

“You measure the quality of the work by the intensity of the astonishment”
(Уровень работы оценивается степенью изумления её результатами)

Lewis Thomas

УДК 537.591.15

НОБЕЛЕВСКИЕ ПРЕМИИ В “СВЕТЕ” ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА–ЧЕРЕНКОВА. К 125-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С. И. ВАВИЛОВА

Ю. Н. Вавилов, И. С. Заярная, Н. М. Нестерова

Целью данной публикации не является подробный обзор или анализ работ в области физики высоких энергий, инициированных открытием излучения Вавилова–Черенкова, сделанным более 80 лет назад в Физическом институте им. П. Н. Лебедева (ФИАН), удостоенных Нобелевских премий. Статья написана с целью подчеркнуть историческую значимость открытия эффекта и его ключевую роль в последующих работах в физике высоких энергий, отмеченных высокой наградой Нобелевского комитета. В 1958 году, спустя 24 года после первой публикации о новом явлении – излучении электронов, движущихся в веществе со сверхсветовыми скоростями, открытого П. А. Черенковым под руководством С. И. Вавилова, Нобелевская премия была присуждена группе ученых ФИАН – П. А. Черенкову, И. М. Франку и И. Е. Тамму “за открытие и объяснение эффекта Черенкова”. С тех пор практическое применение излучения Вавилова–Черенкова получило широкое распространение.

В 1932 году С. И. Вавилов предложил своему аспиранту П. А. Черенкову исследовать люминесцентное свечение растворов ураниловых солей под действием γ -лучей радия. В опытах при детальном количественном изучении возникающего свечения обнаружилось новое явление, не связанное с тривиальной люминесценцией. Первые сообщения об открытии нового эффекта были опубликованы в 1934 году [1, 2]. Автором одной работы был П. А. Черенков, а другой – его руководитель С. И. Вавилов. П. А. Черенков привел

ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: zayar@sci.lebedev.ru, nester@sci.lebedev.ru.

в своей статье результаты экспериментов, описывающих свойства нового излучения. С.И. Вавилов утверждал, что необычное свечение растворов под действием γ -лучей радия не является каким-либо видом люминесценции, и предполагал, что оно вызвано тормозным излучением электронов, поскольку в то время было известно только это излучение однозарядной частицы. В последующих экспериментах было подтверждено, что источником нового эффекта в исследуемых жидкостях являются электроны, а обнаруженная в 1936 году направленность свечения при использовании магнитного поля сыграла ключевую роль в объяснении истинной природы этого явления. Создание теории наблюдаемого эффекта принадлежит физикам-теоретикам ФИАН – И.Е. Тамму и И.М. Франку, который к тому же ассистировал П.А. Черенкову в проведении экспериментов в 30-ые годы. В 1937 году И.Е. Тамм и И.М. Франк опубликовали работу, где новое явление объяснялось излучением электронов (от комтоновского рассеяния гамма-квантов), равномерно движущихся в веществе со скоростью, превышающей скорость (фазовую) света в этой среде [3]. Интересно отметить, в этом же году статья П.А. Черенкова об открытом излучении по совету С.И. Вавилова была направлена в редакцию известного научного журнала Nature, но не была принята к публикации. Затем отвергнутая и ставшая знаменитой спустя годы статья “Visible Radiation Produced by Electron Moving in a Medium with Velocities Exceeding that of Light” [4] была отправлена в американский журнал Physical Review и была успешно опубликована 1937 году.

В течение более десяти лет с момента первой публикации об излучении Вавилова–Черенкова своеобразное и труднонаблюдаемое оптическое явление оставалось без применений в физике, а тем более в технике. Только в 1947 году в Physical Review было опубликовано предложение Геттинга использовать фотоумножители для регистрации черенковского излучения [5], а Дж. Маршалл первым применил черенковский счетчик с фотоумножителем для регистрации искусственно ускоренных электронов [6].

В 50-х годах начались эксперименты по регистрации излучения Вавилова–Черенкова от космических частиц, движущихся к Земле со скоростью, превышающей скорость света в воздухе [7]. В 1955–1957 гг. на Памирской станции ФИАН группой А.Е. Чудакова была создана установка, регистрирующая излучение Вавилова–Черенкова, создаваемого в воздухе электронами “широких атмосферных ливней” (ШАЛ). Анализ данных этого эксперимента позволил восстановить энергетический спектр первичных космических лучей и сделать оценку их массового состава при энергиях свыше 10^{14} эВ [8].

Развитие физики высоких энергий и усовершенствование экспериментальной техники привели к многочисленному использованию открытого в ФИАН эффекта Вавилова–Черенкова в экспериментах по физике элементарных частиц и космических лучей. При этом многие из этих работ были удостоены Нобелевской премии. В экспериментах на ускорителях:

1. В 1959 г. была присуждена Нобелевская премия Э. Сегре и О. Чемберлену “За открытие антипротона” [9]. Э. Сегре отмечал в лекции, прочитанной в Москве, в конференц-зале ФИАН, в 1957 г.: “Я хотел бы особо отметить среди них черенковский счетчик специального типа, основанный на явлении, открытом здесь в Москве, физиком П. Черенковым много лет назад. Эта часть устройства была очень существенной для нашей установки”. Примечательно, что практически одновременно, в 1957 г., аналогичная установка для поисков антипротона была сделана в ФИАН группой А.Е. Чудакова. Но когда ее уже привезли на ускоритель в Дубну для проведения измерений, стало известно об открытии антипротона Сегре.
2. В 1961 году Нобелевской премии удостоилась работа Р. Хофштадтера “За пионерские исследования рассеяния электронов на атомных ядрах и достигнутых таким образом открытий, касающихся структуры нуклонов” [9]. Счетчики Черенкова использовались в триггерной системе установки на ускорителе в Стенфорде.
3. В 1976 г. Нобелевскую премию получили Б. Рихтер и С. Тинг “За их пионерские работы в открытии тяжелой элементарной частицы нового типа” [9]. Сильно взаимодействующую частицу $J(J/\psi\text{-мезон})$ обнаружили в Брукхейвенской лаборатории в процессе фоторождения на ядрах в фотонном пучке с энергией ~ 100 ГэВ. На установке синхротрона черенковские счетчики использовались для подавления фона от адронных пар.
4. В 1980 г. работа Д. Кронины и В. Фитча была отмечена Нобелевской премией “За открытие нарушений принципов фундаментальной симметрии в распаде нейтральных К-мезонов” [9]. По словам Фитча: “Награда, которой удостоены в этом году проф. Кронин и я, присуждена за чисто экспериментальное открытие, которое не подсказывалось ни предшествовавшими опытами, ни теоретическими соображениями”. На установке ускорителя в Брукхейвене использовались водные черенковские счетчики.
5. В 1988 г. Нобелевскую премию получили М. Шварц, Д. Стейнбергер и Л. Ледерман “За метод нейтринного пучка и демонстрацию дублетной структуры лептонов

путем открытия мюонного нейтрино” [9]. Черенковские счетчики использовались в триггерной системе установки на синхротроне в Брукхейвене.

6. В 1990 г. Нобелевскую премию по физике получили Дж. Фридман, Г. Кендалл и Р. Тэйлор “За пионерские исследования, касающиеся глубоко неупругого рассеяния электронов на протонах и связанных нейтронах, что существенно важно для развития кварковой модели в физике частиц” [9]. В эксперименте на стенфордском ускорителе SLAC для анализа рассеянных электронов применялся спектрометр с черенковскими счетчиками.

В экспериментах с космическими лучами в 2002 г. Нобелевской премии удостоились М. Кошиба и Р. Дэвис “За пионерский вклад в астрофизику в особенности регистрацию космических нейтрино” [9] и в 2015 году канадский ученый А. Макдональд – руководитель эксперимента SNO и японский ученый Т. Кадзита – руководитель эксперимента Super-KamiokaNDE “За открытие осцилляций нейтрино, которые показывают, что нейтрино имеют массу” [9]. В эксперименте Super-KamiokaNDE, запущенном в 1996 году, для регистрации космических нейтрино использовалось более 11000 черенковских счетчиков, а в установке SNO (Sudbery Neutrino Observatory) (запущена в 1999 году) – более 9500 черенковских счетчиков.

Таким образом, открытие и применение свойств излучения Вавилова–Черенкова (направленность, малая длительность высвечивания, наличие порога, универсальность) сыграло важную историческую роль в исследованиях и открытиях в физике высоких энергий. В настоящее время черенковские детекторы продолжают широко использоваться в фундаментальных исследованиях элементарных частиц на ускорителях и свойств космического излучения.

Авторы благодарят ведущего научного сотрудника ЛКЛ ФИАН Чернявского М.М. за написание “схемы” статьи, главного научного сотрудника ЛЭЧ ФИАН Мерзона Г.И. за моральную поддержку и интерес к работе, ведущего научного сотрудника Отделения оптики ФИАН Кудрявцева Е.М. за благожелательное отношение и помощь в ускорении публикации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] П. А. Черенков, ДАН СССР **2**(8), 451 (1934).
[2] С. И. Вавилов, ДАН СССР **2**(8), 457 (1934).
[3] И. М. Франк, И. Е. Тамм, ДАН СССР **14**, 107 (1937).

- [4] P. A. Čerenkov, Phys. Rev. **52**, 378 (1937).
- [5] I. A. Getting, Phys. Rev. **71**, 123 (1947).
- [6] J. Marshall, Phys. Rev. **81**, 275 (1951).
- [7] W. Galbraith and J. V. Jelley, Nature **171**, 349 (1953).
- [8] А. Е. Чудаков, Н. М. Нестерова, В. И. Зацепин, Е. И. Тукиш, Труды Международной конференции по космическим лучам, **2**, 46 (1960).
- [9] Нобелевские лекции – nobelprize.org
- [10] Э. Сегре, Антипротоны. Знание, VIII, 10 (1957), Москва.

Поступила в редакцию 12 февраля 2016 г.