УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

РАЗВИТИЕ РАБОТ С. И. ВАВИЛОВА В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ*)

В. Л. Левшин, А. Н. Теренин, И. М. Франк

§ 1. ВВЕДЕНИЕ

Круг научных интересов С. И. Вавилова был, как известно, очень широк. Было бы безнадежной задачей попытаться дать в одном докладе хотя бы краткую характеристику всему, что было сделано С. И. Вавиловым. Поэтому в нашем сообщении мы хотим сосредоточить внимание только на развитии идей, наиболее близких С. И. Вавилову как ученому-физику. Таковы, прежде всего, вопросы физической оптики, а именно, изучение природы света и, особенно, люминесценции. С ними тесно связаны работы по эффекту Вавилова — Черенкова, которому также будет уделено внимание.

Научная деятельность С. И. Вавилова началась свыше сорока лет тому назад и оборвалась в 1951 г. С того времени прошло уже десять лет. При современном бурном темпе развития физики этот период уже в значительной мере стал достоянием истории науки. Теперь физик редко читает статьи, опубликованные десять, а тем более двадцать или тридцать лет тому назад. Это вовсе не значит, что все работы, выполненные в то время, теперь потеряли свое значение, хотя таких недолговечных работ много.

Обращаясь к трудам выдающихся ученых, мы находим в них утверждения, которые физики в дальнейшем будут считать очевидными и общеизвестными. Мы можем проследить также развитие тех областей науки, в которых данный ученый был зачинателем. Труды ученого порождают исследования в той же или близких областях. Поток таких работ не только дополняет, но часто заставляет существенно пересматривать первоначальные точки зрения.

Таким образом, часть результатов становится общеизвестной, и их можно найти всюду, а чтобы двигаться дальше, необходимы последние данные и новейшие идеи. Поэтому собственные труды основоположника той или иной области науки часто быстро становятся достоянием историка физики.

Есть, однако, исключения. Мы можем гордиться именами ученых, сочинения которых, посмертно изданные нашей Академией, становятся настольной книгой, необходимой в текущей работе. Это относится и к сочинениям С. И. Вавилова. Его книги и статьи по-прежнему актуальны для широкого круга читателей и особенно для физиков, работающих в области оптики и люминесценции.

Круг идей, из которых исходил С. И. Вавилов, характер постановки вопросов и те проблемы, которым посвящены его работы, не утратили своего значения. Дело в том, что темы работ С. И.Вавилова никогда не носили

^{*)} Доклад, прочитанный И. М. Франком 24 марта 1961 г. па заседании Президиума АН СССР, посвященном памяти С. И. Вавилова.

случайного характера. Они органически связаны с определенным кругом проблем, имеющих принципиальное значение и интересовавших Сергея Ивановича на протяжении всей его научной деятельности. Точки зрения на эти фундаментальные вопросы формулировались и уточнялись им в течение многих лет. С. И. Вавилов не был бы выдающимся физиком, если бы представления, сложившиеся в течение такой длительной и целеустремленной работы, потеряли бы свое значение за короткий срок.

§ 2. РАБОТЫ С. И. ВАВИЛОВА В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ

В последний год своей жизни С. И. Вавилов написал монографию «Микроструктура света». В ней С. И. Вавилов суммировал и критически рассмотрел итоги нескольких направлений своих работ за тридцать лет. Тот факт, что в эту книгу органически вошли многие работы, выполненные на протяжении всей научной деятельности С. И. Вавилова, означает, что основные его научные интересы действительно оставались неизменными, а его работы связаны глубокой общностью идей. В предисловии к книге «Микроструктура света» С. И. Вавилов сам говорит о том, что объединяет эти работы. Вкратце об этом можно сказать так. Для практических целей «любой источник света, любой световой поток могут быть характеризованы тремя признаками: энергией излучения, спектром и состоянием поляризации». Однако в действительности это лишь средние макроскопические характеристики. За ними скрывается необычайно сложный мир микрооптики, из которого и складываются такие средние характеристики. Для того чтобы исследовать природу света и раскрыть связь между свойствами света и свойствами элементарных излучателей, его порождающих, необходимо проникнуть в мир микрооптики.

Чтобы пояснить это, обратимся к исследованиям световых квантовых флуктуаций, выполненным С. И. Вавиловым и его сотрудниками визуальным методом. Они являются предметом первой части книги «Микроструктура света».

Каждый источник света, видимый человеческим глазом, в действительности содержит огромное количество отдельных излучателей. Эти излучатели — молекулы, атомы, электроны — движутся внутри вещества. Хаотичность движения таких элементарных —микроскопических излучателей и прерывистость процесса испускания ими света, связанная с квантовой природой света, приводит к тому, что должны наблюдаться флуктуации интенсивности световых потоков. Как это проявляется в свойствах света и как по этим свойствам можно судить о природе элементарных излучателей? Так ставится вопрос в работах С. И. Вавилова. Ясно, что чем меньшее число излучателей вносит свой вклад в наблюдаемый световой поток, тем больше будет относительный вклад каждого из них. Поэтому для выяснения этих вопросов эксперимент следует проводить при ничтожно малых интенсивностях света. Если речь идет об использовании видимого света, то сразу возникает трудность создания исключительно чувствительного приемника света.

В решении этой задачи помог глубокий интерес С. И. Вавилова к изучению человеческого глаза, обладающего при определенных условиях удивительной чувствительностью к свету. Наличие резкого энергетического порога, с которого начинается восприятие света глазом, позволило С. И. Вавилову и Е. М. Брумбергу обосновать и ввести в лабораторную практику фотометрический метод, получивший название метода гашения. Человеческий глаз используется здесь как физический прибор для измерения предельно малых интенсивностей света. В то время это был единственный метод, пригодный для подобных целей. Он сыграл большую

роль как при исследовании квантовых флуктуаций света, так и в открытии эффекта Вавилова—Черенкова.

В исключительно интересных опытах по изучению флуктуаций видимого света, выполненных С. И. Вавиловым с сотрудниками, вопросы физической оптики и физиологии зрения переплетаются очень тесно. Скорее к вопросам физиологии зрения следует отнести выполненные позже Н. И. Пинегиным в ГОИ точные измерения порогового числа квантов в различных условиях и обоснование соображений академика А. А. Лебедева о разрешающей силе глаза.

Что касается физики флуктуаций световых потоков, то они получили дальнейшее развитие в работах венгерского ученого, профессора Яноши. Им выполнены в последнее время очень тонкие эксперименты. Они потребовали применения современной техники измерений и были бы невозможны при наблюдении глазом.

Прогресс, достигнутый здесь экспериментальной техникой, очень велик. Если раньше обнаружение квантовых флуктуаций света было крайне трудной задачей, то теперь при использовании современных приборов фотоумножителей они наблюдаются в повседневной лабораторной практике. Особенно наглядно квантовые флуктуации проявляются в опытах Е. К. Завойского с электронно-оптическими системами. Здесь сказывается одна из особенностей современной физики. Часто то, что в момент открытия лежит на грани возможного для эксперимента, за короткий срок становится общедоступным или даже входит в технику. Нечто подобное произошло и с излучением Вавилова — Черенкова. Когда это явление было обнаружено, экспериментатору приходилось часами находиться в полной темноте, так как иначе не удавалось даже увидеть это свечение, а тем более измерять его яркость. Теперь яркое голубое свечение воды, обязанное этому излучению, легко может видеть каждый знакомящийся с атомным реактором так называемого бассейнового типа. В павильоне атомной энергии на Выставке достижений народного хозяйства экскурсоводы всегда обращают внимание посетителей на это свечение. И все же позволительно думать, что это свечение и сейчас считалось бы каким-то видом люминесценции, если бы в свое время П. А. Черенков не осуществил программу исследований, основанную на идеях С. И. Вавилова.

Научные интересы Сергея Ивановича в области физической оптики выходили далеко за пределы собственно микрооптики. Это — общие вопросы природы света, лишь частично включенные в книгу «Микроструктура света». При этом С. И. Вавилов придавал особое значение экспериментальному обоснованию основных принципиальных положений физики. Напомним, например, что вышедшая еще в 1928 г. книга Вавилова «Экспериментальные основания теории относительности» была не только первым, но и, пожалуй, единственным систематическим изложением опытных фактов, на которые опирается теория Эйнштейна. Теперь к этому следует добавить и опыты А. М. Бонч-Бруевича, которые были начаты по инциативе С. И. Вавилова и завершены уже после его смерти. В своей работе А. М. Бонч-Бруевич прямым опытом показал независимость скорости света от скорости источника света, которую требует теория относительности. Им была доказана одинаковость скорости света, испускаемого краями солнечного диска, движущимися при вращении в противоположные стороны.

Однако в центре внимания С. И. Вавилова на протяжении всей его жизни были исследования в области люминесценции. Здесь принципиальные вопросы о взаимодействии света с веществом и его трансформациях чрезвычайно тесно связаны с вопросами микрооптики — с элементарными процессами в люминесцирующей молекуле и ее взаимодействиями с окружающей средой.

§ 3. ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

С. И. Вавилов является основателем советской школы люминесценции и зачинателем систематического изучения люминесценции в нашей стране. Результаты, достигнутые им в этой области, весьма значительны.

Исследование люминесценции имеет большую историю, причем за многие годы был накоплен огромный фактический материал. Однако значительная часть этого материала, в основном полученного зарубежными учеными, носила описательный характер: для такого-то вещества в такихто условиях получен такой-то результат. Характер работ С. И. Вавилова и его школы всегда совершенно иной. Каждая работа ставится ради решения какой-либо вполне конкретной задачи, как правило, имеющей принципиальное значение. С. И. Вавилова интересует, прежде всего, механизм процесса люминесценции, общие законы этого явления, роль среды, окружающей люминесцирующую молекулу, а также возможности, которые открывает исследование люминесценции для изучения этой среды.

Почти все работы, выполненные самим С. И. Вавиловым, посвящены фотолюминесценции, т. е. люминесценции под действием света. При этом он специально изучал люминесценцию сложных молекул в жидкостях. Это направление исследований было выбрано, разумеется, не случайно, и оно оказалось чрезвычайно плодотворным.

Наряду с собственными исследованиями С. И. Вавилов стимулировал развитие других направлений работ, связанных с люминесценцией. Отчетливо понимая большое практическое значение исследований кристаллофосфоров, он не только всячески помогал постановке этих работ, но и оказал значительное влияние на развитие у нас производства кристаллофосфоров. Около тридцати лет тому назад по инициативе Сергея Ивановича в этой области начал свои исследования его ученик, в то время начинающий ученый В. В. Антонов-Романовский. В том же направлении работали В. Л. Левшин и С. А. Фридман.

Еще при жизни С. И. Вавилова сложилась значительная группа исследователей кристаллофосфоров в Физическом институте АН СССР. Возникли также исследовательские центры в других местах: в Ленинграде, Тарту, Киеве. Сейчас в СССР эти работы представлены весьма широко. Успешно развиваются теперь и другие области люминесценции: катодолюминесценция, электролюминесценция, изучение люминофоров — сцинтилляторов. Значение всех этих исследований, в ряде случаев смыкающихся с изучением полупроводников, велико как в научном, так и в прикладном отношении. Из большой армии ученых, разрабатывающих теперь проблемы люминесценции, очень многие прямо или косвенно являются учениками С. И. Вавилова или учениками его учеников.

Из работ С. И. Вавилова, имевших непосредственное и большое практическое значение, нельзя не отметить руководство С. И. разработкой люминесцентных ламп. Нет необходимости говорить теперь о том, какое экономическое значение имеет люминесцентное освещение. Достаточно сказать, что к концу семилетки оно займет доминирующее положение среди других источников света.

Широкое развитие получили теперь и методы люминесцентного анализа, которые широко пропагандировал и развивал Сергей Иванович. Едва ли возможно перечислить все области применения этих методов анализа, настолько они многочисленны и разнообразны. Большое значение в биологии и медицине приобрело использование методов люминесцентной микроскопии, значительный вклад в развитие которой внес ученик С. И. Вавилова—Е. М. Брумберг.

В развитии этих работ сказалась одна из существенных черт научного творчества ученого и патриота С. И. Вавилова, его стремление связать торетические работы с нуждами практики и народного хозяйства. Трудно перечислить все те разделы нашей науки и техники, в развитие которых С. И. Вавилов внес вполне конкретный вклад. Таковы, конечно, оптическая промышленность, кристаллооптика, фотография, стереокино и многие другие. Велик вклад, внесенный работами С. И. Вавилова и в укрепление оборонной мощи нашей страны.

Говоря о развитии работ по люминесценции, мы в дальнейшем остановимся главным образом на развитии тех разделов, которые наиболее непосредственно связаны с основными исследованиями С. И. Вавилова в этой области. При этом мы учитываем принципиальное значение этих работ для всей науки о люминесценции.

В центре внимания С. И. Вавилова стоял вопрос о механизме трансформации света, при котором квант света, поглощенный люминесцирующим веществом, может затем превратиться в квант света люминесценции. Прежде всего, возникает вопрос о вероятности такого превращения, которую С. И. Вавилов назвал квантовым выходом люминесценции. Выход определяет энергетику процесса. Если бы выход люминесценции был во всех случаях мал, как это и предполагалось до работ С. И. Вавилова, то это означало бы, что основная часть поглощенной энергии света безвозвратно растрачивается на тепло. В этом случае люминесцентные источники света всегда были бы экономически невыгодны. Что это не так, выяснил С. И. Вавилов.

Впервые в 1924 г. С. И. Вавилов надежно доказал, что при определенных условиях квантовый выход люминесценции очень близок к единице. Решение этой задачи в то время представляло значительные трудности.

Вслед за этим возник как принципиально, так и практически важный вопрос о том, от каких факторов зависит величина квантового выхода. Одним из важнейших факторов оказалась длина волны возбуждающего света. В люминесценции было известно так называемое правило Стокса, согласно которому длина волны света люминесценции должна быть больше, чем у света, ее возбуждающего. Однако это правило может нарушаться. С. И. Вавилов показал, что нарушение правила Стокса всегда сопровождается уменьшением величины выхода люмпнесценции. «Фотолюминесценция может сохранять постоянный квантовый выход, если возбуждающая волна преобразуется в среднем в более длинную, чем она сама. Наоборот, выход люминесценции резко уменьшается при обратном превращении длинных волн в короткие»,— таково утверждение С. И. Вавилова.

Закон Вавилова теперь вошел во все руководства по люминесценции. При этом сам С. И. Вавилов не только указал область применимости своего закона, но и отмечал случаи, в которых он должен нарушаться, считая их принципиально и практически интересными. Это возможно, например, если избыточная энергия заранее запасена в данном веществе и падающий свет играет только роль своеобразного спускового механизма. Известно, что это имеет место в некоторых фосфорах, в которых вспышка видимого излучения получается при освещении инфракрасным светом. Не случайно, что статья С. И. Вавилова «О принципах спектрального преобразования света», опубликованная в 1943 г., в которой и содержится формулировка закона Вавилова, оканчивается словами: «...практическое преодоление запрета Стокса путем предварительного возбуждения вещества будет, конечно, решением одного из труднейших и важных технических вопросов, связанных с трансформацией света».

Вопрос о механизме люминесценции при антистоксовом возбуждении и о скрытых здесь закономерностях волновал С. И. Вавилова на протяжении

многих лет. В последние дни своей жизни он рассказывал, что у него появился ряд новых соображений, которые он предполагал разработать и внести в печатавшуюся в то время статью «О причинах снижения выхода люминесценции в антистоксовой области». Однако корректуре этой статьи, в день смерти Сергея Ивановича лежавшей на его письменном столе, уже не суждено было быть дополненной автором.

Разумеется, это направление работ не было заброшено после кончины С. И. Вавилова. Весьма существенные результаты о связи между спектрами поглощения молекул и спектрами люминесценции, имеющие прямое отношение к этому вопросу, были получены в последние годы Б. И. Степановым в Минске. В теоретическом рассмотрении этой проблемы приняли участие и другие физики и, прежде всего, В. В. Антонов-Романовский и М. В. Фок. Чрезвычайно тонкие эксперименты по измерению выхода люминесценции при антистоксовом возбуждении выполнены М. Н. Аленцевым. Многое стало ясным в результате этих работ, но многое еще предстоит сделать в дальнейшем.

На выход люминесценции существенное влияние оказывает среда, в которой находится люминесцирующая молекула. Новые данные по этим вопросам получены в последнее время В. В. Зелинским с сотрудниками и А. С. Черкасовым в ГОИ.

Вопрос о влиянии среды на люминесценцию молекул в жидкостях можно обратить, и тогда свойства люминесценции позволят судить о свойствах растворов. Сам С. И. Вавилов указывал, что люминесценция растворов является «замечательным и едва ли чем-нибудь заменимым средством изучения жидкого состояния». С. И. Вавилов предполагал посвятить изучению вязкости жидкости методами люминесценции специальную монографию. К сожалению, этот замысел остался неосуществленным.

Наиболее тесно связаны возможности изучения жидкостей с другой проблемой люминесценции, стоявшей в центре внимания С. И. Вавилова,— с изучением кинетики люминесценции.

Необходимым признаком всякой люминесценции является наличие в механизме люминесценции промежуточного состояния между моментом подведения энергии, необходимой для возбуждения излучения, и испусканием света. Поэтому всякая люминесценция обязательно обладает конечной длительностью послесвечения— свечение продолжается и после прекращения возбуждения. По Вавилову длительность послесвечения в явлениях люминесценции должна значительно превышать период световых колебаний. Это утверждение, представляющееся теперь физику очевидным, было впервые введено в определение процесса люминесценции именно С. И. Вавиловым. Насколько это было существенным, показывает тот факт, что именно отсутствие послесвечения позволило доказать, что излучение Вавилова—Черенкова не есть люминесценция. С длительностью процесса люминесценции непосредственно связан закон затухания свечения, который в свою очередь определяется кинетикой процесса.

Большое число работ С. И. Вавилова, В. Л. Левшина и других сотруд-

Большое число работ С. И. Вавилова, В. Л. Левшина и других сотрудников и учеников Сергея Ивановича посвящено изучению длительности свечения и законам его затухания и позволило в ряде случаев раскрыть природу свечения изучавшихся веществ. Методы, применявшиеся С. И. Вавиловым в этих исследованиях, различны. Здесь, во-первых, возможны непосредственные наблюдения процесса затухания яркости флуоресценции с помощью флуорометров.

Другой чрезвычайно плодотворный путь исследования состоит в изучении таких воздействий на люминесцирующие молекулы, при которых от них отнимается энергия возбуждения и люминесценция гаснет. Изучением таких процессов тушения люминесценции позволяющих многое узнать

о механизме явления, и разработкой теории этого явления С.И. Вавилов был занят в течение многих лет.

Развитая С. И. Вавиловым теория тушения люминесценции посторонними примесями была усовершенствована его учеником Б. Я. Свешниковым еще при жизни Сергея Ивановича. Эта диффузионная теория тушения люминесценции Вавилова—Свешникова в последующие годы прошла всестороннюю проверку, полностью подтвердившую ее правильность. Работы в этом направлении ведутся теперь под руководством Б. Я. Свешникова в ГОИ.

Большой прогресс достигнут в непосредственном изучении кинетики процесса люминесценции. Еще при жизни С. И. Вавилова им совместно с В. Л. Левшиным и их учениками был создан ряд фосфороскопических устройств как для научных работ, так и для целей практики. Л. А. Тумерманом и В. В. Шимановским, а затем М. Д. Галаниным были созданы первые флуорометры для измерения длительностей свечения порядка миллиардных долей секунды. Однако особенно трудным оказалось сконструировать прибор для исследования свечений, длящихся от одной стотысячной до одной стомиллионной доли секунды. За последние годы был сконструирован ряд новых приборов главным образом под руководством Н. А. Толстого и А. М. Бонч-Бруевича, которые решили и эту задачу. Применение этих приборов к изучению различных люминофоров привело к обнаружению ряда не известных ранее явлений.

Энергия возбуждения, полученная молекулой, далеко не всегда остается у нее до момента излучения. В некоторых случаях она проделывает в люминесцирующей жидкости значительный путь, переходя от молекулы к молекуле. Теория такой миграции энергии была развита С. И. Вавиловым в результате многолетней работы в связи с изучением так называемого концентрационного тушения и концентрационной деполяризации люминесценции. Эти работы получили дальнейшее развитие главным образом в исследованиях М. Д. Галанина в ФИАНе. Ряд существенных данных в этой области получен и Б. Я. Свешниковым и его сотрудниками в ГОИ.

Необходимо отметить, что идеи С. И. Вавилова в этой области оказались чрезвычайно плодотворными. Дело в том, что миграция энергии возбуждения играет весьма существенную роль в люминесценции органических сцинтилляторов, используемых для наблюдения ионизующих частиц в ядерной физике. С другой стороны, можно думать, что этот же процесс существен и для понимания ряда биологических явлений и, в частности, фотосинтеза.

Говоря о развитии работ С. И. Вавилова, нельзя не сказать об исследовании природы элементарных излучателей, которому Сергей Иванович уделял большое внимание в течение всей своей научной деятельности. В книге «Микроструктура света» этот вопрос занимает одно из центральных мест. Большая заслуга в дальнейшем развитии этих работ принадлежит П. П. Феофилову в ГОИ. В основе его исследований лежит предложенный С. И. Вавиловым метод так называемых поляризационных диаграмм. Если С. И. Вавилов рассматривал этот метод как принципиальную возможность изучения элементарных излучателей, то П. П. Феофилов нашел пути для практического решения этой задачи. Ему удалось этим методом обнаруживать различные виды электрических и магнитных излучателей и определять их ориентацию в кристаллах. Этим методом он решил ряд весьма интересных задач.

Другим направлением работ является исследование так называемых поляризационных спектров, которое ведется П. П. Феофиловым в ГОИ и Г. П. Гуриновичем и А. Н. Севченко в Минске.

² УФН, т. LXXV, вып. 2

Из приведенного здесь краткого обзора, как нам кажется, однозначно следует, что основные направления работ, развитые С. И. Вавиловым, и сейчас сохраняют свою актуальность, а наука о люминесценции продолжает у нас широко и плодотворно развиваться.

§ 4. ИЗЛУЧЕНИЕ ВАВИЛОВА— ЧЕРЕНКОВА

Наш обзор был бы неполным, если не остановиться на развитии работ по эффекту Вавилова—Черенкова. Среди различных направлений исследований С. И. Вавилова эффект Вавилова—Черенкова на первый взгляд стоит особняком. Сейчас это явление целиком связывают с физикой атомного ядра. С. И. Вавилов всегда интересовался физикой ядра. Он понял значение этой области науки еще задолго до того, как оно стало очевидным широкому кругу физиков. Именно по его инициативе в Физическом институте АН СССР в свое время были начаты работы в этом направлении. Однако сам он физикой ядра не занимался. Тем не менее открытие Вавилова и Черенкова лишь на первый взгляд было случайным. Более того, оно вряд ли могло быть сделано в какой-либо иной лаборатории, кроме лаборатории С. И. Вавилова.

В 1933 г. С. И. Вавилов предложил своему аспиранту П. А. Черенкову заняться исследованием люминесценции ураниловых солей под действием үлучей радия. Еще за пять лет до этого люминесценция ураниловых солей под действием света была изучена Вавиловым и Левшиным и была сопоставлена со свойствами люминесценции того же вещества под действием рентгеновских лучей. Дополнительное исследование люминесценции под действием үлучей было предпринято, конечно, не случайно. Получая возбужденное состояние тех же самых молекул, но разными способами, например с помощью света, рентгеновских лучей и радиоактивных излучений, физик получает в свои руки еще один способ изучения возбужденных состояний молекул и механизма их возникновения. Такой сравнительный подход для С. И. Вавилова не случаен. Нельзя не обратить внимания на то, что он характерен и для П. Н. Лебедева, учеником которого был С. И. Вавилов.

Можно пожалеть, что исследования люминесценции под действием радиоактивных излучений, начатые по инициативе С. И. Вавилова, в свое время не были развернуты в должном масштабе. Мы уже упоминали, что идеи С. И. Вавилова о миграции энергии находят здесь плодотворное применение, а само явление широко используется ядерной физикой в так называемых сцинтилляционных счетчиках.

Работа П. А. Черенкова в области люминесценции под действием у-лучей решила ограниченную задачу, связанную только с люминесценцией ураниловых солей. Сделанное в начале этой работы новое открытие универсального синего свечения, в дальнейшем получившего название эффекта Вавилова—Черенкова, заставило целиком сосредоточиться на его исследовании.

Сейчас объяснение эффекта Вавилова—Черенкова уже вошло в популярную литературу. Достаточно сказать, что существует прямая аналогия между световыми волнами, создаваемыми летящим электрическим зарядом в эффекте Вавилова—Черенкова, и волнами на воде, создаваемыми носом движущегося корабля. При этом энергия начинает излучаться и, следовательно, возникает дополнительная сила, тормозящая движение тогда, когда скорость равномерного движения превышает скорость распространения волн. Это также теперь хорошо нам известно и при вычно. Для летящего самолета мы называем это явление звуковым барьером.

Говоря это, мы должны, разумеется, помнить, что это только аналогия, поскольку природа акустических и световых воли совершенно различна, и потому в явлениях, порождаемых ими, имеются кардинальные различия.

Развитие экспериментальной техники позволило в последние годы использовать излучение Вавилова— Черенкова для создания приборов — так называемых черенковских счетчиков — для регистрации движущихся ядерных частиц больших энергий. Такие счетчики позволяют судить о скорости частиц, а в некоторых случаях и о величине их электрического заряда. Это — новые и очень существенные возможности для исследования природы частиц. Достаточно сказать, что черенковские счетчики были использованы в таком значительном открытии последних лет, как открытие антипротона. Успешно применяются черенковские счетчики и при изучении космических лучей на искусственных спутниках Земли.

Широкие приложения, которые нашло излучение Вавилова—Черенкова в ядерной физике, привели к тому, что уже после кончины С. И. Вавилова остальным участникам этой работы была в 1958 г. присуждена Нобелевская премия.

Применения, которые нашло излучение Вавилова — Черенкова, многообразны. Остановимся только на одном, которое успешно развивается у нас, главным образом А. Е. Чудаковым.

В 1934 г. молодыми сотрудниками С. И. Вавилова Добротиным, Франком, Черенковым и Хвостиковым было по инициативе С. И. Вавилова начато изучение свечения ночного неба. Наблюдения проводились визуально фотометрическим методом гашения. Вскоре стало очевидно, что излучение Вавилова — Черенкова, создаваемое частицами космических лучей в атмосфере, также должно вносить свой вклад в это свечение. Вместе с тем подсчет показал, что человеческий глаз не способен его обнаружить. Теперь современная экспериментальная техника позволяет не только это сделать, но и использовать это явление для изучения космических лучей.

Дело в том, что быстрая космическая частица, попадая в атмосферу. может вызвать ливень частиц, которые будут поглощены в верхних слоях атмосферы. Однако созданная ими световая вспышка излучения Вавилова — Черенкова дойдет до Земли и может быть зарегистрирована. Таким образом, излучение Вавилова — Черенкова позволяет в буквальном смысле слова видеть с Земли процессы, происходящие в верхних слоях атмосферы. Отличительная особенность эффекта Вавилова – Черенкова в газах состоит в том, что свет излучается почти точно в направлении движения частицы, как бы продолжая ее траекторию. Поэтому, если какие-либо небесные тела излучают у-лучи, то это можно обнаружить. направив оптическую систему, регистрирующую излучение Вавилова — Черенкова, точно на это небесное тело. В последнее время Чудаков с сотрудниками обследовал таким методом излучение от различных объектов, являющихся источниками радиоизлучения и лежащих в созвездиях Лебедя, Кассиопеи и Тельца. При наведении черенковского телескопа на объект Лебедь А зарегистрировано небольшое увеличение числа вспышек излучения Вавилова-Черенкова. Опыт очень труден и пока носит предварительный характер. Он еще требует дополнительной проверки. Однако не исключена возможность, что наряду с существующей сейчас радиоастрономией в ближайшем будущем возникнет и у-астрономия, путь к которой откроет использование эффекта Вавилова — Черенкова. Хотелось бы отметить, что эффект Вавилова — Черенкова и смежные

Хотелось бы отметить, что эффект Вавилова — Черенкова и смежные с ним вопросы имеют значение не только для регистрации ядерных частиц, хотя и эти применения очень существенны. Как впервые показал В. И. Векслер, это явление может быть обращено так, что его возможно будет

использовать для ускорения ядерных частиц. Перспективно применение эффекта Вавилова — Черенкова и для генерации радиоволи. Существенное значение имеет это явление в области состояния вещества, которое физики называют плазмой. Плазма имеет важнейшее значение для ряда современных проблем и, в частности, для проблемы управляемых термоядерных реакций. Вопросам применения эффекта Вавилова — Черенкова к плазме посвящен ряд работ, анализ которых содержится в нобелевской лекции И. Е. Тамма*).

В физике плазмы оказался существенным наименее изученный и наиболее сложный случай эффекта Вавилова — Черенкова, а именно, случай излучения в оптически анизотропных средах. Теоретическое рассмотрение его было начато еще в 1940 г. В. Л. Гинзбургом, а в связи с актуальностью задачи в последние годы ему посвящено большое число работ Болотовского, Музыкаржа, Курдюмова, Франка и многих других.

Не следует думать, что эффект Вавилова — Черенкова стоит особняком среди других проблем, связанных с излучением света быстрыми частицами. Наоборот, изучение этого явления стимулировало изучение ряда смежных явлений. Было рассмотрено, например, излучение атома, летящего со сверхсветовой скоростью, при котором должны возникать совсем неожиданные явления. Оказалось также, что при движении источника света в среде даже при сравнительно небольших его скоростях может происходить не просто допплеровское смещение частоты излучения, но и расщепление ее на несколько компонент. Предполагалось, что такой сложный эффект Допплера удастся наблюдать у атома, летящего в газе. Совсем недавно Барсуков и Коломенский показали, что такое явление, по-видимому, может наблюдаться в совершенно иной области явлений. Оно возможно при излучении радиоволн искусственным спутником Земли, летящим в ионосфере.

Имеются и другие явления, тесно связанные с эффектом Вавилова — Черенкова, которым в последнее время посвящено много работ. Большое внимание уделяется сейчас так называемому переходному излучению, теория которого была развита в Физическом институте АН СССР под непосредственным влиянием работ по эффекту Вавилова — Черенкова. Это излучение возникает, например, когда пучок заряженных частиц падает на металлическую поверхность, т. е. в очень многих физических экспериментах.

Отрадно отметить, что в развитии теории явлений, связанных с эффектом Вавилова — Черенкова, советская наука по-прежнему занимает ведущее место. На примере этого явления видно, насколько плодотворным оказалось дальнейшее развитие работ, начало которых было заложено С. И. Вавиловым.

§ 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы затронули в нашем сообщении ряд различных направлений работ, связанных с именем С. И. Вавилова. Этот обзор, разумеется, далеко не полный. Но даже и полный перечень полученных результатов был бы не достаточен для того, чтобы охарактеризовать С. И. Вавилова как физика. Дело здесь не только в том, что нельзя полностью понять деятельность Вавилова-физика, исключив из рассмотрения другие направления его работ, например, забыв о трудах Вавилова-историка науки. Если говорить о С. И. Вавилове, то все, кому приходилось работать вместе с ним или под его руководством, знали, какое исключительное значение имели его редкие личные качества, поразительная память и широта знаний, глубина и вместе с тем удивительная конкретность суждений.

^{*)} См. УФН 68, 387 (1959). (Прим. ред.)

Многие особенности Вавилова-физика можно понять, и не обращаясь к личным воспоминаниям, они нашли свое отражение в его книгах. Среди таких книг имеется одна, всегда и неизменно имеющая особенно широкий круг читателей. Она уже выдержала восемь изданий у нас и ряд изданий за рубежом и, несомненно, будет издаваться и впредь. Это — книга «Глаз и Солнце», блестящая по форме изложения и очень глубокая по содержанию. Можно говорить о ней как о редком примере серьезной научной книги, вместе с тем доступной для широкого читателя. Она является образцом научно-популярной книги. Однако она интересна и тем, что в ней многие характерные особенности С. И. Вавилова как ученого проявляются особенно отчетливо.

Предмет книги соответствует тому, что было главным в научных интересах Сергея Ивановича. В книге рассмотрены вопросы природы света, его излучения и его действия на вещество. В центре внимания стоят и особенности человеческого глаза. Характерна удивительная широта трактовки вопросов, в которой нельзя отделить Вавилова-физика от Вавиловафилософа и знатока истории культуры.

Книга С. И. Вавилова посвящена широкому кругу явлений природы — от явлений астрофизики до вопросов физиологии зрения. Широкий интерес С. И. Вавилова к природе — это вовсе не беспредметное любование ее красотами. Это скорее похоже на интерес к прекрасной и еще не до конца прочитанной книге. При этом, говоря о книге, следует помнить, что С. И. Вавилов был глубокий знаток и великий любитель книг.

Замечательно умение С. И. Вавилова привлекать к рассмотрению все, что необходимо для выяснения вопроса, даже то, что лежит далеко от физики. Рассматривая развитие представлений о свете и зрении, С. И. Вавилов обращается к стихам Пушкина, Фета, Тютчева и Есенина. Любителям спорить о физиках и лириках, быть может, следовало бы почитать Вавилова. Однако здесь Вавилов не просто знаток поэзии. При всей любви автора и читателей к стихам эти цитаты в книге, посвященной физике, были бы неуместны, если бы были приведены красоты ради. Здесь существенна, конечно, не только их художественная ценность. Существенна способность подлинных поэтов видеть новое и сказать о нем поразительно точно. Поэтому, говоря о том, что дает человеку зрение, нельзя забывать слов, сказанных поэтами о Солнце и свете.

Вероятно, именно ясное понимание истории развития науки и всей сложности реальных явлений природы часто заставляло С. И. Вавилова предостерегать учеников от поспешного увлечения различными научными модами и, особенно, от возведения их в ранг окончательных и непогрешимых. При этом, однако, все подлинно новое в науке всегда очень живо интересовало Сергея Ивановича. Обычно он первым обнаруживал это новое в большом потоке научной литературы и указывал его своим ученикам.

Вспоминая теперь работу С. И. Вавилова в лаборатории, поражаешься одной его удивительной способности. При всей своей огромной занятости он никогда не торопился и находил возможность уделить, казалось бы, неограниченное время каждому, кто к нему обращался. В своих беседах он подробно рассказывал о новинках литературы, делился соображениями по самым разнообразным вопросам и каждому охотно помогал и советом, и делом. Для всех, кому приходилось близко работать вместе с Сергсем Ивановичем, его личный пример имел огромное значение. Трудно представить себе лучшего научного руководителя.

Отмечая сегодня семидесятилетие со дня рождения Сергея Ивановича Вавилова, мы с любовью и глубоким уважением думаем об этом замечательном ученом и человеке.