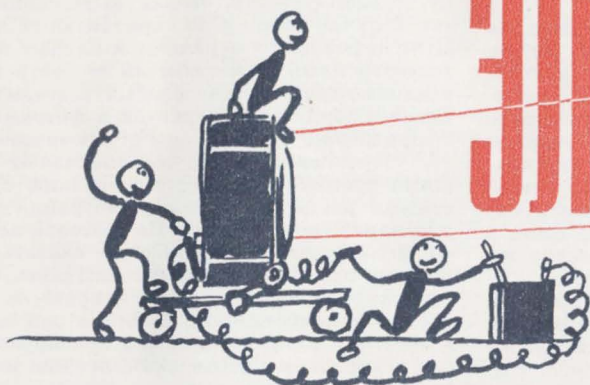


ЭЛЕКТРОНЫ СВЕТАТ



Б. М. БОЛОТОВСКИЙ,
кандидат физико-математических наук,
сотрудник Физического института
им. Лебедева АН СССР

СИЯНИЕ ЧИСТОЙ ВОДЫ

Это было двадцать четыре года назад. Молодой ученый Павел Алексеевич Черенков, работавший под руководством академика Сергея Ивановича Вавилова, исследовал особый вид свечения — люминесценцию, возбуждаемую в растворах урановых солей гамма-лучами радия. В опытах было замечено странное явление: все чистые жидкости слабо светились под действием гамма-излучения.

Как тогда считалось, чистые жидкости не могут светиться под действием гамма-излучения. Свечение их объясняли только примесями и полагали, что такое свечение всегда можно «потушить» — оно погаснет, как только в раствор будут введены другие примеси (так называемые тушители). Но в действительности все оказалось куда сложнее.

Если посмотреть, как светится под действием гамма-лучей радия обычная водопроводная вода, а затем очистить ее тройной дистилляцией, то свечение трижды дистиллированной воды оказывается таким же, как и до перегонки. Значит, дело не в примесях. К тому же это свечение не удавалось устранить весьма энергичными тушителями: нодистым калием, азотнокислым серебром, нитробензолом.

Уже из первых опытов Черенкова академик Вавилов сделал вывод, что новое свечение — вовсе не люминесценция. Но какова его природа? В поисках ответа предстояло подробно выяснить его особенности.

П. А. Черенков провел ряд трудных и тонких экспериментов. Свечение чистых жидкостей было очень слабым. Чтобы его увидеть, нужно было предварительно приучить зрение к темноте. Каждый день перед опытами Черенков час-полтора проводил в затемненной комнате. За это время чувствительность глаза увеличивалась в десятки тысяч раз. Затем начинались наблюдения. После каждого измерения глазам нужно было давать отдых. Два — два с половиной часа наблюдений настолько утомляли зрение, что дневную работу приходилось кончать, иначе появлялись ошибки.

Но постепенно многие свойства нового излучения были выяснены. Оставалось понять, как оно возникает.

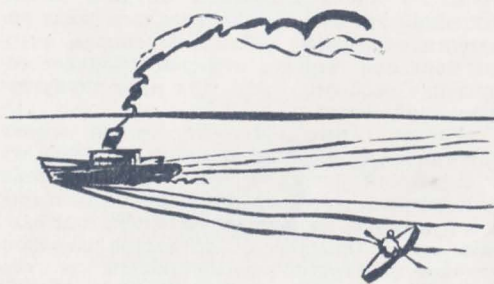


Рис. 1

ДОГАДКА АКАДЕМИКА ВАВИЛОВА

Еще в 1934 году, когда новое свечение было только обнаружено, академик Вавилов предположил, что его создают быстрые электроны, которые выбиваются из атомов жидкости гамма-лучами радия. Чтобы проверить правильность этой мысли, можно обойтись без гамма-лучей — взять радиоактивный препарат, испускающий электроны большой энергии, и направить их в жидкость. Черенков так и сделал. Свечение не исчезло! Значит, догадка Вавилова была правильной. Быстрые электроны, двигаясь в жидкости, излучали видимый свет. Но как, каким способом?

В то время был известен только один вид излучения свободного электрона в среде — так называемое тормозное. Быстрый электрон, попав в среду, замедляется, тормозится и при этом испускает свет. Но излучение, обнаруженное Черенковым, имело свойства, резко отличающие его от тормозного.

Какова же природа свечения Вавилова-Черенкова?

Рис. 2



Рисунки В. ПОЛИТКИНА

Полный ответ на этот вопрос был дан в 1937 году советскими физиками Игорем Евгеньевичем Таммом и Ильей Михайловичем Франком.

ПАРОХОД И ВОЛНЫ

Все видели волны, которые расходятся от носа парохода, идущего по ровной водной глади (рис. 1). Чем быстрее движется пароход, тем круче волны, тем приятнее покачаться на них, катаясь на лодке.

Почему же возникают эти волны?

Все мы в детстве любили, гуляя у реки, пускать камешек по воде рикошетом, чтобы он несколько раз отскочил от поверхности воды. И если камень отскочил от воды, скажем, три раза, а на четвертый раз утонул, то в момент исчезновения камня мы увидим три системы круговых волн, изображенных на рис. 2. Шире всех разойдется круговая волна от места первого касания, волны, возникшие в месте второго касания, уйдут на меньшее расстояние, а от точки третьего касания волны уйдут на еще меньшее расстояние. Эти три системы концентрических окружностей имеют общие касательные, показанные на рис. 3. Они в точности соответствуют «усам», которые тянутся за пароходом. Ведь в каждой точке своего пути нос парохода создает круговые волны, а чем дальше уходит пароход, тем дальше они расходятся. Там, где круговые волны идут навстречу друг другу, они взаимно гасятся. Остаются только две волны по огибающим касательным, изображенные жирными линиями. Это и есть «усы».

Подчеркнем одно необходимое условие образования таких «усов»: корабль должен двигаться быстрее, чем круговые волны, создаваемые им. Иначе пароход просто не выйдет за пределы кругов испускаемых им волн.

ЭФФЕКТ ПОНЯТ

Механизм эффекта Вавилова-Черенкова во многом аналогичен явлениям, возникающим при движении корабля. Роль корабля играет быстрая электрически заряженная частица, а роль водяных волн — испускаемые ею электромагнитные волны. Если скорость этой частицы превышает скорость электромагнитных волн в веществе, через которое пролетает частица, то в каждой точке своего

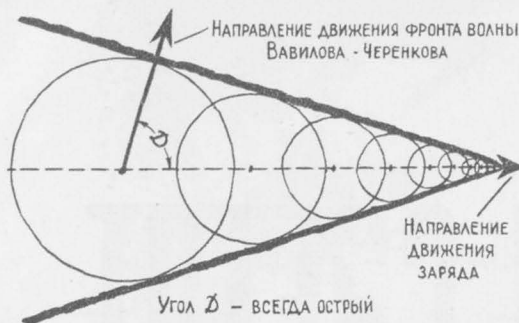


Рис. 3

пути частица возбуждает сферические электромагнитные волны. На поверхности огибающего конуса они взаимно усиливают друг друга, а внутри конуса — взаимно гасятся. Получается коническая электромагнитная волна, уходящая от заряда под острым углом к направлению его движения. Новый вид свечения, обнаруженный П. А. Черенковым, как раз и вызывается такой волной (ведь свет не что иное, как электромагнитные волны малой длины).

Есть и другая аналогия эффекта Черенкова — полет сверхзвукового самолета. В этом случае излучаются звуковые — акустические волны. Все эти три явления — поверхностные волны, черенковские волны и акустические волны — имеют много общего. Они все создаются источниками, скорость которых больше, чем скорость этих волн.

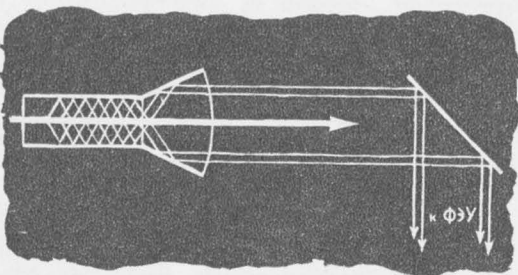


Рис. 4

БЫСТРЕЕ СВЕТА

Часто приходится слышать недоуменный вопрос: хорошо, корабль может двигаться быстрее поверхностной волны, реактивный самолет способен обогнать звук, но как может электрон или другая быстрая заряженная частица обогнать свет? Ведь мы знаем, что в природе не может быть движения тел со скоростью, превышающей скорость света в пустоте, — 300 000 км/сек. Этот вывод следует из теории относительности и подтвержден всем ходом развития физики.

Частица не может иметь скорость большую, чем скорость света в пустоте. Это правильно. Но отсюда следует только, что в пустоте не может быть эффекта Вавилова-Черенкова. В среде же, где скорость света меньше, чем в пустоте, такой эффект возможен.

Скорость света в среде характеризуется показателем преломления, который указывает, во сколько раз в данной среде скорость света меньше, чем в пустоте. Для воды, ска-

жем, показатель преломления равен 1,33. Следовательно, скорость света в воде равна 300 000 : 1,33, то есть круглым счетом 225 000 км/сек. Никто не запрещает заряженной частице иметь такую же или даже большую скорость, лишь бы эта скорость была меньше 300 000 км/сек. Если заряженная частица со скоростью выше 225 000 км/сек попадает в воду, неизбежно возникает черенковское излучение.

Надо сказать, что такие огромные на первый взгляд скорости — 225 000 км/сек и больше — вовсе не редкость в мире атомов. Электроны, выбиваемые из атомов гамма лучами радия, могут иметь значительно большую скорость. А заряженные частицы большой энергии, получаемые на современных ускорителях или приходящие на Землю из космического пространства, развивают скорость, настолько близкую к скорости света в пустоте, что могут давать черенковское излучение в любом прозрачном веществе.

Многие посетители Всесоюзной промышленной выставки видели, как сияет ровным голубоватым светом вода в активной зоне экспериментального уранового реактора. Это тоже свечение Черенкова.

ФИЗИКИ ВСПОМИНАЮТ

И. Е. Тамм и И. М. Франк проделали точный теоретический анализ черенковского излучения. Их вычисления полностью подтвердились измерениями Черенкова.

Так было стерто еще одно «белое пятно» на карте науки.

А затем, после того, как сущность загадочного свечения стала ясной, физики вспомнили, что и раньше, до работ Вавилова, Черенкова, Тамма и Франка, экспериментаторы сталкивались с этим явлением. Так, за восемь лет до Черенкова французский ученый Малле наблюдал свечение чистых жидкостей под действием гамма-лучей. Однако среди огромного числа известных случаев люминесценции это свечение не казалось заслуживающим внимания. Работа Черенкова впервые показала, что это свечение обладает совершенно особыми, лишь для него характерными свойствами.

Работа Тамма и Франка также имела теоретического предшественника. В 1904 году немецкий физик и математик Арнольд Зоммерфельд рассмотрел движение электрона в пустоте со скоростью большей, чем скорость света. Оказалось, что такой электрон излучает электромагнитные волны и его электромагнитное поле сосредоточено вблизи конической поверхности. Но движение в пустоте быстрее света невозможно. И исследование Зоммерфельда осталось своеобразным физическим курьезом. Только после трудов Тамма и Франка выяснилось отношение работы Зоммерфельда к действительности. Результаты Зоммерфельда оказываются правильными, если в его расчетах заменить скорость света в пустоте на меньшую величину — скорость света в среде. Тогда заряженные частицы могут обогнать световые волны и, следовательно, может иметь место черенковское излучение. После работ Тамма и Франка все встало на свои места.

СЧЕТЧИКИ ЧЕРЕНКОВА

Открытие Черенкова, Вавилова, Тамма и Франка быстро получило признание ученых всего мира. За прошедшие двадцать лет в печати появилось несколько сот работ советских, американских, английских, чехословацких, венгерских и других иностранных ученых, посвященных различным вопросам теории и приложений черенковского излучения.

Наиболее широко эффект Черенкова применяется сейчас для обнаружения быстрых заряженных частиц. Испуская черенковское излучение, частица как бы сама себя выдает. По световой вспышке, сопровождающей полет частицы, можно судить о многих ее свойствах. Приборы для подобной регистрации называют черенковскими счетчиками. В современной экспериментальной физике известно огромное количество разных конструкций этих аппаратов. Простейший черенковский счетчик изображен на рис. 4. Материалом для него служит люцит — прозрачная пластмасса, показатель преломления которой равен 1,5, а значит, скорость света в ней со-

ставляет 200 000 км/сек. Основу счетчика составляет люцитовая трубка, которая ставится торцом к источнику заряженных частиц. Путь излучающей частицы в счетчике показан на рис. 4 жирной стрелой. Двигаясь в люците быстрее света, частица дает черенковское излучение. Оно «путешествует» вдоль трубки, отражаясь от стенок, и попадает в коническую люцитовую же приставку, сделанную так, чтобы выходящий световой пучок состоял из параллельных лучей. Лучи отражаются зеркалом и падают на фотоэлектронный умножитель — устройство, усиливающее действие слабых световых сигналов. Разумеется, и счетчик и фотоумножитель надежно изолированы от дневного света.

Черенковские счетчики обладают большими преимуществами по сравнению с известными ранее способами регистрации быстрых заряженных частиц. По световой вспышке мы можем с уверенностью сказать, что частица пролетела через счетчик в направлении жирной стрелы (слева направо, а не в обратном направлении). Если бы она летела в обратном направлении, она и излучала бы свет в обратном направлении, а тогда на зеркало не попало бы света.

Сейчас разработаны конструкции черенковских счетчиков, с помощью которых можно определять не только направление полета частицы, но и ее скорость, заряд, полную энергию.

Физика космических лучей, физика ускорителей немислимы теперь без черенковских счетчиков. Они были установлены на советских искусственных спутниках Земли для регистрации потоков заряженных частиц. С их помощью была открыта новая частица — антипротон. Они применяются ныне в каждой лаборатории, где изучаются реакции, вызываемые частицами высоких энергий.

ОТКРЫТИЕ ПРОДОЛЖАЕТ ОСВАИВАТЬСЯ

Черенковские счетчики — не единственное приложение открытия советских ученых. Очень интересные работы ведутся у нас и за рубежом по использованию эффекта Вавилова-Черенкова для получения сантиметровых и еще более коротких радиоволн. Ведь радиоволны — такие же электромагнитные волны, как и свет. Если заряженная частица движется в среде со скоростью, превышающей скорость распространения радиоволн в этой среде, то появляется черенковское излучение на радиочастотах.

Надо вообще заметить, что по современным взглядом эффект Вавилова-Черенкова — очень распространенное явление. С ним сталкиваются исследователи многих областей физики — при исследовании плазмы, в проблеме управляемых термоядерных реакций, при изучении полярных сияний, при наблюдении радиоизлучения Солнца и звезд. В этих и в ряде других явлений черенковское излучение потоков заряженных частиц играет существенную роль.

Особенно интересно приложение теории эффекта Черенкова к поискам новых методов ускорения заряженных частиц.

Обычно частица излучает черенковскую волну и на это тратит энергию. Но существуют ускорители, в которых та же частица поглощает электромагнитную волну и за этот счет увеличивает свою энергию, ускоряется. Очень интересные идеи ускорения ступков из большого количества заряженных частиц с помощью обращения эффекта Черенкова были высказаны несколько лет назад академиком Владимиром Иосифовичем Векслером.

В конце октября 1958 года эффект Вавилова-Черенкова привлек всеобщее внимание. О нем заговорили не только в научных журналах, но в газетах и радиопередачах всех стран мира. Это и понятно. Шведская академия наук присудила П. А. Черенкову, И. Е. Тамму и И. М. Франку Нобелевскую премию по физике. Преподнесенная кончина академика С. И. Вавилова лишила нас возможности видеть его в числе нобелевских лауреатов (по уставу премия не присуждается посмертно).

За рубежом Нобелевская премия считается высшим научным отличием. И по праву отмечены теперь трое советских ученых.

