

ленность, возникающая при смешении эквимольных количеств двух газов, будучи отнесена к одной частице, в точности равна неопределенности альтернативного выбора, т. е. той элементарной неопределенности, которая является общепринятой единицей измерения информации и информационной энтропии.

* * *

Перечитаем слова Гиббса, процитированные в эпиграфе. Мы полагаем, что именно в выражении для энтропии смешения идеальных газов Гиббс нашел ту «точку зрения», которая позволила ему наиболее наглядно разъяснить специфику термодинамического подхода к описанию физических явлений.

Литература

1. *Gibbs J. W.* To the American Academy of Arts and Sciences.—*Proc. Amer. Acad. Art. Sci.*, 1881, v. 16, p. 420—421.
2. *Кедров Б. М.* Парадокс Гиббса. М.: Наука, 1969.
3. *Любошиц В. Л., Подгорецкий М. И.* Энтропия поляризованного газа и парадокс Гиббса.—*Докл. АН СССР*, 1970, т. 194, № 3, с. 547—550.
4. *Любошиц В. Л., Подгорецкий М. И.* Парадокс Гиббса.—*Успехи физ. наук*, 1971, т. 105, № 2, с. 353—359.
5. *Базаров И. П.* Парадокс Гиббса и его решение.—*Ж. физ. химии*, 1972, т. 46, № 7, с. 1892—1895.
6. *Любошиц В. Л., Подгорецкий М. И.* О работе Базарова И. П. «Парадокс Гиббса и его решение».—*Ж. физ. химии*, 1972, т. 46, № 7, с. 1896—1898.
7. *Базаров И. П.* Об ответе Любошица В. Л. и Подгорецкого М. И.—*Ж. физ. химии*, 1973, т. 47, № 9, с. 2456—2458.
8. *Варшавский Ю. С., Шейнин А. Б.* К дискуссии о парадоксе Гиббса.—*Ж. физ. химии*, 1975, № 2, с. 564.
9. *Гельфер Я. М., Любошиц В. Л., Подгорецкий М. И.* Парадокс Гиббса и тождественность частиц в квантовой механике. М.: Наука, 1975.
10. *Базаров И. П.* Методологические проблемы статистической физики и термодинамики. М.: МГУ, 1979.
11. *Хайтун С. Д.* История парадокса Гиббса: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. М., ИИЕиТ, 1975.
12. *Фон Нейман И.* Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964.
13. *Bridgman P. W.* The Nature of Thermodynamics. Cambridge — Massachusetts: Harvard Univ. Press, 1943.
14. *Jaynes E. T.* Gibbs vs Boltzmann Entropies.—*Amer. J. Phys.*, 1965, v. 33, № 5, p. 391—398.
15. *Noyes R. M.* Entropy of Mixing of Interconvertible Species. Some Reflections on the Gibbs Paradox.—*J. Chem. Phys.*, 1961, v. 34, № 6, p. 1983—1985.
16. *Тер Хаар Д., Вергеланд Г.* Элементарная термодинамика. М.: Мир, 1968.
17. *Gibbs J. W.* The Collected Works. N. Y. etc.: Longmans, Green Co., 1928, v. 1.
18. *Гиббс Дж. В.* Термодинамические работы. М.—Л.: Гостехиздат, 1950.
19. *Szilard L.* Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen.—*Z. Phys.*, 1929, B. 53, № 11—12, S. 840—856.
20. *Бриллюэн Л.* Наука и теория информации. М.: Физматгиз, 1960.
21. *Варшавский Ю. С., Шейнин А. Б.* Об энтропии систем, содержащих трудноразличимые компоненты.—*Докл. АН СССР*, 1963, т. 148, № 5, с. 1099—1101.
22. *Схоутен Ж. Ф.* Незнание, знание и информация.—В кн.: Теория передачи сообщений. М.: Изд-во иностр. лит., 1957, с. 19—27.
23. *Гиббс Дж. В.* Основные принципы статистической механики. М.—Л.: Гостехиздат, 1946.

К ИССЛЕДОВАНИЮ β -РАСПАДА СВОБОДНОГО НЕЙТРОНА

Э. ТЕШИНСКАЯ (ЧССР)

Вопрос о вероятной нестабильности нейтрона возник сразу же после его открытия. Эта вероятность была связана с представлениями о нейтроне как тесной комбинации протона и электрона. Более конкретные очертания проблема приобрела благодаря определению нейтронной массы.

По времени открытия нейтрон оказался первой нестабильной элементарной частицей, а его β -распад с точки зрения теории β -распадов занял специфическое место на фоне β -превращений атомных ядер.

Изучение β -распада нейтрона привлекало и привлекает внимание как теоретиков, так и экспериментаторов. В историческом плане данный вопрос почти не рассматривался. В специально посвященных ему статьях приводились лишь краткие обзоры выполненных предшествующих экспериментов и их результатов. Первые исследования нейтронной радиоактивности упомянуты в работах [1, 2].

Возникновение гипотезы о β -радиоактивности свободного нейтрона было связано с установлением энергетической возможности превращения нейтрона в протон и электрон. Однако точная величина отношения масс нейтрона и протона в первые годы после открытия нейтрона оставалась неясной. Попытки определить массу нейтрона на основе энергетического баланса ядерных реакций сталкивались с трудностями из-за разброса значений атомных масс, а также из-за отсутствия однозначных представлений о механизме самих ядерных реакций. В ряде случаев получалось даже, что масса протона превышает массу нейтрона [2—4].

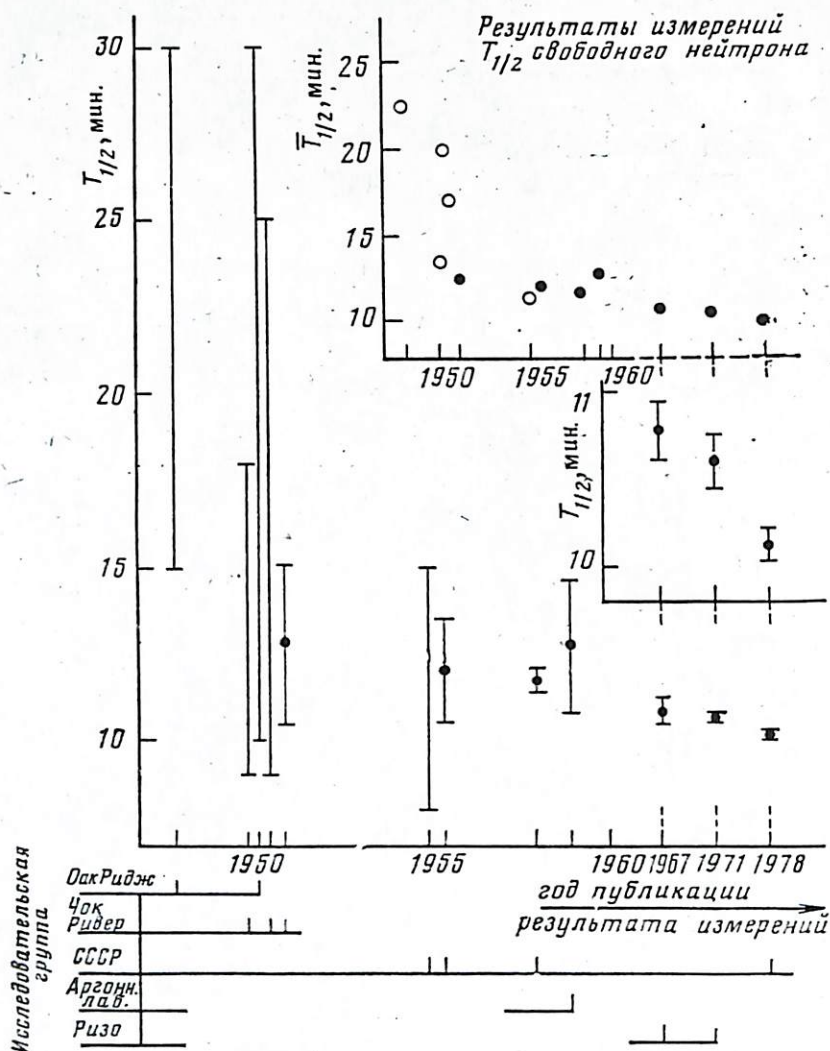
Одни из первых указаний на нестабильность нейтрона содержались в докладах Ф. Перрена о структурных элементах атомных ядер [5, с. 30, 40—41] и Д. Д. Иваненко о модели ядра [5, с. 56—57] на I Всесоюзной конференции по атомному ядру в 1933 г. Вопрос о распаде нейтрона был в 1933 г. затронут также в дискуссии по докладу В. Гейзенберга о структуре ядра на VII Сольвеевском конгрессе [6, с. 226].

Способом экспериментального определения масс нейтрона и протона явилось исследование ядерной реакции ${}^2\text{D}(\nu, n){}_1^1\text{H}$, осуществленной Дж. Чэдвиком и М. Гольдхабером в Кавендишской лаборатории. Подробный анализ результатов своих измерений Чэдвик и Гольдхабер опубликовали в 1935 г. [7]. Подстановка измеренного значения энергии связи нейтрона в уравнение энергетического баланса реакции приводила к заключению, что нейтрон тяжелее даже атома водорода. Такой результат получался при учете величины массы дейтерия как по данным, выведенным из рассмотрения баланса ядерных реакций (2,0142 м. е.), так и по масс-спектроскопическим данным, сообщенным в 1935 г. Ф. Астоном (2,0148 м. е.). Чэдвик и Гольдхабер заметили, что найденное отношение масс нейтрона и атома водорода требует проверки, поскольку оставались невыясненными точные значения масс атомов водорода и дейтерия. Подтверждение такого отношения означало бы, в соответствии с энергетическим балансом β -распада атомных ядер, возможность спонтанного превращения нейтрона в протон, электрон и нейтрино.

Доказательство β -распада нейтрона имело важное значение также с точки зрения теории β -распада, разработанной в 1934 г. Э. Ферми [8]. Превращение свободного нейтрона в протон представляет собой элементарный случай β -распада атомного ядра с известным матричным элементом ядерного перехода. Экспериментальное установление периода полураспада нейтрона тем самым дало бы возможность на основе точных соотношений теории определить неизвестную постоянную g , введенную Ферми в теорию β -распада и характеризующую интенсивность взаимодействия между электрон-нейтринным полем и тяжелыми частицами.

С другой стороны, сопоставление теории и накопленного экспериментального материала по β -распаду более сложных атомных ядер позволяло сделать первые оценки периода полураспада нейтрона $T_{1/2}$. Вычисленные значения $T_{1/2}$ сильно зависели от вида гамильтониана β -взаимодействия и от значения максимальной энергии нейтронного распада.

В 1935 г. Л. Моц и Дж. Швингер [9], пользуясь модификацией теории β -распада Э. Конопинского и Дж. Уленбека (1934 г.) и данными Г. Бете по атомным массам (от 1934 г.), оценили $T_{1/2}$ равным 3,5 дня. В 1936 г. Г. Бете и Р. Бечер [10] получили из теории Ферми β -распада значения $T_{1/2} = 1$ мес. или $T_{1/2} = 3$ ч в зависимости от введенных данных (при $m_D = 2,01423$ м. е.; данные К. Бейнбриджа в первом случае и $m_D = 2,0148$ м. е.; данные Ф. Астона 1935 г. — во втором). Такие значения $T_{1/2}$ казались тогда недостаточно надежными для экспериментальной регистрации нейтронного распада. Позже, в 1947 г., Г. Бете в [11] оценил $T_{1/2}$ на основе теории Ферми β -распада и экспериментальных данных по β -распаду зеркальных ядер и привел уже более надежное значение — $T_{1/2} = 15$ мин. Откликом на теоретические оценки величины $T_{1/2}$ яви-



лась статья, в которой обсуждается справедливость и применимость таких рассуждений [12].

Первая преднамеренная попытка обнаружить «переход» свободного нейтрона в протон и электрон была сделана в Кавендишской лаборатории. К. Гильберт, К. Смит и Дж. Фремлин решили проверить справедливость трактовки экспериментов С. Кикучи, Х. Аоки, К. Хушими 1936 г. [13]. Японские физики в эксперименте с прохождением нейтронов через разные вещества наблюдали появление электронов с энергией до 1 МэВ. Чтобы объяснить результаты измерений, они в виде одного из возможных подходов предложили рассматривать появление этих электронов как следствие расщепления нейтрона в поле атомного ядра на протон и электрон. Вероятность такого процесса они характеризовали величиной эффективного сечения в пределах от 10^{-24} см² (тяжелые ядра) до 10^{-25} см² (легкие ядра). Для проверки этого толкования в Кавендишской лаборатории были сконструированы две экспериментальные установки. В одной из них фотографировались события, происходящие в камере Вильсона, наполненной кислородом, при прохождении нейтронов; поиски распадов нейтронов проводились по трекам электронов и протонов, начинающимся в той же точке. В другой установке был использован метод совпадений импульсов от детекторов протонов и электронов; регистрировались частицы, образовавшиеся при прохождении нейтронов через ионизационную камеру, наполненную аргоном. Краткое сообщение в 1937 г. [14] подытожило результаты экспериментов, сделанных в Кавендишской лаборатории. В нем констатировалось, что не удалось получить никаких доказательств явления расщепления нейтрона на протон и электрон, которые были бы в согласии с величиной эффективного сечения, приведенной японскими физиками.

В 1939 г. Л. Альварес и К. Тобизс (Калифорнийский университет, Беркли) предложили новые методы определения $T_{1/2}$ нейтрона. О них упоминает А. Снелл [1], ссылаясь на личную переписку с Альваресом. Как заметил Снелл, оба эксперимента, к сожалению, закончились на стадии разработки аппаратуры из-за изменения программы

исследований лаборатории. В одном из методов предполагалось использовать циклотрон для получения интенсивного нейтронного пучка на основе реакции ${}^9\text{Be}(d, n){}_5^{10}\text{B}$ и применить магнитное поле для отклонения к детектору протонов распада; другой, более поздний способ позволял устранить проблему фона постепенным наложением магнитного и электростатического полей.

Интерес к экспериментальному изучению β -распада свободного нейтрона оживился в связи с развитием ядерных реакторов. Уже первые реакторы давали нейтронные потоки гораздо более мощные, чем получались из ядерных реакций с ускоренными в циклотронах частицами. (В первых реакторах в Оак Ридже и Чок Ривере потоки тепловых нейтронов достигали величины 10^7 и 10^{12} нейтронов $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ соответственно.) Тем самым становились реальными многие, ранее трудно осуществимые измерения, в частности, относящиеся и к распаду нейтрона. С другой стороны, изучение распада нейтрона послужило хорошим образцом экспериментов по применению ядерных реакторов к физическим исследованиям; в этом смысле они не раз упоминались [15—17].

Начиная с 40-х годов была постепенно осуществлена серия экспериментов на нейтронных реакторных пучках. Использование нейтронного пучка в основных чертах определило характер экспериментальных установок. Во всех случаях пучок вводился в вакуумный объем аппаратуры, в котором с помощью фокусирующей системы и детекторов наблюдались нейтронные распады.

Каждый нейтронный распад представляет собой одновременное возникновение двух «хорошо» регистрируемых частиц — протона и электрона. В обнаружении этого события состоит общий принцип экспериментального наблюдения нейтронных распадов, который, однако, допускает разные возможности для выбора объекта, метода и прибора детектирования. Конкретный учет этих моментов и, таким образом, состав экспериментальной установки является первой особенностью каждого из экспериментов такого рода.

Вычисление периода полураспада $T_{1/2}$ основано на формуле

$$N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_0,$$

где N — число распавшихся нейтронов за единицу времени среди N_0 нейтронов. Принципиальной задачей для установления $T_{1/2}$ из экспериментов явилось определение числа нейтронов, к которому относились регистрированные распады (т. е. установление эффективного объема нейтронного пучка) или, в эквивалентной форме, определение числа всех распадов, осуществленных в данном объеме нейтронного пучка (т. е. вычисление так называемого «коэффициента собирания» детектирующей системы). Форма постановки этой проблемы «эффективности регистрации» и способ ее решения представляют вторую характерную черту обсуждаемых экспериментов.

В 40-е годы к исследованию β -распада нейтрона приступили группы А. Снелла в Оак Ридже в США, П. Е. Спивака в СССР и Дж. Робсона в Чок Ривере в Канаде. Подготовка первых измерений началась в 1943 г. в Оак Ридже разработкой экспериментальной установки [1]. Сообщения о начале работ были сделаны на заседаниях Американского физического общества в 1946 г. [18] и в 1948 г. [19]. Результаты измерений, которые могли быть объяснены фактом β -распада нейтрона, были представлены 20 августа 1948 г. [20] и после того, кратко, 1 ноября 1948 г. [21]. Атмосферу подготовки к экспериментальному исследованию распада свободного нейтрона в Оак Ридже передают воспоминания Э. Вигнера [22, с. 311—312], который тогда занимал пост научного руководителя лаборатории. Забавно, что военное руководство лабораторией отрицательно относилось к самой идее нейтронного распада, так как беспокоилось, что распад нейтронов может нарушить ход цепной реакции.

Первый Оак Риджский эксперимент был предназначен для регистрации протонов распада. В качестве детектора был выбран умножитель вторичных электронов — прибор, разработанный и запатентованный в 1950 г. А. Снеллом и Л. Миллером [23]. На основе осуществленных измерений был установлен период полураспада нейтрона в интервале от 15 до 30 мин. В ходе экспериментов выявилась необходимость более надежной регистрации распадов нейтронов, которая привела к дальнейшему усовершенствованию установки. Об этом докладывал Снелл на заседании секции Американского физического общества в апреле 1949 г. [24]. Результаты были опубликованы 1 мая

1950 г. [25]. Однако трудности, связанные с учетом геометрии детектирования, снова привели только к грубой оценке величины $T_{1/2}$: в пределах от 10 до 30 мин.

Главной целью экспериментов в Оак Ридже было доказательство самого факта β -радиоактивности свободного нейтрона. При этом в проекте эксперимента точное определение периода полураспада не было решающим фактором. В том же русле развивались первые измерения Дж. Робсона в Чок Ривере. Робсон начал также с регистрации протонов распада с помощью электронного умножителя. Чтобы с достаточной уверенностью отождествить положительно заряженные частицы в нейтронном пучке с протонами, он дополнил фокусирующую систему радиального электростатического поля магнитным линзовым спектрометром. Краткое сообщение о проведенном эксперименте [26] появилось 1 марта 1950 г. В нем приводилось минимальное (9 мин) и максимальное (18 мин) значение для $T_{1/2}$. Более подробное описание экспериментальной установки и метода измерения [27] было опубликовано 1 мая 1950 г. параллельно со статьей [25] из Оак Риджа. Был указан еще более широкий диапазон возможных значений величины $T_{1/2}$: с 9 до 25 мин. Несмотря на значительную неопределенность $T_{1/2}$, измерения Робсона были первыми убедительными доказательствами нейтронного распада.

Упоминание об эксперименте Робсона приводится в обзорной статье Дж. Кокрофта [15] о некоторых новых возможных применениях ядерных реакторов в экспериментальной физике, опубликованной в апреле 1950 г. Хотя Кокрофт не ссылается на сообщение Робсона от 1 марта 1950 г., его упоминание об этом эксперименте несет ту же информацию. По-видимому, участие Кокрофта в совместных канадско-британских исследованиях в области атомной энергии (в 1944 г. он стал руководить Чок Риверской лабораторией и в 1946 г. был назначен директором исследовательского атомного центра в Харуэлле) могло позволить ему быть в курсе исследований, проводившихся в Чок Риверской лаборатории.

В дальнейшем измерения Робсона сосредоточились на уточнении значения $T_{1/2}$ и установлении характера β -спектра нейтронного распада. Именно интерес к измерению β -спектра способствовал добавлению устройств для регистрации β -частиц. В новых измерениях подсчитывались совпадения импульсов от детектора протонов с запаздывавшими импульсами от детектора электронов. В обзорной статье [28] Робсон замечает, что первые результаты измерений β -спектра нейтрона были доложены на Кингстонском собрании Канадского королевского общества в июне 1950 г. Следующее сообщение об эксперименте Робсона сделал Р. Белл из Чок Риверской лаборатории 1 августа 1950 г. в докладе на Бирмингемском собрании Британской ассоциации [29, 30] и снова на Международной конференции по ядерной физике, состоявшейся в Оксфорде 7—13 сентября 1950 г. [31]. (Кажется, именно эту конференцию, организованную атомным исследовательским центром в Харуэлле, имел в виду А. Снелл, говоря в [1] о «Харуэллской конференции»). Итоговое описание результатов измерений было опубликовано Робсоном только 15 июля 1951 г. [28]. В статье приведена форма спектра и значение $T_{1/2} = 12,8$ мин с вероятностной погрешностью 18%. Содержание статьи охватывает выступление Робсона на Международной конференции в Чикаго в сентябре 1951 г. [32].

В 1946 г. началась подготовка к изучению β -распада нейтрона в СССР [33]. На всех этапах постепенного усовершенствования измерений были детектированы протоны распада с помощью газового пропорционального счетчика. Первая установка была разработана в апреле 1946 г. К измерениям удалось приступить только в октябре 1949 г., когда реактор позволил получить достаточно интенсивный нейтронный пучок [33]. Разброс полученного значения $T_{1/2}$, представленный уже значительно меньшим интервалом — с 8 до 15 мин, был связан прежде всего с трудностями оценки геометрической эффективности регистрации нейтронных распадов. Приспособление геометрии нейтронного пучка к симметрии фокусирующего электрического поля в следующем варианте экспериментальной установки позволило устранить из расчета $T_{1/2}$ прежнюю неопределенность, связанную с незнанием формы энергетического спектра протонов распада. Таким образом, удалось установить значение $T_{1/2} = (12 \pm 1,5)$ мин. Результаты измерений 1950 г. были доложены в 1955 г. на Конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве. В дискуссии по докладу А. Снелл положительно оценил работы советских исследователей [34]. Предварительные сообщения о ходе измерений были сделаны, по Н. А. Власову [35, с. 20, 419], в 1950, 1951 гг. Следующая новая геомет-

рия установки и разработка методик дополнительных измерений привела группу Сливака к уточнению $T_{1/2}$. Сообщение о новых измерениях и достигнутых результатах было опубликовано в 1958 г. [36] и более подробно в 1959 г., параллельно на русском [37] и английском [38] языках. До 1967 г. значение $T_{1/2} = (11,7 \pm 0,3)$ мин, установленное группой П. Е. Сливака, представляло наиболее точное определение величины полураспада свободного нейтрона (см., например [39]). Участники эксперимента П. Е. Сливак и Ю. А. Прокофьев были в 1962 г. удостоены золотой медали имени И. В. Курчатова [40, 41].

В хорошем согласии с конечным результатом советской серии измерений оказалось значение $T_{1/2} = 12,7$ мин (с погрешностью 15%), полученное Н. Д. Анжело в 1959 г. в Аргоннской лаборатории [42]. Наблюдение нейтронных распадов в диффузионной камере устранило трудности с определением эффективного объема. С другой стороны, на передний план здесь вышла проблема фона. (Отметим мимоходом, что Снелл еще в 1951 г. [1] указывал, что идея такого эксперимента была высказана в Брукхэйвенской лаборатории.)

Обширная программа, направленная на получение более точного значения $T_{1/2}$, начала осуществляться с 1961 г. в датском исследовательском центре в Ризо К. Христенсенем с сотрудниками. Предварительный результат — $T_{1/2} = (10,78 \pm 0,16)$ мин — был опубликован 11 декабря 1967 г. [43]. Следующий подробный анализ и учет возможных погрешностей при определении $T_{1/2}$ привели к уточнению сообщенного результата до $T_{1/2} = (10,61 \pm 0,16)$ мин [44].

Несовпадение нового значения $T_{1/2}$ с прежним $T_{1/2} = (11,7 \pm 0,3)$ мин привело советских исследователей к новому анализу результатов их измерений 1958 г. Оказалось, что в действительности давление остаточных газов на пути протонов распада к детектору было больше, чем в месте его измерения. Тем самым перед поступлением в фокусирующую систему под действием остаточных газов терялось приблизительно 10% протонов распада. Неучтенные потери сказались в завышении значения $T_{1/2}$. Имея в виду это обстоятельство, в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова были повторены измерения и получено новое значение $T_{1/2} = (10,13 \pm 0,09)$ мин [45, 46].

Достигнутые результаты измерений периода полураспада нейтрона изображены на графике, приведенном на стр. 77. Вертикальные отрезки указывают интервал, в который попадает значение периода полураспада по данным соответствующей лаборатории, отнесенным к году их публикации.

В первых сообщениях об измерениях нейтронного распада не приводятся средние значения $T_{1/2}$, а указываются лишь диапазоны, в которых должно находиться действительное значение этой величины; пределы интервалов оценивались непосредственно по измеренным данным. Как уже замечалось, целью первых измерений было главным образом установление самого факта β -распада нейтрона. Только Робсон в 1951 г. (дата публикации) поставил на первый план определение $T_{1/2}$. Способ тщательного рассчитывания эффективного объема нейтронного пучка подробно описан в [28]. Все последующие эксперименты были нацелены главным образом на уточнение значения $T_{1/2}$. Как видно из графика, в общем статистическая погрешность со временем уменьшалась. Это достигалось большей точностью измерений плотности нейтронов в пучке, более тщательным анализом фонового излучения и уточнением характеристик приборов. Кроме того, значительную роль играло стремление разработать наиболее целесообразные экспериментальные установки, позволяющие свести расчет эффективности регистрации нейтронных распадов к простым геометрическим соображениям. На графике одновременно заметна тенденция сдвига среднего значения $T_{1/2}$ в одну сторону, объяснимая, возможно, характером метода использования нейтронного пучка. В связи с этим небезынтересна возможность несколько иного экспериментального подхода к данному явлению. Уже в 1948 г. К. Ванг [47] выдвинул идею метода определения $T_{1/2}$ посредством измерения накапливания атомов водорода в данном объеме, в который вводятся нейтроны. В связи с этим в настоящее время появляются некоторые перспективы, связанные с использованием сверххолодных нейтронов, которые могут оставаться в исследуемом объеме относительно долгое время [48, 49]. Проведение экспериментальных работ в этом направлении могло бы подтвердить значение $T_{1/2}$ свободного нейтрона.

Литература

1. *Snell A.* Neutron decay: The problem and the experiments.— *Nucleonics*, 1951, v. 8, № 3, p. 3.
2. *Вяльцев А. Н.* Легчайшие атомные ядра. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
3. *Корсунский М. И.* Нейтрон. М.— Л.: ОНТИ, 1935.
4. *Hornyal W., Lauritsen T., Morrison P., Fowler W.* Energy levels of light nuclei.— *Rev. Mod. Phys.*, 1950, v. 22, № 4, p. 291.
5. Атомное ядро: Сборник докладов I Всесоюзной ядерной конференции. Л.— М., 1934.
6. *Mehra J.* The Solvay conferences on physics. Dordrecht-Holland/Boston — USA, 1975.
7. *Chadwick J., Goldhaber M.* The nuclear photoelectric effect.— *Proc. Roy. Soc.*, 1935, A, v. 151, № 873, p. 479.
8. *Энрико Ферми.* Научные труды. I. 1921—1938. Италия. М.: Наука, 1971, с. 525.
9. *Motz L., Schwinger J.* β -radioactivity of neutrons.— *Phys. Rev.*, 1935, v. 48, № 8, p. 704.
10. *Bethe H., Bacher R.* Nuclear physics.— *Rev. Mod. Phys.*, 1936, v. 8, № 2, p. 200.
11. *Bethe H.* Elementary nuclear theory. N. Y., 1947. (русс. пер. Бете Г. Лекции по теории ядра. М., 1949).
12. *Берестецкий В. Б., Померанчук И. Я.* О распаде нейтрона.— *ЖЭТФ*, 1949, т. 19, вып. 8, с. 756.
13. *Kikuchi S., Aoki H., Husimi K.* The emission of the electron from the substances transversed by fast neutrons.— *Proc. Phys.-Math. Soc. Japan*, 1936, v. 18, p. 728. (Так же: *Kikuchi S., Aoki H., Husimi K.* Emission of beta-rays from substances bombarded with neutrons.— *Nature*, 1936, v. 138, № 3498, p. 841).
14. *Gilbert C., Smith C., Fremlin J.* An attempt to detect disintegration of the neutron.— *Nature*, 1937, v. 139, № 8, p. 796.
15. *Cockcroft J.* Nuclear reactors in scientific experiments.— *Endeavour*, 1950, v. 9, № 34, p. 55.
16. *Beck C.* Uses and limitations of low-power nuclear reactors.— *Nucleonics*, 1951, v. 9, № 5, p. 10.
17. *Snell A.* The nuclear reactors as a research implement.— *Amer. Phys.*, 1952, v. 20, № 9, p. 527.
18. *Sharder E., Saxon D., Snell A.* An attempt to observe the radioactivity of the neutron.— *Phys. Rev.*, 1946, v. 70, № 9—10, p. 791.
19. *Snell A., Miller L.* On the radioactive decay of the neutrons.— *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 1948, v. 23, № 3, p. 21.
20. *Snell A.* Contemporary neutron physics.— *Science*, 1948, v. 108, № 2799, p. 167.
21. *Snell A., Miller L.* On the radioactive decay of the neutron.— *Phys. Rev.*, 1948, v. 74, № 9, p. 1217A.
22. *Wigner E.* The neutron. The impact of its discovery and its uses.— In: *Nuclear physics in retrospect*. Univ. Minnesota, 1979.
23. *Snell A., Miller L.* Secondary electron multipliers.— *Nuclear Sci. Abst.*, 1950, v. 4, № 5816, p. 862, Oak Ridge, 1955.
24. Proceedings of the American Physical Society. Meeting of the Southeastern Section at Clemenson Colledge. April 15—16, 1949.— *Phys. Rev.*, 1949, v. 76, № 1, p. 195.
25. *Snell A., Pleasonton F., McCord R.* Radioactive decay of the neutron.— *Phys. Rev.*, 1950, v. 78, № 3, p. 310.
26. *Robson J.* Radioactive decay of the neutron.— *Phys. Rev.*, 1950, v. 77, № 5, p. 747.
27. *Robson J.* The Radioactive decay of the neutron.— *Phys. Rev.*, 1950, v. 78, № 3, p. 311.
28. *Robson J.* The radioactive decay of the neutron.— *Phys. Rev.*, 1951, v. 83, № 2, p. 349.
29. Birmingham meeting, 1950.— *Advanc. Sci.*, 1950, v. 7, № 27, p. 351.
30. *Fry T.* Experimental work with atomic piles.— *Nature*, 1950, v. 166, p. 506.
31. *Liddel U.* Present state of nuclear physics.— *Nucleonics*, 1950, v. 7, № 6, p. 15, 18.
32. *Nuclear Science Abstracts*, 1952, v. 6, № 1909, p. 242. Oak Ridge, 1955.
33. *Спивак П. Е., Сосновский А. Н., Прокофьев А. Ю., Соколов В. С.* Исследование бета-распада нейтрона. Доклады, представленные СССР на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. М., 1955.
34. Proceedings of the International conference on peaceful uses of atomic energy. Geneva, August 8—20, 1955. N. Y.: United Nations, 1956, v. 2, p. 146.
35. *Власов Н. А.* Нейтроны. М., 1955, с. 20, 419.
36. *Сосновский А. Н., Спивак П. Е., Прокофьев Ю. А., Кутиков И. Е., Добрынин Ю. Н.* Измерение периода полураспада нейтрона.— *ЖЭТФ*, 1958, т. 35, № 4 (10), с. 1059.
37. *Сосновский А. Н., Спивак П. Е., Прокофьев Ю. А., Кутиков И. Е., Добрынин Ю. П.* Измерение периода полураспада нейтрона.— *ЖЭТФ*, 1958, т. 36, № 4, с. 1012.
38. *Sosnovsky A. N., Spivak P. E., Prokofiev Y. A., Kutikov I. E., Dobrynin J. P.* Measurement of the neutron life-time.— *Nuclear Phys.*, 1959, v. 10, p. 395.
39. *Kofoed-Hansen O., Christensen C.* Experiments on β -decay.— In: *Handbuch der Physik*/Ed. Fluge S. B. XLI/2. Betazerfahl, 1962.
40. К присуждению золотой медали И. В. Курчатова.— *Атомная энергия*, 1962, т. 12, № 4, с. 277.
41. *Прокофьев Ю. А., Спивак П. Е.* Исследование распада нейтрона.— *Атомная энергия*, 1962, т. 12, № 4, с. 278.

42. D'Angelo N. Cloud-chamber measurement of the half-life of the neutron.— Phys. Rev. 1959, v. 114, № 1, p. 285. Letters. 1967, v. 26B, № 1, p. 11.
43. Christensen C., Nielsen A., Bahnsen N., Brown W., Rustad B. The half-life of the free neutron — Phys.
44. Christensen C., Nielsen A., Bahnsen A., Brown W., Rustad B. Free neutron beta-half life.— Risø report № 226, March 1971. Danish Atomic Energy Comission.
45. Новые измерения периода полураспада нейтрона.— Природа, 1979, № 6, с. 104.
46. Бондаренко Л. Н., Кургузов В. В., Прокофьев Ю. А., Рогов Е. В., Спивак П. Е. Измерения периода полураспада нейтрона.— Письма в ЖЭТФ, 1978, т. 28, вып. 5, с. 329.
47. Wang K. Radioactivity of the neutron.— Nature, 1945, v. 155, p. 574.
48. Ультрахолодные нейтроны в сверхтекучем гелии.— Природа, 1979, № 4, с. 108.
49. Франк А. И. Ультрахолодные нейтроны.— Природа, 1981, № 1, с. 30.

ДВЕ НЕФТИ!!

[К постановке вопроса о древних искусственных нефтесамодельных]¹

А. Л. ВАССОЕВИЧ

Последние годы в связи с нехваткой нефти в развитых индустриальных странах начали стремительно разворачиваться исследования по созданию искусственных ее заменителей².

Однако есть основания полагать, что впервые своеобразные заменители нефти стали производиться еще в античном мире. Сама нефть известна человеку очень давно. Достаточно сказать, что слово «нефть» — *naphtha* в конечном счете восходит к одному из древнейших письменных языков — аккадскому или ассирийско-вавилонскому. И звучало оно в этом языке как *parṭu(m)* [2, 3].

В памятниках вавилонской клинописи нефть — *parṭu(m)*³ упоминается со старо-вавилонского периода (XX—XVI вв. до н. э.). Упоминания о нефти в ассирийской клинописи относятся к новоассирийскому времени (с X в. по 605 г. до н. э. — год гибели ассирийской державы).

Клинописные тексты и археологические находки дают представление о том, сколько многообразно было употребление и использование как самой нефти, так и ее естественных производных в те древние времена. Однако эти интереснейшие свидетельства могут поблекнуть в сравнении с теми красочными описаниями свойств нефти и рассказами о способах ее применения, которые дает нам античная литература. Из греческих писателей о нефти или ее естественных производных писали Геродот и Эратосфен, Страбон и Плутарх, Дион Кассий и Диоскорид. Из латинских же авторов о битуме, асфальте, маляте и, наконец, нефти писали Витрувий и Тацит, Саллюстий, Плиний Старший, Аммиан Марцеллин и другие.

Древнейшие из известных нам употреблений слова *νῆφθα* или *νῆφθαζ* в греческой литературе содержались в погибших сочинениях Эратосфена (III в. до н. э.). Об этом

¹ Автор выражает глубокую признательность Н. Б. Вассоевичу, Р. А. Гимадееву, А. И. Доватуре, Н. В. Лопатину и Ю. Я. Перепелкину за ряд ценных замечаний по тексту статьи.

² В. И. Ручнов любезно обратил наше внимание на работу А. Росси, где описана установка для преобразования твердых бытовых и промышленных отходов с получением жидкого нефтеобразного продукта, газа, «угля». В основе технологии лежит моделирование природного процесса генерации нефти, газа и угля из остатков растительного и животного происхождения. Основные факторы — температура и давление. Установка, состоящая из нескольких модулей, работает на теплоте сжигания отходов и не требует дополнительной энергии. Процесс протекания при 120—130°С и давлении 1—3 кг/см². Производительность установки — около 10 т отходов в сутки. Габариты установки — 6×12 м.

³ Наиболее подробно вопрос о происхождении слова нефть рассмотрен в работе: Вассоевич А. Л., Вассоевич Н. Б. НАФТА. Древняя история термина [4]. Там же приведены выдержки из некоторых клинописных текстов, в которых нефть упоминается.