

Беседы по актуальным проблемам науки

Ученые выступают
в Центральном лектории
Всесоюзного общества
„Знание“

Успехи физических наук

17



УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

В беседе участвуют:

Член-корреспондент АН СССР

Н. Г. Басов

Член-корреспондент АН СССР

В. Л. Гинзбург

доктор физико-математических наук, профессор

Э. В. Шпольский

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва 1965

К ЧИТАТЕЛЯМ

Сборник «Успехи физических наук» состоит из выступлений ученых на очередном вечере цикла «Беседы по актуальным проблемам науки», проведенном Всесоюзным обществом «Знание» совместно с редакцией журнала того же названия 7 апреля 1965 г. В беседе приняли участие член-корреспондент АН СССР лауреат Нобелевской премии 1964 г. Н. Г. Басов, член-корреспондент АН СССР В. Л. Гинзбург, академик Я. Б. Зельдович, доктор физико-математических наук Л. В. Келдыш, доктор физико-математических наук профессор Э. В. Шпольский — редактор журнала «Успехи физических наук».

Материалы выступления академика Я. Б. Зельдовича на этом же вечере будут опубликованы в его брошюре «Элементарные частицы», подготовляемой к изданию.

Выступление Л. В. Келдыша будет опубликовано в сборнике «Физика 1964 года», выпускаемом по этой же серии (9).

Все стенограммы выступлений исправлены и дополнены авторами.

Н. Г. Басов,
член-корреспондент АН СССР

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КВАНТОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

В современной физике, как это возможно было и раньше, существуют два различных течения. Одна группа физиков видит свою цель в познании новых закономерностей и в разрешении существующих противоречий. Выходом своей работы они считают теорию, в частности разработку математического аппарата современной физики. В качестве отходов производства появляются новые принципы построения приборов, физические приборы. Другая группа физиков, наоборот, стремится создать физические приборы, основанные на новом принципе, и, направляясь к этой цели, старается обойти неизбежно встречающиеся трудности и противоречия. Различные гипотезы и теории эта группа считает отходами производства.

Обе группы имеют выдающиеся достижения. Одна группа создает питательную среду для другой, и поэтому они не могут жить друг без друга, хотя их взаимоотношения довольно остры. Первая группа называет вторую «изобретателями», вторая обвиняет первую в абстрактности, а иногда и бесцельности.

С первого взгляда может показаться, что речь идет о теоретиках и экспериментаторах, но это не так: и первая и вторая группа включают в себя обе эти разновидности физиков. В настоящее время разделение на две группы стало настолько резким, что целые направления в науке можно отнести к первой или второй группе, хотя имеются и разделы физики, где обе группы работают сообща.

К первой группе физиков относится большинство исследователей по квантовой теории поля, теории элементарных частиц, многих вопросов ядерной физики, гравитации, космологии, по ряду вопросов физики твердого тела.

Ярким примером второй группы являются физики, занятые разработкой вопросов термоядерного синтеза, квантовой и полупроводниковой электроники.

Несмотря на то, что вторая группа физиков стремится в

конечном счете создать физический прибор, весьма характерным для них является предварительный теоретический анализ. Так, в квантовой электронике были теоретически предсказаны возможности создания квантовых генераторов вообще, показана высокая монохроматичность и стабильность частоты излучения, предсказана высокая чувствительность квантовых усилителей, исследована возможность создания различных типов лазеров.

Здесь пойдет речь о наиболее молодой ветви квантовой электроники — полупроводниковых квантовых генераторах, которые появились на свет всего около двух лет назад, хотя и в этом случае предшествовал теоретический анализ, начатый еще в 1957 году.

Но прежде чем переходить к анализу работы полупроводниковых квантовых генераторов, хотелось бы сделать несколько замечаний о «теоретических отходах» квантовой электроники. Их очень много, но я остановлюсь лишь на трех.

1. Создание высокостабильных квантовых генераторов и переход на атомные эталоны времени поставили на повестку дня решение вопроса о свойствах атомного времени.

Р. Дике в докладе на первой конференции по квантовой электронике указал на возможность экспериментальной проверки гипотезы об изменении мировых констант со временем на основе изучения изменения частот различных квантовых стандартов со временем. Возникает вопрос о предельной точности атомных и молекулярных часов, обусловленной квантовой природой излучения, особенно о точности измерения коротких промежутков времени.

2. Квантовая электроника дала права гражданства новому «сверхнеравновесному состоянию материи» — состоянию с отрицательной температурой, которое в своей крайней точке состояния отрицательного нуля по своим свойствам близко к состоянию абсолютной упорядоченности, свойственной состояниям абсолютного нуля температур. Именно это свойство высокой упорядоченности системы с отрицательной температурой и дает возможность создавать высококогерентное излучение квантовых генераторов и получать высокочувствительные квантовые усилители, выделять запасенную в состоянии с отрицательной температурой энергию за очень короткие промежутки времени, сравнимые с периодом колебаний

3. Квантовая электроника дала примеры систем, в которых получается излучение с очень малым значением энтропии. Например, распыленное по очень большому числу степени свободы низкотемпературное спонтанное излучение ламп с помощью систем с отрицательной температурой (квантовых генераторов) превращается в высококогерентное излучение лазера, температура которого уже сейчас достигает значений в 10^{20} — 10^{25} градусов.

Видимо, закономерности, которые были обнаружены квантовой электроникой при исследовании, могут быть обобщены и на другие формы движений. Возможность получения высокоупорядоченного движения с помощью систем с обратной связью может представлять интерес для химических и биологических исследований, космогонии. Возникает вопрос, используется ли лазерный принцип в природе?

Нам кажется, что перечисленные вопросы нуждаются во вмешательстве физиков первой группы, так как они далеко выходят за рамки теории колебаний, теории излучений и обычной оптики, составляющих основу современной квантовой электроники.

Условия получения отрицательной температуры в полупроводниках

Работы по полупроводниковым квантовым генераторам явились непосредственным продолжением исследований по молекулярным генераторам и парамагнитным усилителям. Следует отметить, что к моменту начала работ по полупроводниковым квантовым генераторам, благодаря исследованиям, связанным с полупроводниковой электроникой, были выяснены основные физические характеристики полупроводников, необходимые для разработки лазеров: оптические и электрические свойства, структура энергетических зон, времена релаксации и т. д. Были получены разнообразные чистые и легированные полупроводниковые материалы, создана методика измерения их различных свойств, разработана технология изготовления $p-n$ переходов, контактов и т. д. Все это значительно упростило проведение исследований по полупроводниковым лазерам.

Полупроводниковые материалы привлекли к себе внимание возможностью реализации генераторов от далекой инфракрасной области до оптического или даже ультрафиолетового диапазона, разнообразием методов возбуждения неравновесных состояний, большим коэффициентом поглощения (усиления). Как показали последующие исследования, полупроводниковые квантовые генераторы могут обладать большим коэффициентом полезного действия, в ряде случаев приближающимся к 100%.

В отличие от изолированного атома в полупроводниках имеются не отдельные уровни, а группы непрерывно расположенных энергетических уровней — зон. Верхняя группа уровней — зона проводимости и более низкая группа занятых уровней — валентная зона разделены полосой запрещенных энергий (рис. 1).

Распределение электронов по энергетическим уровням описывается функцией Ферми: каждый уровень занят двумя элект-

тронами, электроны располагаются в полосе энергий порядка энергии теплового движения КТ, вероятность найти электрон за интервалом КТ быстро падает с ростом энергии. Если энергия теплового движения КТ значительно меньше разности энергии между зоной проводимости и валентной зоной, прак-



Рис. 1. Диаграмма энергетических уровней: *a* — для атома с двумя энергетическими уровнями; *б* — для полупроводника.

тически все электроны находятся в валентной зоне, заполняя ее уровни, а все уровни зоны проводимости свободны (рис. 2). В таком состоянии полупроводник не может проводить электрический ток и является изолятором, т. е. электрическое поле,

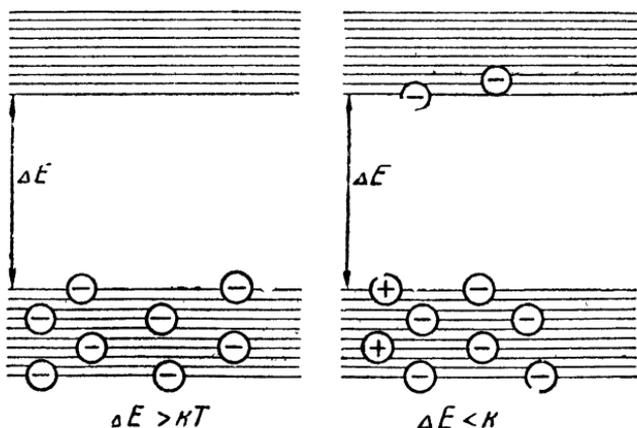


Рис. 2. Распределение электронов на энергетических уровнях.

приложенное к полупроводнику, не в состоянии изменить движение электронов валентной зоны (все уровни энергии заняты).

Если энергия теплового движения достаточна для того,

чтобы перебросить электроны через запрещенную зону в зону проводимости, часть электронов переходит в зону проводимости. Такая система может проводить электрический ток. Он будет течь как за счет изменения энергии электронов под действием внешнего поля, так и за счет изменения энергии электронов в валентной зоне. Картина тока в валентной зоне оказывается такой, как если бы свободные от электронов места (дырки) передвигались бы в противоположном направлении. Вакантное место — дырка полностью эквивалентно положительно заряженной частице (см. рис. 2).

При взаимодействии со светом, как и для изолированного атома, в полупроводнике могут происходить 3 процесса.

1. Квант света может быть поглощен полупроводником, при этом образуется пара электрон-дырка, причем разность энергии между электроном и дыркой равна энергии кванта. Этот процесс связан с уменьшением энергии электромагнитного поля и носит название резонансного поглощения (рис. 3,а).

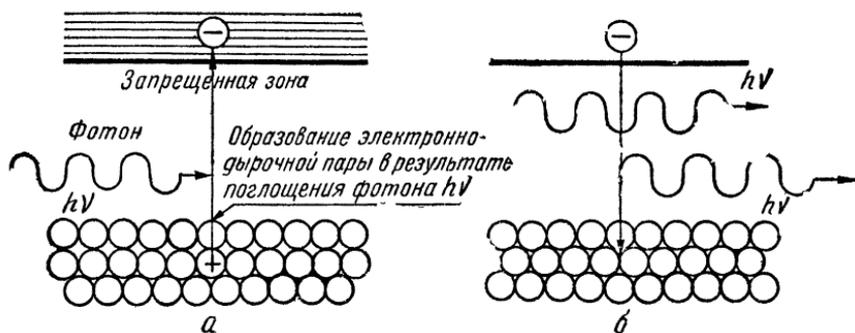


Рис. 3. Процессы взаимодействия со светом:
а — резонансное поглощение; б — вынужденное излучение.

2. Под действием кванта электрон может перейти из зоны проводимости в валентную зону на свободное место — дырку. При этом будет излучен квант света, тождественный по частоте направленного распространения и поляризации с квантом, вызвавшим излучение. Этот процесс связан с увеличением энергии поля и носит название индуцированного излучения (рис. 3,б). Напомним, что индуцированное излучение было открыто А. Эйнштейном в 1917 году при исследовании термодинамического равновесия между полем излучения и атомами.

3. Кроме резонансного поглощения и индуцированного испускания, может иметь место третий процесс — спонтанное излучение. Электрон может перейти на вакантное место — дырку (рекомбинировать с дыркой) в отсутствие квантов излучения, испустив квант света.

Так как вероятность индуцированного излучения и резонансного поглощения точно равны друг другу, полупроводник в равновесном состоянии при любой температуре может лишь поглощать кванты света ввиду того, что вероятность нахождения электронов на уровнях уменьшается с ростом энергии.

Для того чтобы заставить полупроводник усиливать электромагнитное излучение, нужно нарушить равновесное распределение электронов по уровням и искусственно создать такое распределение, когда на более высоких уровнях энергии вероятность нахождения электронов больше, чем на более низких уровнях (1—3). Нарушить распределение внутри зоны очень трудно вследствие сильного взаимодействия между электронами и решеткой полупроводника: оно восстанавливается за время 10^{-10} — 10^{-12} сек. Значительно проще нарушить равновесие между зонами, так как время жизни электронов и дырок в зонах значительно больше. Оно зависит от природы полупроводника и лежит в пределах 10^{-3} — 10^{-9} сек.

Вследствие того, что электроны и дырки в полупроводниках движутся, кроме закона сохранения энергии при излучении, должен выполняться закон сохранения импульса. Так как импульс кванта весьма мал, приближенно закон сохранения импульса сводится к тому, что электрон и дырка при излучении (или поглощении) кванта света должны иметь одну и ту же скорость. На рис. 4 схематически изображена зависимость энергии от импульса. Существуют два типа полупро-

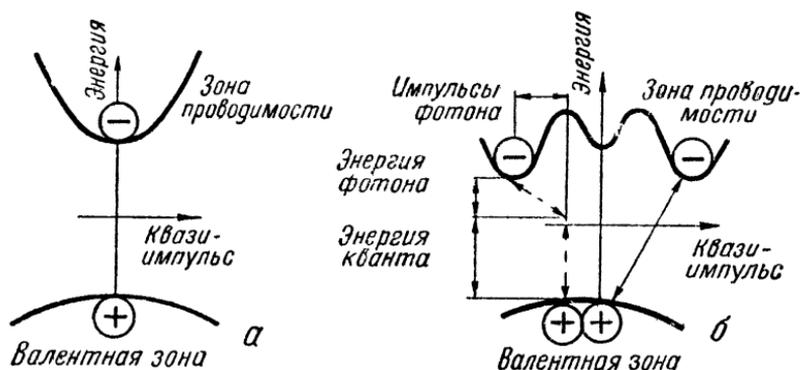


Рис. 4. Диаграмма зависимости энергии электронов и дырок от квазиимпульса:
а — прямые переходы; б — непрямые переходы.

водников. Для одних полупроводников минимум энергии электронов в зоне проводимости точно равен максимуму энергии дырок в валентной зоне (рис. 4,а). В таких полупроводниках могут иметь место так называемые прямые переходы. Электрон, имеющий минимальную энергию, может рекомбиниро-

вать с дыркой, имеющей максимальную энергию. Для других полупроводников минимум энергии в зоне проводимости не совпадает с максимумом энергий в валентной зоне (рис. 4,б). В этом случае процесс излучения или поглощения кванта света должен сопровождаться изменением колебательного состояния решетки кристалла, излучением или поглощением фонона, который должен компенсировать изменение импульса. Такие процессы получили название непрямых переходов. Вероятность непрямых переходов обычно меньше вероятности прямых переходов.

Для того чтобы заставить полупроводник усиливать падающее излучение при межзонных переходах, нужно следующее:

а) В случае прямых переходов

Необходимо заполнить более половины уровней в полосе порядка kT вблизи края зон электронами и дырками. Такие состояния, как и для атомов или молекул, получили название состояний с инверсной населенностью, или состояний с отрицательной температурой. Температура минус нуль градусов соответствует такому распределению электронов, когда все уровни в полосе kT зоны проводимости заняты электронами, а в валентной зоне дырками. В таком состоянии (в противоположность состоянию положительного нуля) полупроводник может только излучать (индуцированно и спонтанно) кванты света, но он не может поглощать излучение.

Состояние полупроводника, когда большинство уровней в некоторой полосе энергии занято электронами или дырками, получило название вырожденного состояния.

Итак, для создания отрицательной температуры необходимо иметь вырождение в полупроводнике по электронам и дыркам. При заданном количестве электронов и дырок всегда можно создать вырождение, уменьшая температуру полупроводника, так как при уменьшении температуры уменьшается ширина полосы энергии, занятая электронами. При температуре жидкого азота для вырождения нужно иметь концентрацию 10^{17} — 10^{18} электронов в $см^3$.

б) В случае непрямых переходов.

Для создания отрицательной температуры не требуется вырождения. Это связано с тем, что вероятность индуцированного излучения кванта может не равняться вероятности резонансного поглощения при непрямых переходах.

Рассмотрим, например, непрямой переход, при котором одновременно испускается квант и фонон. Обратным такому процессу будет процесс одновременного поглощения кванта и фонона.

Вероятность поглощения пропорциональна числу фононов в решетке кристалла. Число фононов уменьшается с понижением температуры: при низкой температуре фононы отсутствуют. Снижая температуру образца, можно сделать вероят-

ность излучения много больше вероятности поглощения. Поэтому для непрямых переходов отрицательная температура может быть получена при значительно более низкой концентрации электронов и дырок.

Следует отметить, что поглощение и излучение квантов при переходах внутри зоны также происходит за счет непрямых переходов. При создании отрицательной температуры между зонами внутризонное распределение электронов (и дырок) соответствует положительной температуре и приводит к поглощению излучения.

В случае прямых переходов, когда вероятность междוזонных переходов много больше внутризонных, можно пренебречь внутризонными переходами, т. е. можно утверждать, что состояния с отрицательной температурой будут усиливать излучение.

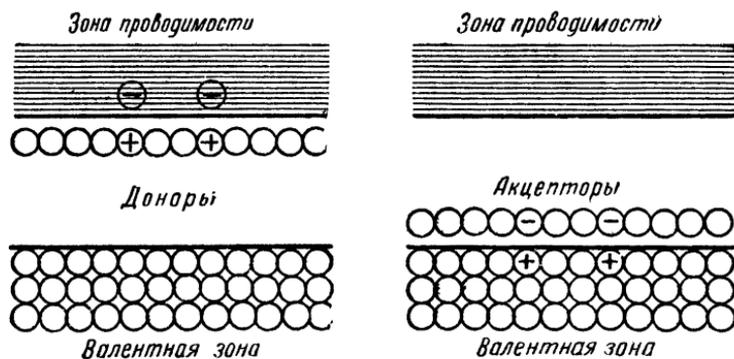


Рис. 5. Донорные и акцепторные уровни.

В случае непрямых переходов для усиления недостаточно иметь отрицательную температуру, нужно, чтобы вероятность междוזонных переходов была больше внутризонных переходов. Необходимость выполнения этого условия затрудняет использование непрямых переходов. По оценкам Думке оно не может быть выполнено для германия. Однако для других полупроводников оно может выполняться.

В ряде случаев в полупроводниках электрон и дырка образуют связанное состояние, нечто подобное атому — экситон. Экситоны могут рекомбинировать, давая излучение. Экситоны также могут быть использованы для создания квантовых генераторов, но мы не будем останавливаться на деталях.

Мы рассмотрели условия возникновения отрицательной

температуры в полупроводниках с идеальной решеткой. В неидеальном кристалле возникают дополнительные уровни энергии, связанные с наличием различных нарушений в кристаллической решетке (примеси, вакансии, дислокации и т. д.). Как правило, эти состояния локализируются вблизи соответствующего центра (например, примесного атома), чем они отличаются от состояний в разрешенных зонах, принадлежащих всему кристаллу в целом.

В идеальном кристалле число электронов в зоне проводимости точно равно числу дырок в валентной зоне. Однако в реальном кристалле число носителей тока — электронов и дырок определяется в основном наличием примесей.

Существуют два сорта примесей: одни из них имеют уровни энергии, расположенные вблизи зоны проводимости, и, ионизируясь, создают избыточные электроны. Они получили название донорных примесей. Другие, имея уровни внутри валентной зоны, способны захватить электроны из валентной зоны, создавая в ней избыточное количество дырок. Эти примеси получили название акцепторов (рис. 5).

Следует отметить, что полупроводник, в котором имеется одинаковое количество донорных и акцепторных примесей, ведет себя как чистый полупроводник, так как дырки, образованные акцепторами, рекомбинируют с электронами, образованными дырками.

В ряде случаев переходы электронов между зонами и примесными атомами или между уровнями примесных атомов тоже могут сопровождаться излучением. Такие переходы также могут быть использованы для получения отрицательной температуры. Однако мы не будем останавливаться и на этом вопросе.

Метод получения состояний с отрицательной температурой в полупроводнике

а) Метод оптической накачки

В случае полупроводников можно воспользоваться «трехуровневой» схемой, с успехом применяемой для парамагнитных квантовых усилителей и оптических генераторов на люминесцентных кристаллах и стеклах (рис. 6).

Так как время релаксации электронов и дырок по уровням зон много меньше времени жизни электронов и дырок в соответствующих зонах, инверсная населенность может быть получена с помощью света.

Полупроводники обладают очень большим коэффициентом поглощения, сильно увеличивающимся при увеличении частоты излучения. Поэтому для получения инверсной населенности в образцах сравнительно большой толщины целесообразно использовать монохроматическое излучение с частотой

той, близкой к частоте межзонных переходов. В случае когда частота возбуждающего излучения больше ширины запрещенной зоны, состояние с отрицательной температурой образуется в узкой полосе вблизи границы образца глубиной в несколько микрон (порядка длины диффузии электронов).

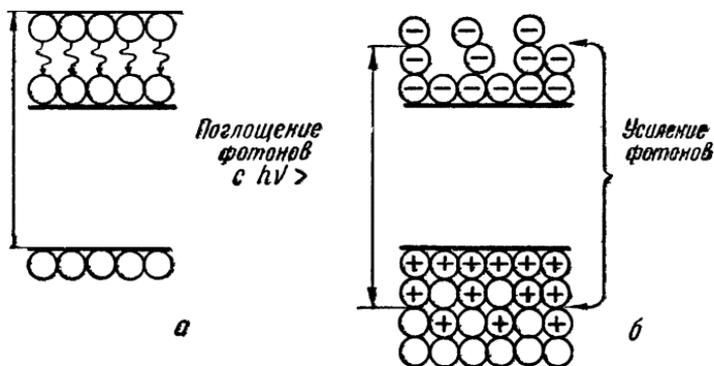


Рис. 6. Оптическая накачка:
а — трехуровневая диаграмма для атомов; *б* — для полупроводников.

В качестве источника излучения можно использовать свет лазеров других типов; газовых лазеров, лазеров на люминесцентных кристаллах, лазеров на $p-n$ переходах.

б) Возбуждение полупроводников пучком быстрых электронов

Если направить пучок быстрых электронов на поверхность полупроводника, то электроны легко проникают в глубь полупроводника. На своем пути, сталкиваясь с атомами кристалла, быстрые электроны образуют электронно-дырочные пары. Расчеты и опыты показывают, что для образования одной электронно-дырочной пары тратится энергия, примерно в три раза большая, чем минимальная разность энергий между зонами. Образовавшиеся электроны и дырки, отдавая избыточную энергию атомам решетки, собираются на уровнях вблизи краев соответствующих зон. При этом может образоваться состояние с отрицательной температурой. Чем больше энергия электронов, тем больше их глубина проникновения. Однако существует некоторая пороговая энергия, начиная с которой электроны будут создавать дефекты в кристалле — разрушать кристаллическую решетку. Пороговая энергия зависит от энергии связи атомов в кристаллах и составляет обычно несколько сотен $kэв$. Опыты показали, что электроны с энергией 200—500 $kэв$ еще не сильно портят решетку.

Плотность тока быстрых электронов, при которой обра-

зается отрицательная температура, сильно зависит от времени жизни электронов и дырок. Для полупроводников с временем жизни 10^{-7} сек при температурах жидкого азота пороговая плотность тока имеет порядок 1 а/см^2 . Так как выделяемую в полупроводнике энергию при таких больших токах трудно отвести, обычно используется импульсный метод возбуждения с малой скважностью импульса.

в) Инжекция электронов и дырок через $p-n$ переход

Как было отмечено выше, специфической особенностью полупроводников является то, что его энергетические уровни могут заполняться электронами или дырками за счет введения в кристалл специально подобранных атомов примесей. Однако одновременное введение донорных и акцепторных примесей не приводит к возникновению состояний с отрицательной температурой. Поэтому для получения инверсной населенности поступают следующим образом: берут два куска полупроводника, в один из них вводят донорные примеси, в другой акцепторные. Если такие полупроводники соединить, то образуется $p-n$ переход — на границе раздела полупроводников возникает скачок потенциала, препятствующий проникновению электронов в кристалл, в котором имеются дырки, а дырок в кристалл, в котором имеются электроны (рис. 7,а). Как было отмечено выше, для получения инверсной населенности необходима большая концентрация электронов и дырок (должно быть занято больше половины уровней в некоторой полосе энергий), т. е. полупроводник должен содержать большое количество примесей.

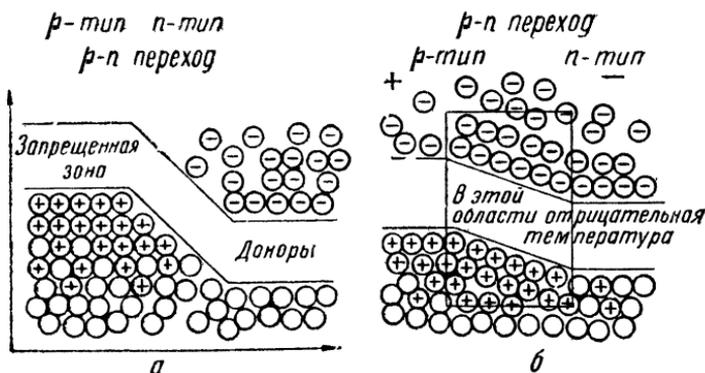


Рис. 7. а — $p-n$ переход в равновесии; б — $p-n$ переход во внешнем электрическом поле.

Если к $p-n$ переходу приложить внешнее напряжение, снимающее скачок потенциала между двумя частями полупроводника, то равновесное распределение электронов нару-

шится, и через полупроводник пойдет ток. При этом электроны как бы вливаются в область, где много дырок, а дырки в область, где много электронов, и в узкой зоне вблизи $p-n$ перехода на расстоянии в несколько микрон возникает инверсная населенность. Получается слой полупроводника, способный усиливать электромагнитные колебания за счет вынужденного излучения квантов при переходе электронов из зоны проводимости в валентную зону (рис. 7,б).

При создании полупроводниковых приборов было разработано много методов получения $p-n$ переходов. В настоящее время для создания лазеров удалось использовать два метода для изготовления $p-n$ переходов: диффузионный метод и метод легирования различными примесями при росте кристаллов.

Полупроводниковые квантовые генераторы

Для осуществления генерации на основе систем с отрицательной температурой необходимо в такую систему ввести обратную связь. Обратная связь осуществляется с помощью резонаторов. Простейшим типом резонаторов в оптическом диапазоне является резонатор с плоскопараллельными зеркалами. Отражаясь от зеркал, кванты света будут многократно проходить через усиливающую среду. Если квант света прежде чем он будет поглощен зеркалами или внутри образца успеет вызвать индуцированное излучение более одного кванта (т. е. если в системе будет выполнено условие самовозбуждения генератора), то такая система будет работать как генератор (рис. 8,а). Если поддерживать в образце с помощью внешнего источника энергии некоторую отрицательную температуру, то число квантов в резонаторе будет нарастать до тех пор, пока число возбуждаемых в единицу времени электронов не станет равным числу излучаемых квантов.

Следует особо подчеркнуть, что, когда квантовая система с обратной связью работает как генератор, ее излучение имеет строго определенное значение частоты. Это свойство отличает

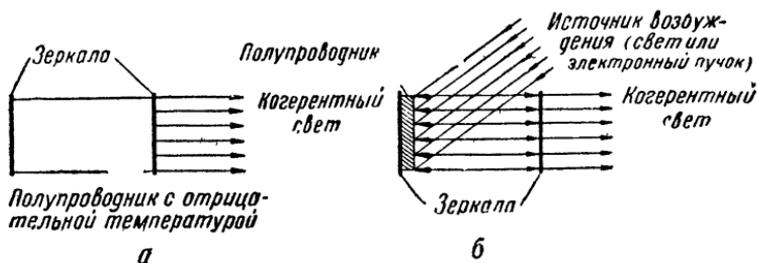


Рис. 8. Диаграмма полупроводниковых лазеров: а — обычные; б — с излучающими зеркалами,

излучение генератора от всех других источников света: ламп накаливания, люминесцентных ламп и для источников света с очень узкими спектральными линиями атомов и молекул.

Монохроматичность излучения квантового генератора является следствием свойств индуцированного излучения: частота кванта при индуцированном излучении равна частоте кванта, вызвавшего излучение. Исходная ширина линий в полупроводниках обычно составляет несколько сот ангстрем. В настоящее время показано, что ширина линии в генераторах, использующих $p-n$ переход, в арсениде галлия меньше $0,0017 \text{ \AA}$. Конечное значение ширины линии в генераторах связано со спонтанным излучением.

Наряду с изменением спектрального состава излучения в режиме генерации возникает пространственная направленность излучения. Она также связана с природой индуцированного излучения, при индуцированном излучении квант света имеет то же направление распространения, что и вызвавший его квант.

Обычно в полупроводниковых квантовых генераторах резонатором служит сам образец, так как полупроводниковые кристаллы имеют большую диэлектрическую постоянную и отполированная граница раздела воздух — диэлектрик способна отражать около 30% излучения.

Впервые полупроводниковые генераторы были осуществлены на $p-n$ переходе в кристаллах CaAs , несколько позже при возбуждении электронным пучком и в самое последнее время с оптическим возбуждением. В таблице показаны различные полупроводниковые материалы, на которых удалось осуществить генерацию, и указаны методы возбуждения.

С помощью полупроводников уже удалось перекрыть большой диапазон частот от $0,5\mu$ до $8,5\mu$. В ряде случаев удается непрерывно перекрыть большой диапазон частот, так как изменение концентрации компонент в тройных полупроводниковых соединениях приводит к изменению расстояния между зонами, т. е. позволяет менять непрерывно частоту излучения. Например, изменение состава в системе CaAs приводит к изменению частоты от $0,9\mu$ до $3,2\mu$.

В настоящее время наибольшее развитие получили квантовые генераторы на $p-n$ переходах в CaAs . Были получены импульсный и непрерывный режимы со средней мощностью в несколько ватт и пиковой мощностью до 100 вт при к.п.д. около 30%.

Наиболее интересной особенностью полупроводниковых квантовых генераторов является высокий коэффициент полезного действия.

Для генераторов на $p-n$ переходах имеет место прямое преобразование энергии электрического тока в когерентное излучение, поэтому коэффициент полезного действия может

приближаться к единице. Уже сейчас удается делать диоды, имеющие к.п.д. 70—80%.

Очень высоким коэффициентом полезного действия должны обладать и квантовые генераторы с монохроматической оптической накачкой, так как частота накачки может быть близка к частоте излучения.

К.п.д. лазеров с электронным возбуждением не может быть выше 30%, так как две трети энергии тратится на нагрев решетки при образовании электронно-дырочной пары. Однако такие генераторы могут обладать значительной мощностью. Этот вид возбуждения, по-видимому, позволит создать источники когерентного излучения, работающие вплоть до далекой ультрафиолетовой области.

Другой особенностью полупроводников является высокий коэффициент усиления, достигающий нескольких тысяч обратных сантиметров, что позволяет создавать квантовые генераторы с размерами, исчисляемыми микронами, т. е. с размерами резонатора, близкими к длине волны излучения. Такие резонаторы должны обладать очень малым временем установления, порядка 10^{-12} — 10^{-13} сек, что открывает возможности для сверхвысокочастотного управления колебаниями полупроводниковых генераторов, для создания на основе лазеров сверхбыстродействующих схем, например элементов для сверхбыстродействующих электронно-счетных машин. На основе полупроводниковых веществ могут быть созданы генераторы с модулированной добротностью, дающие очень короткие импульсы света.

Малые размеры полупроводниковых лазеров открывают возможности для создания квантовых усилителей, обладающих предельно высокой чувствительностью, так как чувствительность увеличивается с уменьшением числа типов колебаний, которые могут возбуждаться в резонаторе. Созданы первые усилители света с коэффициентом усиления около 2000.

Высокий коэффициент усиления в полупроводниковых генераторах позволяет создать для них новый тип резонатора — резонатор с излучающими зеркалами (рис. 8, б).

Серебряное зеркало покрывается тонкой полупроводниковой пленкой, которая затем покрывается просветляющей. Если в полупроводниковой пленке создать состояние с отрицательной температурой, которое сможет компенсировать потери зеркала, то такое зеркало может быть основой для создания квантового генератора. Как и в случае газового генератора, здесь можно ожидать очень высокую монохроматичность и пространственную когерентность излучения. Значительным преимуществом такой системы является также сравнительная легкость отвода тепла от тонкой полупроводниковой пленки, что позволяет надеяться на получение значительной мощности.

Полупроводниковые лазеры

Полупроводниковый материал	Длина волны излучения (в микронах)	Метод возбуждения
CdS	0,5	Пучок быстрых электронов
CdTe	0,8	Пучок быстрых электронов
GaAs	0,95	Пучок быстрых электронов <i>p-n</i> переход Оптическая накачка
InP	0,9	<i>p-n</i> переход
GdSb	1,6	<i>p-n</i> переход Оптическая накачка
InAs	3,2	<i>p-n</i> переход Пучок быстрых электронов Оптическая накачка
InSb	5,3	<i>p-n</i> переход Пучок быстрых электронов
PbTe	6,5	<i>p-n</i> переход
PbSe	8,5	<i>p-n</i> переход
GaAs—GaP	0,65—0,9	<i>p-n</i> переход
InAs—InP	0,9—3,2	<i>p-n</i> переход
GaAs—InAs	0,85—3,2	<i>p-n</i> переход

Для получения отрицательной температуры в полупроводниковой пленке можно воспользоваться электронным возбуждением или оптической накачкой. Применение для оптической подкачки полупроводниковых лазеров на $p-n$ переходах позволит получить большой коэффициент полезного действия системы в целом.

Вопрос о предельных мощностях, которые могут быть получены с помощью полупроводниковых генераторов, в настоящее время еще недостаточно ясен. Однако применение излучающих зеркал достаточно большой площади, по-видимому, даст возможность использовать значительное количество полупроводникового вещества. Предельное значение сечения зеркал определяется точностью их изготовления, однородностью полупроводникового слоя и т. д. Различные нарушения оптической однородности будут приводить к возникновению высших типов колебаний.

Среди недостатков полупроводниковых квантовых генераторов следует отметить сравнительно малую мощность, большую пространственную расходимость и недостаточно высокую монохроматичность.

Однако, отмечая эти недостатки, следует иметь в виду, что полупроводниковая квантовая электроника делает еще только первые шаги. И сейчас уже видны пути устранения указанных недостатков, перспективы развития квантовой электроники и перспективы применения полупроводниковых лазеров. Все это позволяет надеяться, что полупроводниковая квантовая электроника есть одно из основных направлений развития лазеров.

В. Л. Гинзбург,
член-корреспондент АН СССР

СОВРЕМЕННАЯ АСТРОФИЗИКА

Я хочу рассказать о той роли, которую космические лучи играют во Вселенной, об астрофизике космических лучей, или, как часто говорят, о проблеме происхождения космических лучей. Но я решил вначале остановиться на состоянии современной астрофизики в более широком плане. Дело в том, что из сегодняшних докладов посвящен астрономической проблеме только мой. А вы знаете, что сейчас астрономия очень интересует и широкие круги людей, и в частности физиков. Очень многие физики сейчас занимаются частично астрономией, и это совершенно не случайно. Хотя никто из нас не является астрономом по образованию, Я. Б. Зельдович и я половину своего времени отдаем астрофизике. Это связано с тем, что астрономия переживает сейчас исключительный период своего развития. Именно в астрономии около 20 лет назад началась и сейчас продолжается подлинная революция в том смысле, что происходит не просто быстрое развитие, характерное для всей науки за последние 200—300 лет. Это качественно особый период, который можно сравнить с тем, что было в начале XVII века и что заслуженно связывают с именем Галилея. Что сделал Галилей? Он впервые посмотрел на небо вооруженным глазом в построенную им самим подзорную трубу. Галилей обнаружил горы на Луне, обнаружил 4 ярких спутника Юпитера. До этого никаких спутников у планет не видели, и Галилей как бы увидел солнечную систему в миниатюре; он увидел пятна на солнце. Коперник считал, что есть небесная сфера, на которой закреплены звезды. Впервые разрешил звездный путь Галилей. Это открытие, конечно, даже сейчас ничуть не уступает лучшему, что нам известно из истории науки. Галилей построил хороший телескоп и получил 30-кратное увеличение. Галилей сам делал этот телескоп; он сделал около 100 телескопов.

Он пользовался естественным методом отбора. Из 100 те-

лескопов он пользовался лишь семью, теми, которые давали хорошее изображение. Но было бы ошибкой думать, что постройка телескопа это главное, что сделал Галилей. Я хочу воспользоваться случаем — это уже отступление — и пояснить вам, что главная трудность, которая стала на его пути, это барьер, воздвигнутый средневековой схоластической философией.

Я приведу выдержку высказывания о линзах того периода:

«Основная цель зрения — знать правду. Линзы же для очков дают возможность видеть предметы большими или меньшими, чем они есть в действительности. Через линзы можно увидеть предметы ближе, дальше, иной раз перевернутыми, деформированными и ошибочными; следовательно, линзы не дают возможность видеть действительность. Поэтому если вы не хотите быть введенными в заблуждение, не пользуйтесь линзами».

Линзы для очков были открыты и использовались для очков за 300—400 лет до Галилея. Телескоп тоже изобрел не Галилей. Нам кажется чудовищным, почему никто до Галилея не посмотрел на небо. Это было связано с суждением о том, что мы получали, применяя линзы.

Я прочту выдержку из письма Галилея к Кеплеру:

«Посмеемся, мой Кеплер, великой глупости людей. Что сказать о первых здешних философах, которые с каким-то упорством аспид, несмотря на тысячекратное приглашение, не желали даже и взглянуть ни на планеты, ни на Луну, ни на телескоп».

Вот с чем пришлось бороться Галилею. Галилей «поверил линзам», поверил в достоверность знаний, полученных с помощью телескопа. Это был революционный шаг.

Имя Галилея славно в истории науки среди многих его достижений введением этого нового метода.

Со времен Галилея астрономия, несмотря ни на какие противодействия, начала развиваться бурными темпами. Неверно думать, что ее развитие сейчас особенно быстро. Оно было быстрым все эти годы. Я приведу данные, характеризующие совершенствование телескопов. У Галилея телескоп был размером примерно 1 м, а диаметр линзы — 5 см. Лучший телескоп, который мы имеем сейчас, вступил в строй в 1948 году. Он имеет диаметр 5 м и по угловой разрешающей силе он в 100 раз лучше телескопа Галилея, а по светосиле в 10 000 раз лучше. Смотрите, какой огромный прогресс!

Но что характерно для всего развития астрономии вплоть до послевоенного периода — это использование исключительно оптической части спектра. И это совсем не случайно. Мы защищены от межпланетного пространства слоем воздуха. Этот слой по весу эквивалентен 10 куб. м воды. Но атмосфера пропускает совсем небольшую часть спектра электромагнит-

ных волн, так называемое оптическое окно прозрачности. Этот диапазон составляют электромагнитные волны с длиной волны 0,4—0,8 мк. Примерно к этому диапазону чувствителен человеческий глаз; это и есть видимый свет.

То, что произошло в астрономии в последние годы — это преодоление препятствий; астрономия вышла на широчайшие просторы. Она использует новые методы, которых не было раньше. Вряд ли нужно доказывать, насколько это важно.

Наибольшее значение из новых методов имеет прием излучения по радиоканалу. Этим занимается новая ветвь астрономии — радиоастрономия. Замечу, что картина неба в радиолучах радикально отличается от привычной для нас оптической картины неба.

За последние 20 лет радиоастрономия колоссально развилась, и если раньше ее ахиллесовой пятой были угловые разрешающие силы, то сейчас по угловой разрешающей силе радиоастрономия обогнала оптическую астрономию.

Таким образом, вот первый метод — радиометод.

Второй метод — это подъем оптических приборов на спутниках и ракетах. Так вы можете наблюдать ультрафиолетовые и инфракрасные части спектра. Наша атмосфера хотя и пропускает видимый свет, но вносит сильные искажения; поэтому большие телескопы используются иногда в течение года всего лишь один раз. Поэтому подъем крупных телескопов на спутниках открывает большие возможности для астрономов. В будущем Луна явится совершенно идеальным местом для обсерватории. Один очень почтенный академик, когда его спросили, где следует поставить новый телескоп, сказал: «На Луне». Он несколько поторопился, но когда-нибудь будет сделано именно так.

Третий метод — рентгеновская и гамма астрономия. Это самая молодая область астрономии. Рентгеновское излучение из космоса впервые наблюдалось в 1962—1963 годах. Сейчас сделаны замечательные открытия. Оказывается, в космосе имеются мощные рентгеновские источники с длиной волны в несколько ангстрем. Самыми яркими являются источники в созвездии Скорпиона, Крабовидная туманность, о чем я скажу несколько позже.

Четвертый метод, который следует назвать, это изучение первичных космических лучей.

Я укажу еще один метод — это наблюдение нейтрино. Никто не удивится, если он обнаружит в литературе сведения о первых опытах с космическими нейтрино. Такие нейтрино излучаются особенно сильно в горячей области Солнца. Нейтрино свободно проходят через Солнце и Землю. Принимая солнечные нейтрино, можно заглянуть в недра Солнца, узнать, как протекают там ядерные реакции.

Как ни богато воображение у писателей-фантастов, но мне

не приходилось встречать до обсуждения в научной литературе, чтобы кто-либо мог предвидеть, что можно заглянуть в горячие области Солнца. Этот метод несомненно будет принят на вооружение.

Мы получили ряд новых методов, находящихся распространение в астрономии. Это обстоятельство и, естественно, та качественно новая ситуация, которая сейчас возникла в этой науке, плюс изучение космических лучей, плюс нейтрино, плюс изучение гравитационных волн, которое, очевидно, скоро станет реальным,— все это составляет содержание нового и действительно грандиозного этапа в развитии астрономии. И поэтому не случайно, что астрономией занимаются физики, напротив, это очень понятно.

Большинство современных методов — это физические методы, чуждые классической астрономии, которая опиралась исключительно на оптику.

Я хочу подчеркнуть, что не может быть и речи о том, чтобы отрицать классические оптические методы. Лишь во времена Галилея развитие новых способов и методов принималось как указание на то, что нужно отбросить старые. На самом деле нужно сочетать все методы. Оптическая астрономия тоже не стоит на месте, она эволюционирует. И без нее невозможны сколько-нибудь полные наблюдения.

Сочетание радиоастрономических и оптических методов привело к открытию «сверхзвезд». Это самое последнее открытие, которое по праву считают одним из самых выдающихся открытий современности.

Сейчас я должен перейти конкретно к описанию одного из упомянутых методов, к исследованию космических лучей во Вселенной, это исследование объяснило ту роль, которую они играют во Вселенной.

Как можно наблюдать космические лучи? Космические лучи это быстрые заряженные частицы, которые поступают из космоса. Их нельзя наблюдать на уровне моря, потому что 10-метровая толща воды их преобразует до неузнаваемости. Нужно подняться на высоту 30—40 км, а еще лучше подняться на спутнике; это теперь и делается.

Непосредственно космические лучи можно у Земли наблюдать методами ядерной физики.

Второй метод, не менее важный, состоит в следующем.

Еще 10 лет назад казалось фантастикой узнать что-нибудь о космических лучах далеко от Земли, а не зная этого, трудно узнать что-либо об их происхождении, поскольку космические лучи приходят со всех сторон.

Но оказалось, что ускоренно движущийся электрон излучает путем синхротронного или магнитотормозного излучения. Оказывается, что электроны, с определенной энергией движущиеся в магнитных полях, излучают в радиодиапазоне.

Таким образом, космические лучи дают о себе знать и по своему радиоизлучению. Принимая его, мы получаем сведения, сколько релятивистских электронов находится в самых удаленных от галактики объектах.

Третий метод — это гамма-лучи. Когда быстрый электрон сталкивается (говоря на квантовом языке) с оптическим фотоном, он излучает гамма-квант. Мягкий фотон становится жестким фотоном, и его энергия составляет многие миллионы электроновольт. Этот процесс тоже несет определенную информацию.

Но каковы результаты, полученные этими методами? Я скажу об этом в двух словах.

Методами физики космических лучей удалось установить, что на границе земной атмосферы в состав космических лучей входит 90% протонов с энергией 10^{-9} эв. Это примерно энергия, которая достигается в Дубне на известном ускорителе. Но в небольшом проценте есть частицы с энергией, доходящей до 10^{20} эв. Таких частиц мало, но это в 10 миллиардов раз больше, чем энергия, достигаемая на ускорителе.

Бросается в глаза резкое отличие химического состава космических лучей от соотношения наблюдаемого на земле. В природе таких элементов, как литий, бериллий, бор, страшно мало. А в космических лучах их столько, сколько железа. Ядра железа в межзвездном пространстве проходят значительную толщину вещества, сталкиваются время от времени с ядрами межзвездного газа и расщепляются; мы наблюдаем эти продукты расщепления. По изотопному составу космических лучей можно заключить, как долго они блуждали во Вселенной, какую толщину прошли. Они блуждают около 300 миллионов лет в галактике; только после этого получится нужный химический состав.

В нашей Галактике плотность энергии космических лучей такого же порядка, как плотность магнитного поля.

Один из важнейших выводов состоит в том, что помимо силы тяготения, которая со времен Ньютона, а может быть и раньше, считалась определяющей во Вселенной, в ряде областей исключительно важную роль играют энергия и давление космических лучей и магнитного поля. Особенно сильно это проявляется в радиогалактиках.

В наших галактиках очень интересным объектом являются сверхновые звезды. Оболочки их — мощные излучатели. Примером служит Крабовидная туманность. Эта сверхновая звезда появилась в 1054 году нашей эры. Это исключительно интересный объект. Ее оболочка расширяется со скоростью 1000 км/сек.

В 1964 году, 7 июля, во время лунного затмения было установлено, что Крабовидная туманность является мощным источником рентгеновского излучения. Природа этого рентге-

новского излучения еще не ясна. Мне кажется наиболее вероятным, что это рентгеновское излучение — излучение тех же самых релятивистских электронов, но в этом случае электроны должны все время поставляться. Но откуда они берутся? На это ответить непросто. Мы даже не знаем до сих пор, что остается от взрыва сверхновых звезд. Во всяком случае, это один из самых острых вопросов современной астрономии. Вы не должны удивляться, что сегодня ответа нет.

Я хочу еще только сказать, что открытые сверхзвезды это радиогалактики особого типа, с маленьким угловым размером. Если Лебедь-А имеет угловой размер 5 минут, то сверхзвезд — секунды и доли секунд. В центре их находится как бы светящееся ядро. Квазизвездами или сверхзвездами называются очень яркие источники. Не исключено, что их размеры такие же, как размеры солнечной системы, их излучения в 100 раз больше, чем у нашей Галактики, состоящей из 200—300 миллиардов звезд.

Я склонен думать, что в физике космических лучей наступает новый период, который связан с широким использованием результатов изучения плазменных явлений; речь идет о тех процессах, которые удалось хорошо изучить — и теоретически и экспериментально — при попытке создать термоядерную реакцию. Космос состоит из плазмы. В космосе должны осуществляться эти плазменные процессы. Они должны наблюдаться при движении космических лучей.

Э. В. Шпольский,
доктор физико-математических наук, профессор

О ЖУРНАЛЕ «УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК»

Всесоюзное общество «Знание» проявило инициативу в организации необычного вида популяризации последних достижений науки — вечеров встречи с учеными, создающими эти достижения. Сегодняшний вечер находится в рамках этой инициативы, но имеет особенность, которая придает ему некоторую своеобразную и цельную структуру. Он представляет собой как бы оживший номер журнала «Успехи физических наук», журнала, посвященного систематическим и планомерным обзорам достижений во всех областях физики и смежных с ней наук.

Я хочу рассказать о самом журнале, чтобы привлечь внимание к тому источнику, откуда постоянно можно черпать сведения о новых проблемах, спорных вопросах и признанных достижениях этой науки.

История журнала «Успехи физических наук», особенно история его первых шагов, чрезвычайно интересна, но я отмечу только то, что приближается полувековой юбилей журнала: его первый том в четырех выпусках вышел в 1918 году, а начал готовиться в 1917 году. Это было совершенно исключительное время и обстановка, в которой рождался журнал, никак не напоминала учредительное заседание будущей редколлегии.

Создание этого журнала было делом, всю важность которого для страны победившей революции можно оценить только сейчас, почти через 50 лет.

В самом деле, для создания передовой науки в стране, т. е. для решения задачи, которая была с первых шагов поставлена Коммунистической партией и Советским правительством, недостаточно было широкого распространения высшего образования и создания больших исследовательских институтов, в частности в области физики. Надо было открыть доступ к серьезному и своевременному ознакомлению со все-

ми новыми достижениями науки тем новым кадрам, которые готовились в высших школах и работали в исследовательских институтах. А для физики эта задача была особенно важна и трудна потому, что в самой этой науке происходила революция, ломавшая привычные понятия и заменявшая их новыми представлениями, с которыми не легко было освоиться.

Со всей этой величайшей в истории науки революцией, со всеми головокружительными открытиями, происходившими в физике и в смежных с ней науках, знакомили советского читателя книжки «Успехов физических наук», выходившие почти без перерывов, не исключая трудных лет второй мировой войны.

Невольно вспоминается время становления новой, как тогда ее называли, квантовой механики. С бьющимся сердцем, а иногда и с большим напряжением читали физики моего, да и ряда следующих поколений, появлявшиеся в «Успехах» переводы статей основоположников квантовой механики — Гейзенберга, Шредингера, Бора, Дирака и статьи советских теоретиков, излагавших или дискутировавших эти новые теории. В 20-х и 30-х годах то, что студенты узнают теперь из учебников, можно было узнать либо из оригинальных работ (что было доступно немногим), либо из статей в «Успехах». Журнал был как бы гигантским всесоюзным семинаром, в котором учились многие тысячи и десятки тысяч будущих физиков и инженеров близких к физике специальностей.

Разумеется, квантовую механику я привел только как пример. Не было такой проблемы или такого направления в советской или мировой физике, которые не были бы освещены на страницах нашего журнала. Ядерная физика, нелинейные колебания, элементарные частицы и твердое тело с его механическими, электрическими, магнитными свойствами — все перечислять не имеет смысла. Не было такого физика, начиная от основоположников советской физики Иоффе, Лазарева, Рождественского и первой шеренги тогда молодых физиков, а сейчас совсем, к сожалению, немолодых: Капицы, Семенова, Тамма, Фока — и кончая теперь еще достаточно молодыми и совсем молодыми, в частности здесь присутствующими Зельдовичем, Гинзбургом, Басовым, Келдышем и многими-многими другими — всех перечислить невозможно, которые не были бы авторами журнала.

Революция, которая началась в физике 65 лет назад, со времени рождения кванта энергии Планка, продолжается и по нынешний день.

Поразительные экспериментальные открытия, такие, как эффект Мессбауэра или квантовые генераторы света — лазеры, дали в руки исследователя средства проникновения в природу физических явлений необыкновенной мощи и столь же необыкновенной тонкости,

Искусственные спутники земли, автоматические космические станции, полеты космонавтов в невиданной степени расширили наши представления о Вселенной.

Астрономия, которая еще недавно могла изучать окружающий мир через узенькую щель оптического спектра, теперь имеет в своем распоряжении широкий диапазон радиоволн, рентгеновские, гамма-лучи, космические лучи и даже нейтрино — удивительные частицы, не имеющие ни массы, ни заряда и обладающие чудовищной пронизывающей силой.

Не менее волнующие результаты были достигнуты в важнейшей и самой дорогой (в буквальном смысле слова) области — в физике элементарных частиц. Еще совсем недавно физики были смущены быстрым ростом числа вновь открываемых элементарных частиц и кажущимся хаосом их свойств. Но вот на наших глазах намечаются контуры классификации, вносящей уже известную ясность в картину: частицы располагаются в стройные группы, вполне аналогичные мультиплетам оптических спектров. Одно из достижений этой классификации — предсказание существования еще одной частицы, завершающей закономерно построенное семейство, не дублет или триплет, а целый декаплет элементарных частиц. Эта частица теперь открыта, она названа омега-минус — событие в значительной степени аналогичное предсказанию новых элементов на основе Менделеевской периодической системы и последующему открытию этих элементов. Оно произвело бы сенсацию, если бы наши нервы не притупились от слишком большого числа сенсационных открытий. Правда, для полного овладения этой систематикой элементарных частиц нужно знание новой математики — теории групп и той, которой давно пользовались в квантовой механике — в теории сложных атомных и молекулярных спектров, но более абстрактной — теорией групп Ли (не того Ли, который вместе с Янгом доказал нарушение право-левой симметрии в слабых взаимодействиях, а шведского математика Софуса Ли, жившего в прошлом столетии). Впрочем, такова уж судьба физиков, особенно моего поколения, что каждый новый успех в теоретической физике требует изучения новой математики. А помогут в изучении нового математического аппарата те же «Успехи физических наук».

В мартовском номере (1965 г.) журнала «Успехи физических наук» напечатана превосходная статья профессора В. Б. Берестецкого «Динамические симметрии сильно взаимодействующих частиц». Но это далеко не первая статья и не последняя. В частности, будут статьи, посвященные, собственно, этой новой математике, которую нужно знать физикам.

В том же номере приблизительно через 50 или 100 страниц можно найти вполне популярно написанную статью физиков

Брукховенской лаборатории У. Фаулера и Н. Сеймиоса о предсказании и открытии частицы омега-минус. Они не вдвоем ее открыли — это было широкое исследование, в котором участвовало 30 или 32 человека.

В том же номере напечатана интересная статья о систематике легчайших ядер (Базь, Гольданский и Зельдович).

В первые годы жизни нашего журнала он состоял главным образом из небольших (1,5—2 печатных листа) сравнительно доступных статей. Такова была первоочередная потребность того времени. Но согласно известному латинскому изречению, «времена меняются и мы вместе с ними». Пришли другие времена, исследования в области физики приобрели колоссальную важность для страны.

Государства стали тратить на эти исследования заметную долю своего национального дохода, число работ стало расти с феерической быстротой, и для обозрения результатов, подведения и обсуждения итогов потребовались статьи другого характера — целые монографии значительного размера и часто не слишком доступные для широкого круга читателей.

Эти статьи необходимы, более того — они очень важны, но предназначены для специалистов, работающих именно в данной области. Физик — не специалист по этому вопросу — просто не имеет времени для их изучения. Однако специалисту, работающему над какой-нибудь определенной, вообще говоря, узкой проблемой, необходимо знать не только то, что делается в его области, но и то, что делается по соседству.

По определению великого физика конца прошлого столетия лорда Кельвина, «специалист — это тот, кто знает все о чем-нибудь и что-нибудь обо всем». И вот это «что-нибудь обо всем» не менее важно, чем «все о чем-нибудь». Не приходится говорить о преподающих в высшей школе, которые по существу своей деятельности обязаны знать, пожалуй, не «что-нибудь», а довольно много «обо всем». И вот, имея в виду эти потребности, редакция особенно озабочена развитием отдела, который мы называем «Физика наших дней» и в котором как раз сосредоточены не очень большие статьи, предназначенные для широких кругов физиков.

Сегодняшние доклады в этой аудитории в значительной мере используют материалы этого отдела.

СОВЕТСКИЕ ФИЗИКИ — ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ

В этом сборнике напечатана статья лауреата Нобелевской премии Н. Г. Басова «Полупроводниковые квантовые генераторы света». В связи с этим читателям, вероятно, будет интересно узнать подробнее о том, что представляют собой Нобелевские премии и кому из советских физиков присуждена эта высшая международная научная награда.

В нашей стране сейчас имеется семь лауреатов Нобелевской премии: шесть по физике и один по химии. Это академики И. Е. Тамм, Л. Д. Ландау, Н. Н. Семенов, члены-корреспонденты АН СССР И. М. Франк, Н. Г. Басов и А. М. Прохоров, П. А. Черенков.

Нобелевский комитет при Шведской академии наук ежегодно присуждает Нобелевские премии за выдающиеся открытия в важнейших областях науки. Эти премии считаются высшей международной научной наградой. Ее получают лишь немногие крупнейшие ученые разных стран. Кандидатуры соискателей Нобелевской премии выдвигают научные учреждения и отдельные ученые, пользующиеся международной известностью и большим авторитетом.

В некоторые годы та или иная премия не присуждается, так как Нобелевский комитет не находит достойного соискателя. Нобелевские премии присуждают только живущим ученым, которые должны получить их в Стокгольме из рук шведского короля. Существует тщательно разработанный и почти не меняющийся в течение десятилетий церемониал вручения премий.

Вот как рассказывает об этом церемониале лауреат Нобелевской премии академик Игорь Евгеньевич Тамм.

Швеция относится к празднествам вручения Нобелевских премий как к делу общегосударственного значения. Эти премии для такой сравнительно небольшой страны, как Швеция, служат важным событием, которому уделяется большое внимание. Вручение премии производится в торжественной обстановке по ранее выработанному и строго соблюдаемому

ритуалу. Но эта торжественность не лишает простоты общения людей.

10 декабря лауреатов ведут в Концерт-хауз. Они стоят за кулисами, пока зал заполняется. Когда входит король и королевская семья, играют фанфары. Затем выходят чиновники, разукрашенные лентами и орденами, за ними в строгом порядке следуют лауреаты. Возле каждого из них — шведский академик. Лауреаты останавливаются у ковра, делают поклон и садятся. Это единственный случай, когда все присутствующие на церемониале, в том числе и королевская семья, стоят, а лауреаты сидят. При этом соблюдается строгий порядок: на первом месте физики, за ними химики, затем биологи и т. д.

Шведский академик рассказывает о достоинствах и важности работ лауреата. Затем лауреат спускается по ступенькам и король вручает ему изящно сделанный диплом. Вместе с дипломом выдается большая золотая медаль.

В промежутках между речами и вручением премий оркестр исполняет различные музыкальные произведения. Церемониал заканчивается исполнением Шведского гимна. В тот же вечер устраивается банкет на несколько сот человек.

Каждый лауреат во время пребывания в Стокгольме должен прочесть Нобелевскую лекцию, посвященную своей работе.

Академик Н. Н. Семенов — первый из нынешней группы советских лауреатов Нобелевской премии получил эту премию 1956 года совместно с английским химиком сэром Хиншельвудом. Вот что сказал тогда шведский профессор Арне Эландер, представляя на церемониале этих двух ученых — советского и английского: «Когда мы говорим об октановом числе бензинов и о мощности моторов, это является результатом огромной работы, которая в своей химической части строится на основе, созданной сегодняшними нобелевскими лауреатами».

В 1958 году Нобелевская премия по физике была присуждена группе ученых, в которую вошли И. Е. Тамм, И. М. Франк и П. А. Черенков. На дипломах, врученных этим ученым, было изображено фиолетово-синее свечение и указано, что премия получена «за открытие и объяснение свечения Черенкова».

Это открытие было сделано П. А. Черенковым под руководством академика С. И. Вавилова еще в 1934 году, но природа его была объяснена гораздо позже И. Е. Таммом и И. М. Франком, после чего обнаруженное явление получило важное применение в технике экспериментальных физических исследований. Свечение Черенкова объясняется способностью электронов и других заряженных частиц в некоторых плотных средах двигаться с большей скоростью, чем в этих средах движется свет (нельзя забывать, что в пустоте скорость света

выше любой существующей в природе скорости). При таком движении сами частицы начинают излучать световые волны. Это явление лежит в основе созданных гораздо позже счетчиков Черенкова для регистрации частиц, изучаемых в физике высоких энергий. Они были использованы группой американского физика Эмилио Серге при исследованиях, завершившихся открытием антипротона. Черенковские счетчики сейчас служат важнейшим средством изучения элементарных частиц.

В 1963 году Нобелевская премия по физике была присуждена академику Л. Д. Ландау — автору важных теоретических работ, в том числе объясняющих замечательное физическое явление, открытое академиком П. Л. Капицей и известное под именем сверхтекучести жидкого гелия.

Нобелевская премия по физике 1964 года присуждена ученым Н. Г. Басову и А. М. Прохорову за создание полупроводниковых квантовых генераторов света. Это одно из самых удивительных открытий в физике последних лет. Квантовые генераторы света, или сокращенно лазеры, смогли быть построены после того, как в начале сороковых годов в СССР и США было открыто интересное физическое явление. Оказалось, что некоторые вещества, например кристаллы рубина, способны после интенсивного их освещения накапливать световую энергию и затем испускать ее в виде кратковременных, но очень мощных световых вспышек. В самое последнее время точно направленные и сверхмощные световые потоки, излучаемые лазерами, начали уже использовать на практике, например в промышленности, медицине.

Нобелевские премии были учреждены на средства известного шведского инженера-химика и предпринимателя Альфреда Нобеля. Денежные суммы, выплачиваемые лауреатам премий, колеблются в зависимости от того, какая прибыль получена на капитал, составляющий фонд этих премий.

Нобелевскими лауреатами по физике были всемирно известные ученые В. Рентген, Пьер и Мари Кюри, Г. Лоренц, М. Планк, А. Эйнштейн, Н. Бор, Ирен и Фредерик Жолио-Кюри, Э. Ферми, Э. Лоуренс.

Присуждение Нобелевских премий советским физикам свидетельствует о мировом признании замечательных успехов нашей науки в области актуальных проблем экспериментальной и теоретической физики.

В. П. Карцев

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Н Г. Басов. Полупроводниковые квантовые генераторы	3
В. Л. Гинзбург. Современная астрофизика	19
Э В. Шпольский. О журнале «Успехи физических наук»	25
Советские физики — лауреаты Нобелевской премии	29

Составитель **А. Г. Чернов**
Редактор **И. Б. Файнбойм**
Художеств. редактор **Е. Е. Соколов**
Техн. редактор **М. Т. Перегудова**
Корректор **В. Н. Никитина**
Обложка **А. Г. Ординарцева**

Сдано в набор 24/VI 1965 г. Подписано к печати 5/VIII 1965 г.
Изд № 64. Формат бум. 60×90¹/₁₆. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0.
Уч.-изд. л. 1,68. А 01321. Цена 6 коп. Тир. 48 700 экз. Зак. 2161.

Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

НАПОМИНАЕМ ПОДПИСЧИКАМ

В 1966 году издательство «Знание» продолжит выпуск подписных брошюр, выходящих под девизом

«НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ».

14 серий этого цикла: «История», «Философия», «Экономика», «Техника», «Сельское хозяйство», «Литература и искусство», «Международная», «Биология и медицина», «Физика, математика, астрономия», «Молодежная», «Химия», «Естествознание и религия», «Наука о Земле», «Радиоэлектроника и связь» расскажут читателю о самом новом и самом интересном в важнейших областях знаний.

Брошюры написаны популярно и увлекательно. Они предназначены преподавателям вузов, техникумов, средних школ, специалистам с высшим и средним образованием, студентам, школьникам старших классов, агитаторам, лекторам, пропагандистам, а также всем любознательным читателям.

В 1966 году авторами брошюр будут академики Л. А. Арцимович, П. А. Капида, М. Д. Миллонщикова, В. И. Спидия, Д. И. Щербаков, члены-корреспонденты АН СССР А. Г. Аганбегян, В. Л. Гинзбург, М. П. Иовчук, А. М. Прохоров, К. Н. Плотников, академики ВАСХНИЛ П. М. Жуковский, А. Н. Карпенко, Ф. Г. Кириченко, действительные члены АМН СССР А. А. Летавет, В. Д. Тимаков, Л. К. Хоцянов, доктора и кандидаты филологии и искусствоведения Л. Каюмов, А. В. Караганов, Э. С. Кедрина, И. С. Куликова, Л. И. Новикова, писатели С. Антонов, Н. Бочин, Л. Оверов, журналисты, общественные и политические деятели.

Периодичность первых десяти серий — 2 брошюры в месяц, 24 в год.

Подписная цена на одну серию:

на год	— 1 руб. 80 коп.
на полугодие	— 90 коп.
на квартал	— 45 коп.

Последние четыре серии выходят по 1 брошюре в месяц, 12 в год.

Подписная цена на одну из этих серий:

на год	— 1 руб. 08 коп.
на полугодие	— 54 коп.
на квартал	— 27 коп.

Подписаться можно на одну или несколько серий без всяких ограничений в отделениях связи и почтамтах, а также у общественных распространителей печати по месту работы.

Индексы серий в каталоге «Союзпечати» на 1966 год с 70064 по 70075 и 70090.