

# Нобелевская премия

Б.М.Болотовский,  
доктор физико-математических наук  
Физический институт им.П.Н.Лебедева  
Москва

Нобелевская премия по физике 1958 г. была присуждена трем советским ученым — Игорю Евгеньевичу Тамму, Илье Михайловичу Франку и Павлу Алексеевичу Черенкову. Эта премия отметила открытие и объяснение нового физического явления, получившего на Западе название «эффект Черенкова», а у нас, в Советском Союзе, название «эффект Вавилова—Черенкова». Принятое у нас название отражает решающую роль Сергея Ивановича Вавилова, наряду с П.А.Черенковым, И.Е.Таммом и И.М.Франком, в обнаружении и исследовании эффекта. Открытие было совершено за 25 лет до присуждения премии. Ко времени присуждения премии Вавилова уже не было в живых — он умер в январе 1951 г.

Напомним кратко историю открытия. В 1934 г. в журнале «Доклады Академии наук СССР» были опубликованы две работы. Первая из них, статья Черенкова, содержала сообщение об открытии и о первых исследованиях нового эффекта. Вторая статья, сразу следовавшая за первой, была написана Вавиловым, научным руководителем Черенкова, предложившим тему для исследования, которое и повело к открытию. В статье Вавилова высказывались первые соображения о возможной природе обнаруженного явления. В частности, выдвигалось предположение, что источником излучения служат электроны, вы-

битые из атомов гамма-квантами. Это предположение впоследствии подтвердилось и определило весь ход дальнейших исследований.

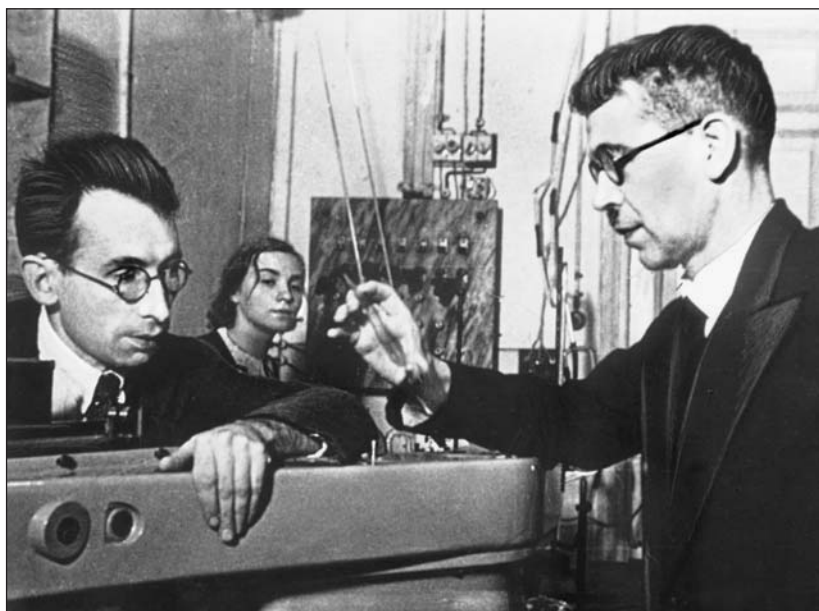
Полное теоретическое объяснение нового явления было дано в совместной работе Тамма и Франка, опубликованной в тех же «Докладах Академии наук СССР» тремя годами позже, в 1937 г. Было показано, что если электрон (или другая заряженная частица) движется равномерно (т.е. с постоянной скоростью) в прозрачной среде, и скорость движения превосходит скорость света в этой среде, то возникает направленное электромагнитное излучение. Сверхсветовой электрон становится источником излучения тех световых волн, у которых фазовая скорость меньше, чем скорость электрона.

Теория Франка—Тамма объясняла спектр, угловое распределение и другие свойства нового свечения. Найденное авторами выражение для интенсивности излучения получило название формулы Тамма—Франка. Последующие экспериментальные проверки полностью подтвердили теорию.

Излучение Вавилова—Черенкова нашло широкое применение в физике высоких энергий, где оказалось возможным регистрировать быстрые заряженные частицы по вспышкам излучения Вавилова—Черенкова. Но в первые годы после открытия никаких предложений по использованию излучения Вавилова—Черенкова не высказы-

валось, поскольку оно было очень слабым. Однако в годы Второй мировой войны стали разрабатываться чувствительные приемники светового излучения — фотоумножители. В 1947 г. американский физик И.А.Геттинг предложил регистрировать излучение Вавилова—Черенкова с помощью фотоумножителей. Так появились первые черенковские счетчики. Теперь они есть в каждой лаборатории, где ведется изучение частиц высокой энергии. Причем черенковские счетчики дают возможность измерять самые разные характеристики быстрых заряженных частиц — направление движения, величину заряда, скорость, энергию. Именно прогресс в физике высоких энергий, связанный с применением черенковских счетчиков, послужил основанием для присуждения в 1958 г. Нобелевской премии Тамму, Франку и Черенкову.

Молчаливо принято считать, что роли в открытии и объяснении эффекта Вавилова—Черенкова были распределены следующим образом: Вавилов и Черенков получили опытные результаты, а Тамм и Франк построили теорию явления. Это представление слишком схематично. Выше уже было сказано, что Вавилов не только определил тему исследования и методике измерений, в которых и сам принимал участие, но и высказал первые соображения о природе обнаруженного свечения, т.е. внес вклад и в теорию явления. А Франк не только вме-



Сергей Иванович Вавилов в 30-е годы. Слева — на отдыхе в Крыму. Справа — в лаборатории ГОИ с Б.Я.Свешниковым.

сте с Таммом создал теорию явления, но и помогал Черенкову в измерениях, поэтому всегда знал состояние дел.

Свечение Вавилова—Черенкова было очень слабым. Для того, чтобы его наблюдать, надо было предварительно «настроить глаза на темноту» — провести около часа в полной темноте. За это время чувствительность глаза возрастала в десятки тысяч раз, и слабое свечение становилось различимым и измеримым. Можно было приступать к измерениям. Однако для того, чтобы записать показания измерительного прибора, надо было осветить шкалу, а свет сбивал адаптацию зрения на темноту. После каждой записи потребовалось бы опять час-полтора проводить в темноте. Избежать этого неудобства можно было с помощью ассистента. Ассистент сидел в полной темноте вместе с Черенковым. Когда нужно было записать отсчет по шкале прибора, Черенков укутывал голову светонепроницаемой тканью, а помощник включал свет и записывал показания. Потом освещение выключалось, Черенков снимал «чадру» и продолжал измерения. Ассистентами в из-

мерениях Черенкова перебивали по очереди многие сотрудники лаборатории Вавилова. Нередко эту обязанность выполнял также Илья Михайлович Франк. Поэтому он состояние эксперимента знал во всех тонкостях.

К этому следует еще добавить, что Илья Михайлович прожил 20 лет в одной коммунальной квартире с Павлом Алексеевичем Черенковым. Когда ФИАН в 1934 г. был переведен из Ленинграда в Москву, молодым сотрудникам Н.А.Добротину, И.М.Франку и П.А.Черенкову сначала была предоставлена комната в общежитии, где они и проживали втроем, пока их семьи оставались в Ленинграде. Через некоторое время им была предоставлена коммунальная квартира. Каждый из них получил по комнате и мог перевезти в Москву свою семью. Научное общение, обсуждения проводимых исследований не прекращались и после возвращения с работы домой.

Опыты по исследованию нового свечения проводились сначала в Ленинграде. В 1934 г., после перевода Физического института в Москву, исследования были продолжены.

Сергей Иванович Вавилов, основатель и директор Физического института им.П.Н.Лебедева, создал там замечательную атмосферу сотрудничества и научных поисков. Впоследствии, много времени спустя, Франк вспоминал:

«В молодости мне посчастливилось в том отношении, что уже в студенческие годы я попал в среду, в которой научное влияние воспринималось особенно интенсивно и разносторонне. Я имею в виду научную школу Л.И.Мандельштама, к которой принадлежали мои непосредственные учителя и выдающиеся физики С.И.Вавилов, Г.С.Ландсберг и И.Е.Тамм — ученые, столь различные по своей индивидуальности. Была, однако, особенность, характерная для всей этой школы — это непрерывное научное общение. Вопросы теории и результаты экспериментов неизменно и постоянно обсуждались, и эти разговоры (они происходили и вне научных семинаров), частые и длительные, никто не считал потерей времени. Первое время мне казалось удивительным, что столь выдающиеся люди часы своего драгоценного времени,

в которое могли бы сделать нечто замечательное, тратят на разговоры, в которых немало внимания уделяется тому, что не получилось или оказалось ерундой. В то время я не понимал и того, что в этих беседах часто излагались новые идеи, задолго до их опубликования, и, разумеется, без опасения, что их опубликует кто-то другой. Притом никто не жалел усилий, чтобы помочь формированию нового в понимании, совершенно не думая о соавторстве. В той моральной атмосфере, которая была свойственна школе Л.И.Мандельштама, это было более чем естественно» [1].

В этом отрывке очень верно изображена замечательная творческая атмосфера, которая существовала в ФИАНе тех лет (в определенной степени она сохранилась и в последующие годы) и которая врезалась в память Ильи Михайловича.

Но, пожалуй, в приведенном отрывке все же есть одна неточность. Франк пишет, что Вавилов принадлежал к научной школе Мандельштама. Это не так. Вавилов был учеником П.П.Лазарева, одного из ближайших сотрудников П.Н.Лебедева. Когда студент Вавилов выбирал тему для научной работы, он хотел работать в лаборатории Лебедева. В то время Лебедев уже был серьезно болен, и темы для научных работ давал студентам его ближайший помощник, тогда приват-доцент, а впоследствии академик Петр Петрович Лазарев. Сергей Иванович получил от Петра Петровича тему своего первого исследования и, таким образом, вошел в научную школу Лебедева, а позднее и сам стал главой научной школы. Почему же Франк отнес Вавилова к школе Мандельштама, правда, к не менее замечательной научной школе, но все же не к той, из которой Вавилов вышел? Причина, возможно, лежит в следующем. Сергей Иванович как директор института считал своим долгом создать все условия для плодотворной научной работы сотрудников. Наука,



И.Е.Тамм, П.А.Черенков и И.М.Франк. 1958 г.

институт, сотрудники — это было для него на первом месте, а себе он сознательно отводил второе место. Молодой Франк, видя уважительное отношение Вавилова к Мандельштаму, мог причислить Сергея Ивановича к школе Мандельштама.

Впрочем, разнесение членов ученого сообщества по научным школам есть задача с неоднозначным решением, особенно в том случае, если две научные школы тесно взаимодействуют между собой. Так или иначе, Франк имел основания написать то, что он написал.

\* \* \*

Теория излучения Вавилова—Черенкова была создана Таммом и Франком. Можно задать вопрос, что именно каждый из них внес в создание теории. Этот вопрос как-то при мне задал Илье Михайловичу один физик. Франк ответил:

— Мы с Игорем Евгеньевичем условились не делить перемные.

Когда я немного времени спустя спросил у Тамма, как возникла качественная картина, объясняющая излучение Вавилова—Черенкова, он сказал:

— Это мы вместе с Ильей Михайловичем придумали.

Ни малейшего следа какой-нибудь обиды или неприязни в отношениях между Таммом и Франком я не замечал. Они относились друг к другу любовно и бережно, Тамм — как старший коллега, Франк — как младший, считавший Тамма одним из своих учителей.

Но все же на вопрос, кто из них и какой вклад внес в теоретическое объяснение, можно попытаться ответить.

Состояние дел в исследовании нового вида свечения постоянно обсуждалось на семинаре Вавилова, а также и при встречах вне семинара. Здесь надо сказать, что не все физики, знавшие об этих исследованиях, принимали их всерьез. Некоторые сомневались в чистоте эксперимента, с недоверием относились к результатам, полученным при измерениях на пороге зрения. Но все ближайшие коллеги Сергея Ивановича не сомневались в том, что обнаружено новое свечение, и внимательно следили за ходом исследования. В частности, Игорь Евгеньевич Тамм постоянно обсуждал с Ильей Михайловичем

возможные причины этого явления.

На одном из заседаний семинара, которым руководил Вавилов, было предложено поместить стаканчик со светящейся жидкостью в магнитное поле. Электроны, выбитые из атомов жидкости, должны были изменить направление своего движения под действием магнитного поля. Поскольку предполагалось, что именно электроны являются источником свечения, то должны были измениться и свойства наблюдаемого света.

Опыты с магнитным полем были проведены, и они обнаружили новое свойство излучения Вавилова—Черенкова — излучение оказалось направленным. Электроны излучали вперед, в направлении своего движения.

Когда Франк передал это Тамму, Игорь Евгеньевич высказал важное замечание. Он сказал, что если излучение направленное, то оно излучается с достаточно большого пути, сравнимого с длиной излучаемой волны. Это замечание было основано на законах волновой оптики. Согласно этим законам, если имеется излучатель размера  $L$ , излучающий волны длиной  $\lambda$ , то эти излученные волны распространяются вблизи от некоторого выделенного направления, так что угловой разброс  $\Delta\phi$  в направлениях распространения равен по порядку величины отношению длины волны к размерам излучающей системы:  $\Delta\phi = \lambda/L$ . Если размер системы  $L$  много больше, чем длина  $\lambda$  излучаемой волны, то разброс углов мал, излучение, как говорят, остро направлено.

Франк со всем вниманием отнесся к этому важному замечанию. К тому времени предположение Вавилова о том, что источником наблюдаемого свечения служат электроны, выбитые из атомов гамма-лучами радия («комpton-электроны»), стало уже твердо установленным фактом. Электроны двигались в исследуемой жидкости примерно в том же самом направлении,

что и выбитые их гамма-лучи. Если предположить, что электроны излучали на всем своем пути в жидкости, то длина этого пути и составляла размер излучателя. Франк решил рассмотреть, как складываются электромагнитные волны, излученные движущимся электроном из каждой точки пути. Для этого он воспользовался тем же, по существу, приемом, который применил великий голландский физик Х.Гюйгенс в своем «Трактате о свете» (1690) при рассмотрении явлений отражения и преломления света. Согласно Гюйгенсу, каждая точка, расположенная на фронте волны, служит источником излучения вторичной волны, и огибающая всех этих вторичных волн образует новый фронт, который и определяет свойства волны и, в частности направление ее распространения. В согласии с замечанием Тамма, Франк предположил, что из каждой точки пути при движении электрона в среде излучается сферическая волна, и совокупность этих волн образует результирующее поле. Такой простой подход позволил разобраться в качественной стороне явления и объяснить некоторые свойства излучения Вавилова—Черенкова, в частности, направленность излучения. Оказалось, что если скорость заряженной частицы в среде меньше, чем фазовая скорость света в той же среде, волны, излученные из разных точек траектории, не имеют общей огибающей. Если же скорость частицы превосходит фазовую скорость света, волны, излученные на всем пути, имеют общую огибающую, т.е. существует излучаемая волна, фронт которой и представляет собой огибающая. Эта огибающая составляет определенный угол с линией движения частицы, и угол этот определяет направленность излучения. Простые оценки, сделанные Франком, показали, что такая картина дает качественное согласие с наблюдениями.

Но в картине, полученной Франком, было много такого, что казалось на первый взгляд очень странным. Было хорошо известно, что равномерно движущийся заряд не излучает электромагнитных волн. В противоположность этому известному факту Франк исходил из предположения, что заряд излучает в каждой точке своего пути. Из замечания, высказанного Таммом, следовало, что и он так считал. Было также на первый взгляд непонятно, как может скорость заряженной частицы превышать скорость света. Согласно теории относительности, никакое материальное тело не может иметь скорость, превышающую скорость света.

Полученные результаты Илья Михайлович рассказал по очереди нескольким физикам, в том числе М.А.Маркову и М.А.Леонтовичу. Они выслушали рассказ Франка, но не проявили к нему большого интереса. Впоследствии Михаил Александрович Леонтович, когда заходила речь о каком-либо высказывании Франка, говорил:

— Илья — серьезный мужчина, его надо слушать внимательно. Я в свое время не послушал и упустил Нобелевскую премию.

Со своими результатами (и со своими сомнениями) Франк обратился к Тамму. Игорю Евгеньевичу все это было близко, потому что беседы с Вавиловым и Франком заставляли его задумываться над природой нового свечения. Он с неподдельным горячим интересом выслушал Франка и решил провести расчет явления с применением строгой теории — электродинамики Максвелла—Лоренца.

Спустя некоторое время Тамм позвонил Франку и попросил того немедленно приехать к нему домой. Франк писал в своих воспоминаниях:

«Я застал И.Е.Тамма за столом, увлеченного работой и уже исписавшего много листов бумаги формулами. Он сразу же стал рассказывать мне о сделанном им до моего прихода. Сей-

час я уже не могу вспомнить в точности, что было предметом совместного обсуждения в ту ночь. Думаю, что обсуждались и ход решения задачи, предложенный И.Е.Таммом, и правильность выкладок, и физические основы теории, в которых многое было еще неясно. Помню только, что просидели мы долго. Домой я возвратился под утро пешком, так как городской транспорт уже закончил (или еще не начал) свою работу. У меня было ощущение, что в моей жизни произошло немаловажное событие, вероятно, главным образом потому, что я впервые стал участником теоретической работы, и притом совместно с И.Е.Таммом».

Второго января 1937 г. совместная статья Тамма и Франка поступила в редакцию журнала «Доклады Академии наук СССР». Статья называлась «Когерентное излучение быстрого электрона в среде», и в ней содержалось теоретическое объяснение излучения Вавилова—Черенкова. К тому времени вопросы, которые вызывали сомнения, были успешно разрешены. В частности, вопрос о том, может ли равномерно движущаяся заряженная частица излучать в каждой точке своего пути и не противоречит ли это утверждению, что равномерно движущийся заряд не излучает. Оказалось, что два этих утверждения согласуются. Действительно, можно считать, что любой движущийся заряд, в том числе и равномерно движущийся, излучает в каждой точке своего пути. Но при равномерном движении, если скорость частицы меньше, чем фазовая скорость света в той среде, через которую движется частица, излученные волны взаимно гасятся. В данном случае отсутствие излучения происходит вследствие взаимного погашения всех излучаемых волн. А в случае, когда скорость частицы превышает скорость излучаемых волн, эти волны когерентно складываются, а не гасят друг друга.



Прилет в Стокгольм 7 декабря 1958 г. П.А.Черенков — под руку с супругой Марией Алексеевной.

Стало также ясно, что движущиеся частицы со скоростью, превышающей фазовую скорость света в среде, не противоречит теории относительности. Действительно, теория относительности запрещает движение материальных тел со скоростью, превышающей скорость света в пустоте. А скорость света в среде, как правило, меньше, чем скорость света в пустоте. Скажем, прозрачная пластмасса имеет показатель преломления  $n = 1.5$ . В такой среде скорость света равна, круглым счетом, 200 000 км/с. В то же время скорость света в пустоте равна 300 000 км/с, т.е. в полтора раза больше. Поэтому частица может обогнать световую волну в среде и в то же время иметь скорость меньше, чем скорость света в пустоте.

Теория Тамма и Франка объясняла все ранее полученные экспериментальные результаты. Но в теории также содержались предсказания, которые следовало проверить. Теория давала ко-

личественные выражения для спектра, интенсивности излучения, точно определяла поляризацию. Дополнительные эксперименты, проведенные Черенковым в 1937 г., подтвердили количественные выводы теории.

В 1946 г., в первый послевоенный год, Вавилов, Тамм, Франк и Черенков были удостоены Сталинской премии первой степени (в то время это была самая высокая научная награда в СССР). Премия была присуждена «за открытие и исследование излучения электронов при их движении в веществе со сверхсветовой скоростью». А вскоре появилось предложение по использованию свечения Вавилова—Черенкова для регистрации быстрых заряженных частиц. Соответствующие устройства получили название черенковских счетчиков. Они прочно вошли в арсенал физики высоких энергий, где служат для определения различных характеристик быстрых заряженных частиц.



Нобелевские лауреаты 1958 г.: Дж.У.Бидл, Э.Л.Тейтем, И.Е.Тамм, Ф.Сенгер, П.А.Черенков, И.М.Франк, Дж.Ледеберг.



Теперь можно подержать медаль в руках.

В 1958 г. за открытие и объяснение излучения Вавилова—Черенкова трем советским физикам — Тамму, Франку и Черенкову — была присуждена Нобелевская премия по физике. Сергей Иванович Вавилов не дожил до этого времени — он скончался восемью годами ранее.

Илья Михайлович Франк впоследствии неоднократно обращался к различным вопросам, связанным с теорией излучения Вавилова—Черенкова. В совместной его работе с Виталием Лазаревичем Гинзбургом было рассмотрено излучение Вавилова—Черенкова при движении заряженной частицы не в сплошной однородной среде, а в канале, проделанном в этой среде. По результатам работы стало возможно судить о том, какие области среды — удаленные от траектории заряда или близкие к траектории — прини-

мают участие в образовании излучения. Он также исследовал длительность вспышки излучения Вавилова—Черенкова. Этот вопрос был важен для определения эффективности работы черенковских счетчиков.

В послевоенные годы Франк много времени и сил уделял исследованиям по физике нейтронов. Эта область ядерной физики была важна и для физики атомного ядра вообще, и для физики ядерных реакторов в частности. Но классическая теория прохождения заряженной частицы через вещество продолжала его интересовать. В последние годы жизни он написал книгу, которую можно рассматривать как итог его исследований, посвященных излучению Вавилова—Черенкова [2].

\* \* \*

У теории Франка и Тамма были исторические предшественники. В 1904 г. знаменитый немецкий математик и физик А.Зоммерфельд вычислил поле электрона, который движется в пустоте со скоростью, превышающей скорость света. Зоммерфельд показал, что в этом случае электрон излучает электромагнитные волны. Но в следующем году была окончательно сформулирована теория относительности, согласно которой сверхсветовое движение в пустоте оказалось невозможным. Работа Зоммерфельда была забыта. Тамм и Франк о ней не знали, когда создавали свою теорию. О публикации Зоммерфельда они узнали, когда уже законченные результаты своей работы обсуждали с А.Ф.Иоффе. Тот помнил о работе Зоммерфельда. Так в уже упомянутой статье Тамма и Франка «Когерентное излучение быстрого электрона в среде» появилась ссылка на забытую работу Зоммерфельда. Отгиск статьи был послан Зоммерфельду. Тот ответил благодарственным письмом, а в свой учебник «Оптика» включил параграф «Излучение Черенкова».



На торжественном обеде. Приятная беседа с принцессой Биргиттой.



Удостоены внимания мадам Эрландер, супруги премьер-министра.

Но Зоммерфельд ни в своем письме, ни в учебнике не упомянул о том, что еще в конце XIX в. английский ученый О.Хевисайд рассмотрел движение точечного электрического заряда в среде, причем он также рассмотрел случай, когда скорость заряда превосходила скорость света в среде. Он показал, что в этом случае имеет место излучение электромагнитных волн, причем излучение направленное, и определил некоторые свойства этого излучения. Рассмотр-

ние Хевисайда было не таким полным, как у Франка и Тамма, он, в частности, не учитывал дисперсии, т.е. зависимости показателя преломления от частоты световой волны. Он также полагал, что скорость электрона может быть как угодно велика. Ограничения на скорость, налагаемые теорией относительности, ему не были известны, потому что не было еще теории относительности.

Можно сказать, что Хевисайд подошел к современной теории

излучения Вавилова—Черенкова ближе, чем кто-либо другой. Но его работа не привлекла внимания и была быстро забыта. Причина этого состоит в том, что Хевисайд намного опередил свое время. В те годы сторонников атомного строения вещества можно было пересчитать по пальцам, а атом электричества — электрон — даже еще не был открыт. И трудно было себе представить в то время, что может существовать частица, скорость которой превышает скорость света в среде. Возможность получать такие частицы появилась лишь значительно позднее, в первом десятилетии XX в., после открытия радиоактивности. Не очень многие люди читали статьи и книги Хевисайда, а те, кто читал, сочли, что его рассмотрение поля сверхсветового заряда далеко от реальности. Напротив, перед Таммом и Франком стояла задача объяснить реальное, уже открытое излучение, источником которого были реальные быстрые заряженные частицы.

О работах Хевисайда вспомнили в первой половине 70-х годов XX в., примерно через 90 лет после того, как они были выполнены. Илья Михайлович Франк в это время отдыхал в академическом санатории «Узкое». Я его там навещал. По его просьбе я привез третий том книги Хевисайда «Электромагнитная теория». В этом томе Хевисайд рассматривал сверхсветовое движение точечного заряда в преломляющей среде. Илья Михайлович прочитал интересовавшую его часть книги и в следующий мой приезд, когда разговор зашел о Хевисайде, сказал:

— Это большая честь иметь такого предшественника.

\* \* \*

В 1942 г. Франк опубликовал в журнале «Известия Академии наук» статью под заголовком «Эффект Доплера в преломляющей среде». Эта работа по сей день определяет уровень понимания

в той области, которой она была посвящена.

Пусть имеется передатчик, излучающий определенную длину волны. Роль передатчика может играть атом, излучающий световую волну, или лазер, или радиостанция. И пусть эти сигналы принимает человек, вооруженный приемным устройством. Если прием и передача происходят в пустоте и оба устройства — передатчик и приемник — покоятся друг относительно друга, то приемник надо настраивать на ту же самую частоту, на которой работает передатчик, иначе сигнал не будет принят. Если же передатчик и приемник движутся друг относительно друга, то оказывается, что частота передатчика и частота, на которой происходит прием сигнала, не совпадают. Если, например, передатчик и приемник сближаются, то частота приема смещается в сторону более высоких частот. Если же передатчик и приемник удаляются один от другого, то, наоборот, частота приема оказывается меньше, чем частота, на которой работает передатчик. Это явление на примере света, идущего от двойных звезд, впервые исследовал австрийский физик Х.Доплер в середине XIX в. Оно получило название эффекта Доплера.

Франк рассмотрел эффект Доплера не в пустоте, а в преломляющей среде, где имеет место явление дисперсии, т.е. волны различной частоты распространяются с различной скоростью. Оказалось, что эффект Доплера в преломляющей среде обладает многими интересными особенностями. В частности, может так случиться, что передатчик работает на одной определенной частоте, а прием может происходить на нескольких дискретных частотах. Сигнал расщепляется по частоте. Не менее интересные результаты были получены для случая, когда скорость излучателя превосходит скорость света в среде (скажем, атом дви-

жется сквозь среду со сверхсветовой скоростью и излучает). Эффект Доплера при сверхсветовой скорости излучателя был позднее исследован в совместной работе И.М.Франка и В.Л.Гинзбурга. Как известно, в обычных условиях атом, оказавшись в возбужденном состоянии, излучает свет и переходит в нормальное состояние. Если же атом движется со сверхсветовой скоростью, то, как показали Гинзбург и Франк, излучение может сопровождаться переходом не в нормальное, а в еще более высокое возбужденное состояние. Это явление получило название аномального эффекта Доплера.

В статье «Эффект Доплера в преломляющей среде» Франк ввел очень важную величину, определяющую процессы излучения движущихся источников. Он эту величину назвал сначала «зона Френеля» по аналогии с теорией дифракции, затем стал употреблять название «путь формирования излучения». Теперь эту величину чаще называют «когерентная длина». Она характеризует движение заряженной частицы в поле электромагнитной волны. Когерентная длина — это расстояние, которое проходит заряд в поле волны так, что при этом фаза волны в точке, где находится заряд, изменяется не больше, чем на половину длины волны. Другими словами, когерентная длина — это расстояние, на котором заряженная частица либо отстает от волны, либо опережает ее на полволны.

Существует распространенное мнение, что физические процессы при высоких энергиях характеризуются интенсивным взаимодействием на малых расстояниях, разыгрываются в малых пространственных областях и эти процессы следует описывать с помощью квантовой теории. Франк показал, что даже при высоких энергиях имеется такой класс процессов, которые протекают на большом пути, и этот путь тем боль-





М.В.Келдыш в лаборатории И.М.Франка в Дубне. Слева — инженер Николай Лузанов. 1964 г.

ше, чем выше энергия частицы. Таким процессом, в частности, является излучение Вавилова—Черенкова. Частица здесь неограниченно долго движется в фазе с излучаемой волной, и, следовательно, когерентная длина может стать сколь угодно большой.

Рассмотрение Франка позволило выделить ряд процессов излучения, которые происходят при высоких энергиях и, тем не менее, допускают классическое описание. К числу таких процессов относится и переходное излучение.

\* \* \*

Излучение Вавилова—Черенкова имеет место при движении заряженной частицы в однородной среде. В середине 40-х годов Франк заинтересовался вопросом, как протекает излучение частицы, если она движется в неоднородной среде. Простейший пример излучения движущейся частицы в неоднородной среде был рассмотрен совместно В.Л.Гинзбургом и Франком. Их совместная работа началась еще в годы Отечественной войны, а результат ее был опубликован в «Журнале экспериментальной и теоретической физики» (ЖЭТФ) в 1946 г. под заглавием «Излучение равномерно движущегося электрона, возникающее при его переходе из одной среды в другую». Рассматривались две разные среды (с различными значениями диэлектрической проницаемости), разделенные плоской границей. Заряженная частица двигалась равномерно в одной из сред по направлению к границе, пересекала границу раздела по нормали и двигалась дальше, уже во второй среде. Оказалось, что такое пересечение границы между двумя средами сопровождается излучением электромагнитных волн. Авторы назвали это излучение переходным. В работе были определены поля по обе стороны границы и подсчитаны потери энергии на излучение

назад, в ту среду, где электрон двигался первоначально.

У переходного излучения и у излучения Вавилова—Черенкова оказались разные судьбы. Это замечание относится к первым годам развития. Уже было сказано выше, что излучение Вавилова—Черенкова после своего открытия несколько лет ожидало теоретического объяснения. В противоположность этому переходное излучение было сначала предсказано теоретически, а обнаружено на опыте двенадцать лет спустя. В дальнейшем теория переходного излучения не только способствовала развитию наших теоретических представлений относительно прохождения заряженной частицы через вещество, но также позволила осуществить важные применения в физике высоких энергий. Оказалось возможным регистрировать быстрые заряженные частицы по испускаемому ими переходному излучению. Счетчики на переходном излучении теперь применяются во всех центрах по физике высоких энергий.

Большой вклад в развитие теории и приложений переходного излучения внесли ученые Ереванского физического института (ЕрФИ). До развала Советского Союза этот институт лидировал в развитии теории рентгеновского переходного излучения, в создании счетчиков на переходном излучении. Состоялось несколько международных симпозиумов, посвященных теории и приложениям этого явления. В последние годы международные симпозиумы по взаимодействию быстрых частиц с веществом регулярно проводились по инициативе Томского политехнического института. На этих симпозиумах доклады и обсуждения, посвященные переходному излучению, занимают важное место. Исследование разных сторон переходного излучения проводится также в Московском государственном универ-

ситете, Белгородском университете, в Физическом институте РАН.

Отметим еще, что переходное излучение используется также для генерации мощного электромагнитного излучения интенсивными пучками заряженных частиц.

\* \* \*

Выше было сказано о роли Сергея Ивановича Вавилова в открытии эффекта, который носит его имя наряду с именем Павла Алексеевича Черенкова. Роль его была велика и как участника постоянных обсуждений, которые способствовали пониманию и в конечном счете привели к созданию теории Тамма—Франка.

Не меньшую роль сыграл Вавилов и на всех этапах научной жизни Франка. Студент Московского университета, Илья Михайлович Франк выполнял дипломную работу под научным руководством Сергея Ивановича. После окончания университета Франк работал научным сотрудником Государственного оптического института (ГОИ), где Вавилов был заместителем директора по науке. Когда Вавилов был назначен директором ФИАНа, он пригласил Франка в качестве сотрудника лаборатории атомного ядра. Этот факт тоже заслуживает особого внимания.

Немногие в те годы могли оценить перспективы развития ядерной физики, которая только начинала свое бурное развитие. А Вавилов предвидел это бурное развитие. Его специальностью была физическая оптика, но он в то время предлагал своим ученикам темы, пограничные с ядерной физикой. Вот и тема исследования, которое проводил его аспирант Черенков, была «Свечение растворов ураниловых солей под действием гамма-излучения радия». И в создаваемом Вавиловым институте с самого начала была предусмотрена лаборатория атомного ядра. Его заботы по

развитию ядерной физики окупилась сторицей. В годы после Отечественной войны, когда перед страной встала задача создания ядерного оружия, созданный им ФИАН сыграл не последнюю роль в решении этой задачи.

Вавилов был человеком высокой культуры и высокой порядочности. Мандельштам как-то сказал, что очень порядочных людей не бывает: либо человек порядочный, либо нет. Но самого Мандельштама хочется назвать очень порядочным человеком. И таким же был Сергей Иванович Вавилов.

Франк ценил Вавилова и как учителя, и как заботливого руководителя, и как человека высокой культуры, в том числе и высокой культуры поведения. Он относился к Вавилову с любовью, уважением, благодарностью за науку и за чисто человеческое внимание и расположение.

Когда Сергей Иванович скончался, Франк много сил потратил на то, чтобы собрать и издать сборник воспоминаний о нем. Он стал его редактором. Сборник вышел тремя изданиями. В третье Илья Михайлович включил несколько новых, ранее не публиковавшихся статей, написанных людьми, близко знавшими Вавилова. Свою вводную статью Илья Михайлович очень сильно дополнил для третьего издания, так что объем ее удвоился. Многое из того, что он добавил в свою статью, просто нельзя было написать раньше, в предыдущих изданиях (первое издание вышло в 1979 г., второе — в 1981-м).

Во время подготовки к печати третьего издания Франк тяжело болел. Он сильно опасался, что не успеет закончить редактирование книги. Когда подготовка к печати была завершена, он сказал родным:

— Теперь можно и помирать.

И спустя несколько дней умер. Книга вышла из печати вскоре после его кончины.

\* \* \*

Илья Михайлович был очень сдержанный и вежливый человек. Сдержанность его и вежливость доходили до такой степени, что можно было удивляться.

Однажды в Москву приехал из Еревана мой друг Григорий Маркарович Гарибян, известный физик, который занимался теорией переходного излучения. Он получил новые результаты и рассказал мне. Я ему посоветовал:

— Гриша, съезди в Дубну к Илье Михайловичу Франку, расскажи ему. Это ему будет очень интересно.

Гриша отправился в Дубну и вернулся оттуда счастливый. Он рассказал, что Илья Михайлович выслушал его очень благожелательно, выразил полное согласие с его результатами. Спустя несколько недель я встретил Илью Михайловича в ФИАНе. Разговор зашел о результате, полученном Гарибяном.

— Помилуйте, что же там нового? — сказал Илья Михайлович. — Это все мне давно известно. Я ему говорю: «Как хорошо, что мы с вами думаем одинаково». А он не понимает!

\* \* \*

Приведу еще один случай, из которого видно, какой Илья Михайлович был цивилизованный человек.

Где-то в середине 70-х годов мне прислали на отзыв заявку на открытие. Тогда существовал такой порядок, что человек, совершивший открытие, получал специальный диплом, в котором было написано: такой-то и такой-то совершил такое-то и такое-то открытие. Это было чисто бюрократическое мероприятие. Что такое открытие в науке? У Ньютона не было диплома на открытие. И у Эйнштейна не было. А тут человек мог обратиться в Комитет по делам изобретений и открытий с заявлением: так и так, я открыл то-то и то-то, прошу выдать мне диплом на открытие.

Одно из таких заявлений мне и прислали на отзыв.

Прочитав заявку, я увидел, что открытие, на которое претендовал автор, в значительной мере (наполовину или больше) было определено работами Илья Михайловича Франка. Я об этом и написал в своем отзыве.

Не знаю, как дальше пошло дело о присуждении диплома на открытие. Вполне возможно, что по заявке было принято положительное решение, и заявитель получил-таки диплом на открытие.

Спустя года полтора после этого случая я рассказал о нем Илье Михайловичу.

— Я знаю, — сказал Илья Михайлович, — он мне сообщил, что хочет подать заявку на открытие. А я ему сказал: «Подайте». Но ведь он мог понять, что это мне неприятно.

О судьбе заявки Илья Михайлович тоже ничего не знал.

\* \* \*

Принято ругать плохие работы по физике — ошибочные, содержащие неаккуратные измерения или неверные физические идеи. Илья Михайлович придерживался другого мнения. Он говорил:

— Считается, что плохие работы вредят развитию физики. Я с этим не могу согласиться. Плохие работы никакого влияния на развитие физики не оказывают. Их быстро забывают.

\* \* \*

Было в жизни Илья Михайловича Франка событие, которое доставило ему годы горьких переживаний.

29 августа 1973 г. в газете «Правда» — в главной газете страны — было напечатано письмо с осуждением общественной деятельности академика Андрея Дмитриевича Сахарова. Под письмом стояли подписи сорока академиков, и в их числе была подпись Франка.

А.Д.Сахаров в 1969 г. написал свою знаменитую статью «О мирном сосуществовании,

прогрессе и интеллектуальной свободе». В этой статье он размышлял о путях развития Советского Союза и мирового сообщества, обсуждал необходимые условия для нормального развития страны. Его соображения во многом противоречили официальной идеологии, которой придерживалось руководство Советского Союза. Идеология эта оставалась неизменной вплоть до развала советского государства, она, собственно, и привела к развалу. Мысли, высказанные Андреем Дмитриевичем, в нашей стране замалчивались или искажались, а сам он стал объектом травли на страницах газет и журналов. Одним из элементов этой травли и стало письмо сорока академиков.

Из сорока академиков, подписавших письмо, несомненно, были люди, сделавшие это по убеждению. Были и такие, на которых оказывалось давление, которые по своей воле не подписали бы письмо. Но какое давление могло оказать академическое начальство на Илью Михайловича Франка, всемирно известного ученого, нобелевского лауреата?

У нас, в ФИАНе, рассказывали такую историю. Приходит Андрей Дмитриевич Сахаров в институт 29 августа и видит: в вестибюле вывешена фотокопия письма сорока академиков. Подошел к письму, прочитал, дошел до подписей. Изучил их и говорит:

— Илья Михайлович Франк подписал это письмо. Хороший человек, я ему сочувствую. А вот Виталий Лазаревич Гинзбург не подписал. Хороший человек, я ему сочувствую.

Те, кто отказался подписать письмо, ждали неприятностей от начальства. Те, кто подписал (по крайней мере некоторые из них), испытывали укоры совести. Андрей Дмитриевич сочувствовал и тем и другим.

Примерно через месяц после того, как появилось письмо сорока, в ФИАНе было составлено «Заявление ученых ФИАН», в котором общественная деятельность Сахарова осуждалась. Сотрудники Теоретического отдела ФИАН (отдела, в котором работал Сахаров) отказались подписывать это письмо. Когда я рассказал об этом Илье Михайловичу Франку, он сказал:

— И правильно сделали.

Значит, он сочувствовал тем, кто отказался.

Я его ни о чем не расспрашивал. Через несколько лет он мне рассказал, при каких обстоятельствах он поставил свою подпись под письмом сорока. Его пригласил президент Академии наук и предложил подписать письмо. Илья Михайлович отказывался, президент уговаривал подписать. Это длилось довольно долго (если не ошибаюсь, Илья Михайлович сказал: два часа).

— А потом, — сказал Илья Михайлович, — президент перестал меня уговаривать. Он достал из стола листок с текстом и уже с подписями и дал мне этот листок. Я увидел среди прочих подписи таких людей, к которым относился с большим уважением. И подумал: раз такие люди подписали это письмо, значит, я неправ, что упорствую. И подписал, а теперь простить себе не могу.

3 января 1990 г. была напечатана статья Франка под заглави-

ем «Истина всегда берет верх». Там были такие строки:

«Недавно мы пережили тяжелое потрясение. Ушел из жизни великий борец за справедливость А.Д.Сахаров, и боль утраты еще не утихла. Никто, конечно, не забывает о тех гонениях, которым он недавно подвергался. Вина за них ложится и на Академию наук СССР. Я не был среди тех, кто осуждал присуждение ему Нобелевской премии мира, считая эту награду совершенно заслуженной. Однако в том, что опубликовала Академия наук против Сахарова, есть и моя доля вины. Я уже много лет как ее осознал и никогда об этом не забываю. Вместе с Д.С.Лихачевым говорю не только “прощай”, но и “прости”».

Из сорока академиков, подписавших письмо против Сахарова, мне известны только двое людей, которые принесли свои извинения Андрею Дмитриевичу. Это — Илья Михайлович Франк (его слова приведены выше) и Сергей Васильевич Вонсовский. Вонсовский покаялся на Общем собрании Академии наук, в присутствии Сахарова.

\* \* \*

Время, когда жил и работал Илья Михайлович Франк, было временем бурного развития физики в нашей стране. Это время сменилось временем развала и застоя. Предстоит восстановить многое, что было утрачено за последние десятилетия. Восстановить и пойти дальше. И память о тех, кто ранее прокладывал пути к знанию, восприятие их опыта и достижений помогут двигаться быстрее. ■

## Литература

1. Франк И.М. Воспоминания о Тамме. Изд. 3-е, доп. М., 1995. С.347.
2. Франк И.М. Излучение Вавилова—Черенкова. Вопросы теории. М., 1988.