

Экспериментальные попытки расщепления вольфрама при высоких температурах

Дж. Вендт, К. Айрион ^{a,b,c}

20 лет назад был открыт распад¹ атомов; недавно Резерфордом было открыто расщепление атомов при воздействии альфа-частиц на лёгкие атомы [1]. С учётом этого, астрономические свидетельства того, что тяжёлые атомы нестабильны при высоких температурах [2], требуют лабораторного подтверждения. Это стало возможным благодаря работе Андерсона [3], чей метод взрывания проволок при температуре свыше 20000°, явно выше температуры самых горячих звёзд, был оценён в спектроскопии. В нашем приложении этого метода проволоки взрывались внутри прочных стеклянных колб, так что газообразные продукты взрыва можно было собрать для анализа. Таким образом, метод включает факторы, по происхождению и по возможной ошибке аналогичные тем, что присутствовали в обширном и незавершённом споре об образовании гелия в различных типах разрядных трубок при низком давлении, имевшем место с 1905 по 1915 гг.

I. ОБОРУДОВАНИЕ

Принципиальная электрическая схема показана на Рис. 1. Первичная обмотка трансформатора Т питается от переменного напряжения 220 В через индуктивное сопротивление Е. Для защиты питающей цепи от вредных обратных импульсов при разряде зарядного конденсатора через вторичную обмотку, в первичную цепь включены два конденсатора по 0,1 мкФ с заземлённой общей точкой (А). Первичная цепь выдерживала до 40 А во время короткого периода зарядки большого конденсатора. Вторичная обмотка была рассчитана на 100 кВ, хотя реально использовалось напряжение около 30 кВ. Вторичная обмотка была соединена с обкладками большого конденсатора С, через выпрямитель с накаливаемым катодом (кенотрон) R, который был специально спроектирован на высокую нагрузку и

^a Университет Чикаго, Химическая лаборатория им. Кента.

^b Оригинальная публикация: Wendt G. L., Irion C. E. Experimental attempts to decompose tungsten at high temperatures // Journal of the American Chemical Society. – 1922. – v.44. – No.9. – pp. 1887-1894.

^c Перевод на русский язык выполнил В.А. Жигалов.

¹ В целях ясности изложения предполагается, что термин “распад” обозначает самопроизвольный процесс радиоактивности, “расщепление” - разделение сложного атома на более простые части, а под “трансмутацией” понимается некоторый вид синтеза атомных ядер.

большую надёжность. Его катод разогревался батареей из сухих элементов В. Разрядная цепь шла из обкладок конденсатора и состояла из искрового промежутка S и взрываемой проволоки Н. Разрядная цепь была короткой, из толстой медной ленты, чтобы свести к минимуму сопротивление и индуктивность и обеспечить быстрый и неосциллирующий разряд через проволоку в минимальное время, и таким образом сконцентрировать подвод энергии и обеспечить максимальную температуру в материале проволоки. Для получения максимальной ёмкости и высокого выдерживаемого напряжения конденсатор состоял из 100 стеклянных пластин 60x75 см, покрытых жестяной фольгой, и погружённых в твёрдый парафин с промежутком 5 мм между пластинами. Конденсатор показывал разряды на краях пластин при 30 кВ, но выдерживал до 45 кВ без пробоя. Его ёмкость была около 0,1 мкФ. Искровик состоял из двух медных сфер, промежутки настраивались на максимальное напряжение конденсатора. Он использовался как единственное средство регулирования напряжения, при котором происходит взрыв проволоки, для защиты конденсатора от чрезмерного заряда трансформатором, и для обеспечения полного и резкого разряда в нужный момент.

В качестве материала для взрывающейся проволоки был выбран вольфрам, главным образом из-за его высокой атомной массы, что делает его расщепление возможным по выдвинутой гипотезе, и поскольку он достаточно прочен для обычных манипуляций даже в виде очень тонкой проволоки. Проволоки были 0,035 мм в диаметре, 4 см длиной и весом от 0,5 до 0,7 мг. Они были достаточно прочны для того, чтобы вставлять их враспор между большими электродами на рис. 2 без сварки или дополнительных зажимов.

Конструкция взрывной колбы показана на рис. 2. Она имеет объём около 300 см³ и сделана из толстого пирекса без напряжений, хорошей сферической формы, что было важно для выдерживания огромных мгновенных давлений. Толстые колбы неизменно лопались при взрыве из-за недостаточной упругости. Тонкие колбы могут быть использованы при погружении колбы в сосуд с водой, что даёт достаточную поддержку наряду с упругостью.

Большая боковая трубка является горлышком, которое запаивается при отсоединении от вакуумного насо-

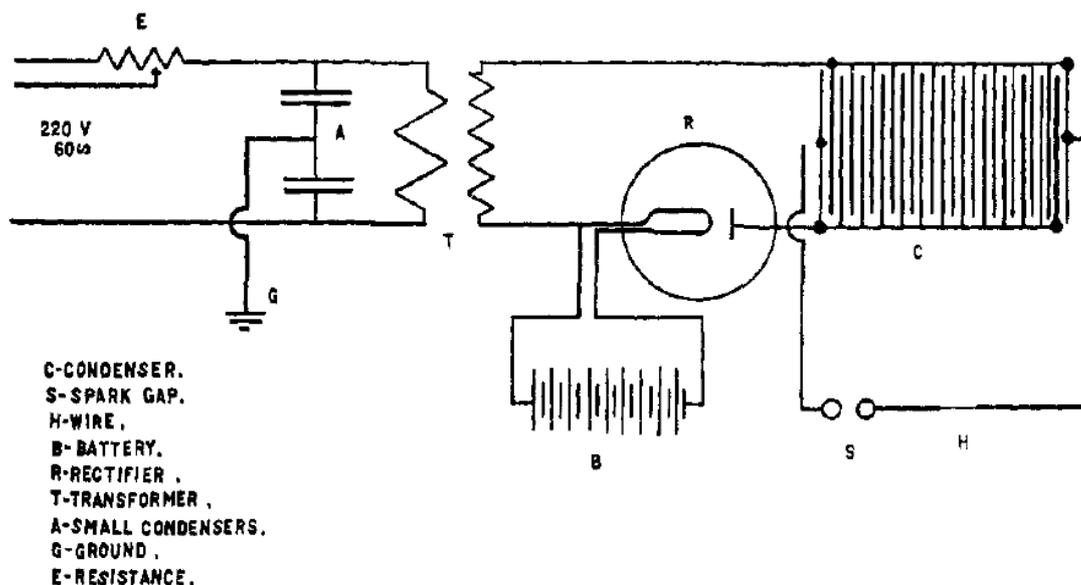


Рис. 1.

са после откачки, также через неё вставляется с помощью пинцета проволока между электродами. Меньшая боковая трубка содержит третий впаянный электрод и используется для спектрометрического исследования газа внутри, один из других электродов служит вторым выводом от катушки возбуждения.

Три электрода выполнены, как показано на рис. 2. В – собственно электрод, сделанный из вольфрамовой проволоки В. и S. №20². Он был впаян через стенки из пирекса показанным образом для механической прочности. Вся поверхность электродов была первоначально покрыта толстым слоем пирекса А. Затем конец был осторожно сошлифован до появления вольфрама. Затем на торце было высверлено отверстие С 80-м сверлом, диаметром 0,343 мм, глубиной менее 0,76 мм, для получения тонкого отверстия под взрываемую проволоку. Затем электроды были впаяны в колбу. Такой метод впаивания электродов имеет две цели: исключение шансов затекания воздуха вовнутрь через место впаивания после откачки, и предотвращение выделения газа из этих электродов в результате нагрева во время взрыва. При таких электродах действию взрыва подвержена только поверхность трёх маленьких отверстий, и одна из них, в спектрометрическом капилляре, удалена от места взрыва. В некоторых ранних взрывах впаивались латунные электроды, с приваренной вольфрамовой проволокой.

II. ВЗРЫВЫ В ВАКУУМЕ

Использовались два основных метода взрыва. В одном колба откачивалась и полученные газы спектроскопически исследовались без открытия колбы. В другом

²Мы признательны за это Fansteel Products Co, Северное Чикаго, Иллинойс.

взрыв происходил в атмосфере углекислого газа, и затем газы пропускались через нитрометр для адсорбции углекислого газа, и анализировался оставшийся газ.

Вакуумный метод является более строгим для исключения примесей. Для удаления примесей газов и для того, чтобы получить максимально лучший взрыв, вакуумирование должно быть максимально полным. В неидеальном вакууме ток образует дугу через газ в колбе, минуя сопротивление проволоки, что даёт лишь неполный и низкотемпературный взрыв. Система откачки состояла из хорошего масляного насоса Nivac, который обеспечивал предварительную откачку менее 0,01 мм рт. ст. Он был соединён с батареей из двух последовательно соединённых ртутно-диффузионных насосов.

Эти насосы работали 15 ч непрерывно со взрывной колбой, припаянной напрямую к пирекс-трубке насоса, с ловушкой из жидкого воздуха между колбой и насосом, для улавливания паров ртути, и боковой трубки, содержащей около 100 см³ тщательно дегазированного активированного угля, который был погружён в жидкий воздух непосредственно перед запаиванием взрывной колбы. На протяжении 15 ч вакуумирования взрывная колба держалась внутри печи при температуре чуть выше 350° для того, чтобы удалить газы, адсорбированные внутренней поверхностью колбы. Одновременно пропускался ток около 0,2 А от батареи через два электрода-держателя и проволоку, так что проволока была при температуре свыше 2000° в течение 15 ч, хотя более массивные электроды не были накалены докрасна.

Таким образом, можно надеяться на удаление из проволоки любых растворённых или адсорбированных газов, в частности водорода, которым проволока обрабатывалась при изготовлении, и гелия, который мог

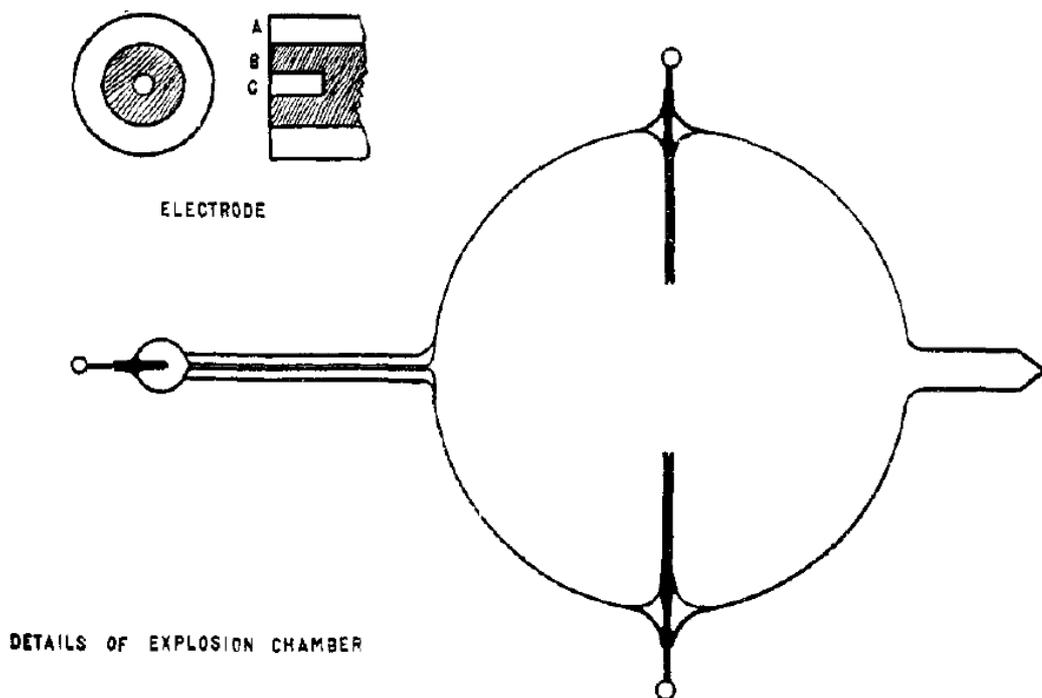


Рис. 2.

появиться из примеси тория в металле. После 15 ч боковая трубка погружалась в жидкий воздух для завершения вакуумирования, и ещё через 10 мин колба аккуратно запаивалась. Откачанная таким образом колба не показывала спектра или флюоресценции, а также проводимости при подключении индукционной катушки 50 кВ. Несколько протестированных таким образом колб сохраняли эти свойства на протяжении 12 ч перед взрывом.

Затем колба была подключена к обкладкам конденсатора через искровой промежуток, и замыканием первичной цепи трансформатора проволока взрывалась. Была задержка в доли секунды до полного заряда конденсатора до 30 кВ, и затем проволока исчезала в яркой вспышке. Разряд автоматически размыкал разрядную цепь, первичная цепь размыкалась до следующего разряда. После такого полного взрыва не оставалось пыли, дыма или твёрдых остатков

После взрыва в колбе присутствовал газ. Его визуальная спектроскопия неизменно показывала присутствие сильнейшей зелёной линии ртути, по-видимому, от обратной диффузии из насосов. Единственная другая линия, неизменно присутствующая и положительно идентифицированная, была жёлтой линией гелия. Она была всегда яркой, при достаточном токе возбуждения, хотя после этого она ослаблялась после пропускания тока в течение некоторого времени. Это характеристика гелия, который при некоторых условиях легко поглощается электродами. Для идентификации гелия спектр сравнивался со спектром от трубки с чистым гелием, работавшей в той же электрической цепи. Другие тусклые линии, которые ещё не были идентифи-

цированы, были две красные, одна яркая голубая, и одна бледная фиолетовая. Иногда были видны две другие жёлтые линии и вторая фиолетовая. Это отчёт о предварительной работе, и для спектроскопических исследований этих линий было недостаточно времени. Однако судя по всему, водород и неон отсутствовали.

Присутствие гелия и отсутствие водорода интересно по двум причинам. Во-первых, это снимает возражение о том, что гелий появился из газа, оставшегося в проволоке, поскольку в этом случае водород также должен быть виден, т.к. он, вероятно, присутствовал первоначально в проволоке в гораздо большем количестве, чем гелий³. Во-вторых, если гелий возникает при расщеплении атомов вольфрама, отсутствие водорода также интересно, поскольку атомный вес вольфрама ровно в 46 раз больше атомного веса гелия, и Резерфорд [1](d) также не удалось детектировать водород при бомбардировке альфа-лучами углерода, кислорода, магния, кремния и серы, чей вес кратен 4, хотя он детектировал его при бомбардировке бора, азота, фтора, натрия, фосфора и алюминия, чей вес не кратен 4.

III. ВЗРЫВЫ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

Хотя вакуумный метод является более строгим для исключения загрязнений, он не позволяет ни измерить объём получающегося газа, ни собрать полученные

³ Адекватным методом исключения этой ошибки могло бы быть взрывание проволоки, используя большую индуктивность, при этом получалась бы большая экспозиция и более низкие температуры. Таким образом могла быть подобрана температура, которая бы обеспечивала полное испарение, но ниже температуры расщепления. Мы сожалеем, что не хватило времени для осуществления такого теста.

образцы, чтобы сформировать объём, достаточный для химического анализа. Для этой цели взрывы проводились с колбой, наполненной углекислым газом при атмосферном давлении. Колбы были те же, за исключением того, что они были снабжены входными и выходными патрубками сверху и снизу вместо капиллярной боковой трубки. Колбу со вставленной между электродами проволокой прокачивали чистейшим углекислым газом. Он был приготовлен из гидрокарбоната натрия в пирекс-стеклянной трубке. Соль была перед этим использована как источник углекислого газа при прокаливании от азота, и была поэтому свободна от аммониевых солей, карбонат натрия был сформирован в этом предыдущем использовании, регенерируя до бикарбоната осаждением чистым углекислым газом. Газ был очищен и высушен с помощью колонок серной кислоты и пентоксида фосфора. Он пропускаться через колбу до тех пор, пока все 300 см³ объёма колбы перешли в нитрометр, заполненный концентрированным раствором КОН, так что оставались лишь следы остаточных газов, не сорбированных щёлочью. Резиновые соединения не использовались, все места соединений запаивались, весь аппарат был выполнен из пирекса. Колба затем была отделена от остальной системы кранами, и проволока взрывалась как ранее. Концентрированный КОН затем подавался через низ колбы. Углекислый газ абсорбировался, оставшийся газ выпускался через короткую трубку в градуированный нитрометр или газовую бюретку, которая также была наполнена раствором КОН. Таким образом была получена полная абсорбция углекислого газа, и оставшийся газ был собран в бюретке.

Таблица I показывает объёмы газа, собранного в 21 таком взрыве. Все проволоки были диаметром 0,035 мм, диаметр и длина были определены измерительным микроскопом. Вес вычислялся из объёма и плотности, были взвешены реально только 2 или 3 проволоки для проверки вычислений. Проволоки №2, 4 и 9 были сильно нагреты в потоке углекислого газа перед взрывом, остальные – нет. Появление газа очень нерегулярно, но, возможно, это от нерегулярности условий взрыва; невозможно при текущей технике получать взрывы одинаковой яркости и температуры. Объём полученного газа достаточен для исключения его появления из газа, растворённого или адсорбированного проволокой, т.к. средний объём проволоки был 0,0381 мм³, а средний объём полученного газа в 26500 раз больше. Остаточные примеси в углекислом газе намного более вероятны, хотя были исключены способом приготовления и чистыми тестами абсорбцией щёлочи. Данный метод взрыва исключает три возможных источника загрязнений, присутствующих в вакуумном методе, а именно: затекания воздуха вовнутрь, испускание газа стеклянными стенками и толстыми электродами-держателями, т.к. взрыв слишком быстрый для испускания газа стенками или электродами от нагрева горячим газом.

Одна возможная ошибка, впрочем, вносится при

Таблица I
Объёмы газа, полученного в взрывах

Проволока	Длина, мм	Вес, мг	Напряжение, кВ	Объём газа, см ³
1	28.65	0.515	22.5	3.62
2	45.20	0.823	37.5	0.86
3	39.90	0.717	25.5	1.95
4	42.51	0.764	31.5	0.18
5	39.90	0.717	31.5	1.50
6	37.24	0.670	31.5	1.04
7	39.88	0.717	31.5	0.56
8	40.91	0.736	31.5	0.20
9	37.05	0.666	34.5	0.80
10	35.24	0.634	25.5	0.40
11	38.76	0.697	25.5	1.76
12	38.42	0.691	25.5	1.64
13	42.50	0.763	31.5	0.50
14	40.61	0.730	31.5	0.50
15	39.81	0.713	31.5	0.70
16	38.50	0.692	31.5	1.50
17	42.00	0.756	31.5	2.30
18	41.85	0.753	25.0	0.20
19	40.13	0.722	25.0	0.20
20	41.24	0.742	31.5	0.50
21	41.72	0.750	37.5	0.30
Среднее	39.62	0.713	29.6	1.01

разложении углекислого газа на монооксид углерода и кислород высокой температурой продуктов взрыва. Можно упомянуть три факта для исключения и этой ошибки. Во-первых, когда проволока оборачивалась тонкой папиросной бумагой или тонкой хлопковой изоляцией, они разрывались на лоскутки при взрыве в воздухе, но не воспламенялись. Воздействие высокой температуры было слишком коротким для этого. Во-вторых, пропускание мощной искры от той же электрической системы, но без вставленной проволоки, в течение нескольких минут даёт лишь ничтожное количество неабсорбированного газа. Наконец, для удаления монооксида углерода и кислорода, если бы они возникали, нитрометр был снабжён двумя впаянными платиновыми электродами, и после того, как было собрано 10 см³ газа в успешных взрывах, давление газа было понижено, и в течение 10 мин пропускалась мощная искра через газ от индукционной катушки. Два газа должны были рекомбинировать в углекислый газ и адсорбироваться раствором КОН. Фактически же наблюдалось уменьшение объёма на 0,2 см³ в первые несколько минут; более продолжительное искрение не давало большего эффекта. Это свидетельствует об отсутствии монооксида углерода и кислорода свыше 2%, и большая часть газа остаётся в рассмотрении.

Планировался полный анализ образца этого газа в 20 см³, но образец был утрачен по случайности, и до тех пор, пока не наберётся другой образец, необходимо прервать дальнейшую работу. Поэтому данный отчёт

выходит в предварительном виде⁴.

Если полная средняя масса 0,713 мг вольфрама была бы полностью расщеплена до гелия, это составило бы почти ровно 4 см³. Поэтому, если мы действительно имеем дело с расщеплением атомов, были получены также другие, более тяжёлые газы. Полный анализ этого газа, химический и спектрографический, крайне желателен, и необходим для завершения данной работы.

IV. Выводы

Недавние успехи в расщеплении атома с применением высоких концентраций энергии, вместе с астрономическими свидетельствами того, что тяжёлых металлов нет в горячих звёздах, дают основание для изучения влияния высоких температур на стабильность тяжёлых металлов.

Описаны аппаратура и метод для получения температур свыше 20000°.

Когда тонкая вольфрамовая проволока взрывается в вакууме при таких температурах, появляется спектр гелия в получающихся газах.

Когда взрыв происходит в углекислом газе, 0,713 мг вольфрама даёт появление 1,01 см³ газа, который не адсорбируется в растворе КОН.

Исследование стало возможным благодаря исследовательскому гранту Американской Ассоциации Развития Науки, с помощью которого были сделаны трансформатор и конденсатор, и мы с благодарностью выражаем нашу признательность за помощь.

Чикаго, Иллинойс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Rutherford. (a) *Phil. Mag.*, 37, 537 (1919); (b) *Proc. Roy. Soc. (London)*, 97A, 374, (1920). Rutherford and Chadwick, (c) *Nature*, 107, 41 (1921); (d) *Phil. Mag.*, 42, 809 (1921).
- [2] Russell. *Popular Astronomy*, 22, Nos. 5 and 6 (1914). Vogel, *Potsdam Astrophysik. Observ. Pub.*, 12, 6 (1899). Rosenberg, *Astronom. Nachr.*, 193, 358-70 (1913). Wilsing and Scheiner, *Potsdam Astrophysik. Observ. Pub.*, 19, 102-21 (1909). Scheiner, "Populaere Astrophysik" Teubner, 1912, p. 709.
- [3] Anderson. *Astrophys. J.*, 51, 37-48 (1920).

⁴Мы хотим подчеркнуть, что данный отчёт предварительный, и доказывает только важность проблемы и перспективность данного метода. Работа была прервана по состоянию здоровья главного автора, требующего полного отдыха в течение года или более. Младший автор продолжает исследование в Государственном Колледже Иовы. Мы сожалеем о преувеличенной ранее опубликованной оценке этой работы, которая стала широко известной благодаря Ассошиэйтед Пресс по устной презентации на межсекционном совещании 10 секций Среднего Запада Американского Химического Общества Северо-Западного Университета, Эванстон, Иллинойс, 11 марта 1922 г.