракционированием через горячее стекло (см. ниже).

Таким образом, мы считаем доказанным присутствие гелия не-атмосферного происхождения только в том случае, если он либо совершенно свободен от неона, либо в спектре линии неона выступают гораздо слабее, чем это соответствует содержанию неона в смеси неон-гелий из воздуха.

Мы не могли добиться во всех наших опытах полного отсутствия линий неона, так как спектроскопическая чувствительность гелия по отношению к загрязнению неоном необыкновенно велика; несколько процентов неона, прибавленные к гелию, уже вызывают появление большинства линий неона. Все же, если процентное содержание неона очень мало, из характера спектра можно с уверенностью заключить, что большую часть газа составляет гелий.

Чтобы испытать чувствительность нашего метода определения гелия, мы попробовали доказать образование гелия из активного тория, которое несомненно происходит, как результат его α -излучения, но которое прежними методами не удавалось доказать экспериментально. Это нам удалось без всяких затруднений. От препарата торий В — торий С, эквивалентного 3 м. радия¹⁾ мы получили блестящий спектр гелия. Как легко вычислить, количество определенного нами гелия равнялось в этом случае 10^{-7} см³.

Так как в нашем капилляре мы могли безошибочно определить (качественно) еще по крайней мере в 10 раз меньшее количество гелия, мы приходим к пределу чувствительности нашего метода — по меньшей мере 10^{-8} см³. Мы думаем, что самое слабое, но ясное появление зеленой линии гелия $\lambda = 5016 \text{ \AA}$, по которому мы определяли самые ничтожные следы гелия, может быть наблюдаемо при количествах еще в десять раз меньших: этот предел чувствительности нашего метода точно еще не установлен, так как при решающих опытах мы не хотели доводить определение гелия до крайних достижимых пределов.

Укажем также, что разработка по возможности чувствительного и притом простого метода определения гелия, может оказаться полезной при исследовании различных других связанных с гелием вопросов. Так, этот способ позволил Гюнтеру (Günther) определить содержание гелия в железных метеоритах, в которых содержание радия доходило до $5 \cdot 10^{-11}$ г на грамм вещества. Это дало нам возможность сделать первое, насколько нам известно, определение возраста метеорита. Для метеорита Mount Joy мы получили минимальный возраст в 600 миллионов лет²⁾.

¹⁾ За любезное предоставление препарата мы высказываем нашу сердечную благодарность г. О. Гану и г-же Лизе Мейтнер из Kaiser Wilhelm Institut für Chemie в Берлине. Далем.

²⁾ За предоставление нескольких грамм этого метеорита мы высказываем благодарность г. Михелю, директору Естественно-Исторического музея в Вене.

Другая область, в которой наш метод с небольшими изменениями оказался полезным — это исследование природных газов на содержание гелия. Тогда как до сих пор для этого требовалось несколько литров или, по меньшей мере, несколько сот см^3 газов, Гелен (Gehlen) производил такие анализы с несколькими см^3 . Это является значительным упрощением, особенно при взятии проб. При ряде исследований газовых источников на содержание гелия получился следующий интересный результат: в одном немецком газовом источнике обнаружено содержание гелия в 10 раз большее, чем в богатейшем источнике природного газа, до сих пор известном в Германии. Этот новый источник, с содержанием гелия 0,19 % приближается к Канадским источникам с 0,33 %, из которых гелий добывается для технических целей. В настоящее время производится исследование вопроса, выгодно ли техническое добывание гелия из немецкого источника.

3. Поверка прежних данных об искусственном образовании гелия.

Хотя большая часть встречающихся в литературе утверждений об образовании гелия при электрических разрядах уже опровергнута позднейшими исследованиями, более тщательными в экспериментальном отношении, нам все же казалось нужным проверить некоторые из этих указаний нашим чрезвычайно чувствительным методом.

Так, Стрётт (Strutt) оставил открытым вопрос, не выделяются ли при бомбардировке некоторых солей катодными лучами количества гелия, достаточные для того, чтобы их можно было [как утверждал Томсон (J. J. Thomson)] обнаружить если не спектроскопически, то по крайней мере посредством положительных лучей.

Однако, из данных Томсона можно вычислить, что количества гелия, которые можно обнаружить в его приборе, доступны определению и в нашей аппаратуре. Эта проверка была предпринята Геленом; после долгой бомбардировки солей он не мог обнаружить спектроскопически ни малейших следов гелия.

Далее в течение многих часов мы подвергали водород в озонизаторе действию темных электрических разрядов. Мы выбрали этот способ подведения электрической энергии, так как здесь можно работать без электродов и при тщательном исключении всяких следов воздуха, а также изменять давление газа, напряжение и силу тока в довольно широких пределах. В озонизаторе мы тоже не могли установить появления гелия, хотя бы в самых ничтожных количествах.

Наконец, в связи с указаниями некоторых авторов на образование гелия при этих условиях, мы пропускали в течение нескольких

часов сильные электрические разряды через водород в гейслеровой трубке с алюминиевыми электродами. Результат исследования на гелий здесь также был совершенно отрицательный. Поэтому, в вопросе об образовании гелия из водорода при электрическом разряде, мы присоединяемся к мнению тех авторов, которые отрицают его появление в измеримых количествах.

4. Появление гелия при воздействии палладия на водород.

Упомянутую вначале мысль о превращении водорода в гелий воздействием палладия мы попробовали сперва осуществить в следующей форме. Водород в возможно больших количествах — до литра и выше — пропускался через горячий палладий. Мы ожидали, что в момент выхода, быть может, часть неупорядоченно расположенных и находящихся в сравнительно высокой концентрации протонов и электронов соединится не в водородные атомы, а в гелиевые ядра.

Большая часть водорода, поступавшего в наш аппарат через раскаленный докрасна палладиевый капилляр, связывалась нагретым кальцием или же выпускалась в пустоту через другой палладиевый капилляр; остаток удалялся, как было указано выше, сжиганием в избытке кислорода, и оставшиеся газы исследовались спектроскопически. Аппаратура все же была очень сложна, и было очень трудно исключить воздух настолько совершенно, чтобы его нельзя было обнаружить по присутствию неона в спектральной трубке; количество неона заключающееся в 1 см^3 воздуха, т.-е. $1,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3$ неона уже нарушает чистоту опыта. В отдельных опытах однако удалось совершенно исключить проникновение воздуха. В этих случаях иногда можно было видеть несколько слабых линий гелия; их однако было недостаточно, чтобы убедиться в пригодности нашего палладиевого капилляра для образования гелия, прежде всего потому, что не наблюдалось пропорциональности между яркостью линий гелия и прошедшим через капилляр количеством водорода, т.-е. продолжительностью опыта. Поэтому мы пришли к выводу, что при пропускании водорода через раскаленный палладий гелий не образуется в таких количествах, которые мы могли бы с уверенностью установить нашими средствами.

Все же указанные опыты были единственными, давшими хотя бы намеки на образование гелия. Так как у нас получилось впечатление, что остающийся в аппаратуре после опыта водород дает в холодном капилляре такой же едва уловимый эффект как гораздо большие количества водорода, проходящие через горячий капилляр, мы пришли к предположению о том, что образование гелия протекает на поверхности палладия при комнатной температуре. Если это предпо-

ложение правильно, эффект должен увеличиваться при увеличении поверхности палладия.

Поэтому следующие опыты мы ставили с различными препаратами палладиевой черни, палладиевой губки и палладиевого азбеста. Вместо того, чтобы пропускать водород через палладий, мы ему давали поглощаться палладием, а затем через различные промежутки времени сжигали кислородом на том же палладиевом препарате. Этим было достигнуто значительное упрощение установки, и гораздо легче было избежать проникновения воздуха, чем в аппаратуре с палладиевым капилляром. Одновременно с чистотой наших гелиевых спектров повышалась также и сила эффекта. Нам удавалось изготавливать препараты, которые уже через 12 часов отдавали при нагревании одновременно с водородом количество гелия, достаточное для получения 4—5 линий гелиевого спектра без единой линии неона. У других менее удачных препаратов мы могли установить ясные спектры гелия по прошествии нескольких дней или недель. При этих опытах у нас с самого начала сложилось впечатление, что не наблюдавшаяся раньше пропорциональность между эффектом и продолжительностью опыта здесь осуществляется, хотя бы и в самых грубых чертах. Точное установление этой пропорциональности нам пока не удалось, так как до сих пор количества гелия не достигающие до 10^{-7} см³ мы могли только оценивать по порядку величины.

Кроме того мы наблюдали, что не только два казалось бы совершенно одинаково приготовленных препарата палладия часто отличаются по своему действию, но и один и тот же препарат склонен уменьшать свою активность с течением времени.

Известно, что положительная способность палладия по отношению к водороду подвержена необъяснимым колебаниям, и „активный“ палладий сам по себе постепенно становится „инактивным“. Мы испытывали методы, рекомендуемые для восстановления активности палладия: нагревание в водороде или кислороде или в смеси обоих, или в вакууме, и действительно во многих случаях добились успеха; палладий, который уже больше не давал гелия в заметных количествах, становился после такой обработки снова „активным“ в этом отношении. Наши опыты показали, что параллелизм между активностью палладия в смысле связывания водорода и активностью в отношении образования гелия существует только постольку, поскольку ни один препарат не связывавший водорода, не давал и гелия; с другой стороны, препараты хорошо поглощавшие водород иногда давали очень мало или совсем не давали гелия, а именно в тех случаях, когда насыщение палладия водородом производилось при нагревании.

Так как из палладиевых препаратов с большой поверхностью гелий можно совершенно удалить только при высокой температуре,

мы предположили, что гелий можно будет обнаружить во всех таких препаратах, лежавших продолжительное время без употребления при комнатной температуре — так как при этих условиях они содержат некоторое количество связанного водорода. Различные исследованные нами в этом направлении старые препараты палладия все без исключения подтвердили этот взгляд; так как без нагревания нельзя удалить без остатка также и адсорбированный и окклюдированный воздух, мы, конечно, не получили чистого гелия, а смесь гелия с неоном, в который однако ясно можно было установить обогащение гелием. Количества гелия, в соответствии с продолжительностью опыта, были относительно велики; так, 1 г 50%-ного палладиевого азбеста, который мы за 2 года перед тем получили от фирмы Кальбаум и который был приготовлен, возможно, еще раньше, дал 10^{-6} см³ практически чистого гелия.

Так как это количество по сравнению с полученными от других, более старых препаратов, было ненормально велико, мы заключили, что этот палладиевый азбест еще и теперь необыкновенно активен по отношению к гелию. Мы исследовали образование гелия на нем и на приготовленных нами препаратах. Он оказался, действительно, гораздо лучшим чем все наши препараты, а также чем другие образцы палладиевого азбеста той же фирмы. С ним оказалось возможным провести ряд опытов, которым мы придаем особенно большое значение. В течение нескольких дней мы его держали в нашем непроницаемом для воздуха приборе и попеременно насыщали водородом и кислородом. Перед каждой сменой насыщающего газа мы исследовали количество заключенного в нем гелия. После 12-часового стояния в кислороде появлялись лишь едва заметные следы гелия, присутствие которых легко объяснить образованием их из остатков водорода. После того как палладиевый азбест непосредственно после этого находился 5 часов в атмосфере водорода, анализ дал в 10—100 раз большее количество гелия. Этот опыт мы повторили 3 раза подряд с одним и тем же результатом. Когда мы начали исследование этого палладиевого азбеста, на нем образовывалось гелия из водорода 10^{-8} — 10^{-7} см³ в день; после 20-кратного нагревания и этот азбест стал инактивным. Попеременной обработкой в кислороде и водороде при различных температурах мы вернули ему способность образовывать гелий, но уже не в том размере, как сначала: он давал в день лишь 10^{-9} — 10^{-8} см³ гелия, — количество, которое давали также некоторые из приготовленных нами препаратов.

Мы исследовали образование гелия не только на палладиевых препаратах, но также на платиновом азбесте, платиновой черни, платиновой губке и на пиррофорном порошке никеля. Некоторые отдельные препараты платины дали явно положительные результаты, хотя эффект всегда был меньше, чем с луч-

шими препаратами палладия. Активность никеля как будто бы еще меньше, но все же, на основании полученных до сих пор результатов, мы склоняемся к взгляду, что и она лежит в пределах измеримости.

5. Обсуждение источников ошибок.

Мы, понятно, неоднократно ставили себе вопрос, нельзя ли объяснить присутствие гелия в нашей аппаратуре тем, что он в ней находился еще до опыта.

Проще всего допустить, что гелий происходит из воздуха. Как было упомянуто выше, простого дефекта в приборе, пропускающего воздух, для объяснения недостаточно, так как в этом случае гелий и неон должны были бы находиться в том же количественном отношении, в каком они находятся в воздухе. Гелий из воздуха можно привлечь в качестве объяснения только в том случае, если можно указать механизм, который мог бы производить фракционирование воздуха, обогащающее его гелием.

Такой механизм при известных обстоятельствах может быть осуществлен. При данной продолжительности наших опытов и при комнатной температуре стекло достаточно непроницаемо для гелия, но при высокой температуре оно пропускает заметные количества этого газа ¹⁾.

Неон проходит через стекло настолько медленнее гелия, что из атмосферного воздуха можно получить гелий почти свободный от неона путем однократного пропускания через горячее стекло ²⁾. Поэтому мы позаботились о том, чтобы трубка с палладиевым препаратом,—единственная часть нашей установки, которая в течение короткого времени подвергается нагреванию, (для сжигания водорода и удаления гелия),—была окружена вакуумной муфтой, погруженной в воду. Как показали многочисленные контрольные опыты, этим путем удается совершенно прекратить проникание гелия из воздуха.

Вторая возможность фракционирования гелия от неона основывается на способности стекла селективно адсорбировать гелий из смеси гелия с неоном и затем его растворять. Мы ставили опыты со стеклянными трубками, которые в течение нескольких дней были наполнены смесью неона и гелия в таком же отношении

¹⁾ Специальными опытами мы установили, что даже при комнатной температуре стекло не может считаться вполне непроницаемым для гелия, если работать по такому чувствительному методу как наш; все же в нашем приборе проникающий через стекло гелий можно было едва обнаружить через неделю. При опытах длившихся несколько дней или недель мы погружали соответственные стеклянные части в воду. При соблюдении этой предосторожности количество гелия, проникавшее в прибор за несколько месяцев оставалось за пределами чувствительности нашего метода.

²⁾ Германский патент, D. R. P. 431507.

как в атмосфере, при общем давлении в $\frac{1}{3}$ атмосферного. При нагревании подготовленных таким образом трубок выделяется почти чистый гелий. Однако количества гелия, которые могут быть извлечены стеклом из атмосферного воздуха, настолько ничтожны, что стеклянные трубки, в которых находились препараты палладия, не могли сколько-нибудь значительно изменить количества гелия, найденные в наших опытах. Это также было подтверждено специальными контрольными опытами.

То явление, что палладиевые препараты лучше всего действуют вскоре по приготовлении, может вызвать подозрение, что эти препараты при их приготовлении насыщаются гелием из воздуха, отдают этот гелий только после многократного нагревания и таким образом истощаются. Однако, можно показать, что палладий, в противоположность стеклу, не обладает способностью селективно адсорбировать гелий: точно также он не растворяет гелия и не пропускает его путем диффузии. Особыми опытами мы убедились, что количества гелия, адсорбированные палладием одновременно с неоном из смеси неон — гелий под давлением в $\frac{1}{3}$ атмосферного, отдаются палладием при однократном нагревании настолько полно, что вторичное выделение их доказать нашим методом нельзя. При этом безразлично, изготавливаются ли препараты термическим разложением хлористого палладата в упомянутой смеси (при этом металлический палладий *in statu nascenti* приходит в соприкосновение с гелием), или же палладиевый азбест, полученный осаждением палладия из раствора, помещается затем в атмосферу гелия и неона. Парциальное давление гелия в воздухе составляет всего лишь одну 20 000-ную часть парциального давления гелия в наших опытах; поэтому препараты палладия, находившиеся в соприкосновении не с гелием в высокой концентрации, а только с воздухом, не могли адсорбировать гелий в значительном количестве и затем отдавать его с большим трудом, что следовало бы допустить для объяснения наших результатов с этой точки зрения. Азбест также не обладает способностью извлекать гелий из смеси неон — гелий, как показали наши опыты; кристаллический азбест ведет себя в этом отношении совершенно иначе чем аморфные вещества — стекло и плавленый кварц.

В наш аппарат вводились во время опытов только водород и кислород. Оба брались из специально сконструированного электролизера, который до употребления освобождался от последних следов воздуха эвакуированием и многочасовой работой. Каждый из этих газов содержал, согласно нашим измерениям, меньше чем 0,001 воздуха. Но если бы даже предположить, что вследствие внезапно случившейся течи произошло загрязнение газов воздухом, этим нельзя было бы объяснить появление гелия свободного от неона, так как здесь опять-

таким образом, механизм, который мог бы производить фракционирование; можно было бы еще предположить, что палладий селективно поглощает неон и этим путем повышает содержание гелия в оставшемся газе. Мы показали, что это предположение неверно следующим образом: палладиевые препараты, отдававшие при нагревании гелий, мы совершенно растворяли в нашем замкнутом приборе и анализировали выделявшиеся при этом газы. В них также отношение количества гелия к неону было больше, чем в атмосферном воздухе.

Растворяя старые куски палладиевой жести и исследуя получающиеся при этом газы, мы убедились, что сам палладий не дает гелия, что могло бы происходить в результате особого рода радиоактивного распада. Так как палладий для гелия непроницаем, последний должен был бы собираться внутри палладия. Даже в палладии 10-летней давности мы не могли установить присутствия гелия, за исключением следов, лежащих на границе возможности определения, которые можно отнести за счет связанного на поверхности водорода.

Из старых образцов платиновой жести, исследованных нами, большая часть также не содержала гелия; в одном образце мы однако нашли заметные количества его. Чем вызвано это отличие от других образцов, мы не можем сказать, пока не будут поставлены новые опыты; возможно что эта жечь, долго бывшая в работе, содержала пустоты, так что с течением лет гелий мог в них образоваться, но не имел возможности выйти.

6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Таким образом, мы нашли, что все источники ошибок, которые следовало принять во внимание, недостаточны для объяснения наблюдаемых эффектов. Это привело нас к заключению, что гелий, появляющийся в нашей аппаратуре образуется от воздействия палладия на водород. То, что гелий не появляется при насыщении палладия кислородом и вновь образуется при насыщении водородом, не допускает, как нам кажется, никакого другого толкования. Даже если предположить, что палладий содержит гелий (что противоречит показанному в предыдущем параграфе), нужно было бы добавить еще одну гипотезу — что этот гелий может быть освобожден из палладия только водородом. Что водород не обладает способностью делать палладий проницаемым для гелия, мы доказали особым опытом: палладиевый капилляр, прокаленный в смеси чистого гелия (из монацитового песка) и водорода, пропускал так же мало гелия, как и в том случае, если прокаливанию производилось в гелии лишенном водорода.

Из наших опытов нельзя вывести прямого заключения, что гелий образуется при взаимодействии водорода и палладия, потому, что катализ способствует присущей водороду тенденции превращаться в гелий (это являлось нашей основной предпосылкой). Но если вообще решиться допустить образование гелия, это остается наиболее вероятным объяснением. Палладию можно приписать роль катализатора; в пользу, этого говорит то, что платина качественно действует так же но количественно слабее.

Продолжение работы должно главным образом выяснить на чем основывается различная активность разных палладиевых препаратов и одного и того же препарата в различное время. Нам кажется, что сейчас еще слишком рано искать связь этой активности с аллотропными модификациями палладия, существование которых предполагается на основании других данных. Предположение о том, что только адсорбция водорода дает эффект, а поглощение его не действует, мы можем высказать только с большой осторожностью, хотя есть кое-какие факты, говорящие в пользу этой гипотезы. Лишь с увеличением количества экспериментального материала можно будет сказать, насколько обоснованы надежды на возможность увеличения скорости образования гелия.

Дальнейший важный вопрос, который мы должны были оставить неразрешенным, касается определения больших количеств энергии, которые по всей вероятности освобождаются при образовании гелия. Неоднократно указывалось, что всякое образование гелия должно сейчас же проявиться громадным выделением теплоты. Однако, ожидаемые количества энергии, правда, невероятно велики относительно — по сравнению с выделяющимися при химических реакциях, — но по абсолютной величине, даже при образующихся в наших опытах количествах гелия, все еще настолько малы, что не могут быть обнаружены нашим методом. При образовании 10^{-8} см³ гелия можно ожидать теплового эффекта в 0,28 кал; но при насыщении палладия водородом наблюдаются гораздо более значительные тепловые эффекты, которые можно отнести отчасти за счет теплоты абсорбции, отчасти — теплоты образования химического соединения, отчасти же — теплоты сжигания остатков кислорода. На ряду с этими тепловыми эффектами, тепловой эффект образования гелия в столь малых количествах очень трудно установить.

Кроме того существует возможность, и даже, по теоретическим основаниям, вероятность первоначального превращения выделяющейся энергии образования гелия не в теплоту, а в излучение. Мы неоднократно пытались обнаружить γ -излучение вблизи насыщенных водородом палладиевых препаратов или выделение электронов при пропускании водорода над палладием, но ни в том, ни в другом случае (несмотря на существующие в литературе указания) не получили ни-

какого действия на электроскоп. Эти опыты будут продолжены с усовершенствованными средствами, но успех их сомнителен: даже в том случае, если соединение водородных атомов в гелий сопровождается излучением, мы по всей вероятности не сможем его обнаружить. Оно должно быть настолько проникающим, что мы его не сможем уловить нашими приборами, пока оно не испытает многократного рассеяния электронами (эффект Комптона).
