

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКХРОНИКА

002 704.31:53

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ ПО ФИЗИКЕ ЗА 1964 ГОД

Шведская Академия наук 29 октября 1964 г. присудила Нобелевскую премию по физике за 1964 год членам-корреспондентам АН СССР Николаю Геннадиевичу Басову и Александру Михайловичу Прохорову за фундаментальные исследования в области квантовой радиофизики, приведшие к созданию квантовых генераторов и усилителей электромагнитного излучения — мазеров и лазеров. Премия присуждена им совместно с видным американским ученым, вице-президентом Массачусетского технологического института профессором Чарльзом Таунсом.

Это вторая Нобелевская премия, которой удостоены работы Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Теперь в ФИАНе работает пять нобелевских лауреатов: к именам И. Е. Тамма, И. М. Франка и П. А. Черенкова прибавились еще два — Н. Г. Басова и А. М. Прохорова.

Квантовая радиофизика родилась немногим более десяти лет назад и в настоящее время завоевала прочное место в физике и радиотехнике. Ряд проблем, которые успешно решает радиотехника сегодняшнего дня, самым тесным образом связаны с методами и достижениями квантовой радиофизики.

Квантовая радиофизика возникла как естественное продолжение работ по радиоспектроскопии, развивавшихся в конце 40-х — начале 50-х годов. Именно в это время в связи с развитием техники генерации и приема высокочастотных электромагнитных излучений оказалось возможным применять радиофизические методы для исследования длинноволновой части линейчатого спектра поглощения молекул, обусловленного главным образом их вращательными переходами. В СССР работы по радиоспектроскопии были начаты А. М. Прохоровым в 1949 г. Результаты работ по спектроскопии молекул в радиодиапазоне дали ценные данные относительно их структуры и характера их связи.

Работая в области радиоспектроскопии, Н. Г. Басов и А. М. Прохоров стремились расширить возможности этого метода, повысить чувствительность и разрешающую силу радиоспектрометров, сделать доступными для наблюдения слабые переходы и тонкую структуру спектра молекул. Так возникла идея применения вместо однородного газа пучков молекул, движущихся перпендикулярно к направлению распространения волны, что приводило к существенному уменьшению ширины линии, обусловленной эффектом Доплера. Другая, более кардинальная идея — это использование вместо поглощения индуцированного излучения молекул, которые каким-либо образом возбуждены (или «отсортированы») на определенный энергетический уровень. В этом случае вместо резонансного ослабления электромагнитной волны будет иметь место резонансное усиление ее. Если впустить такой пучок молекул в резонатор, т. е. систему, в которой возможно существование слабозатухающих стоячих электромагнитных волн с частотой, совпадающей с частотой излучения молекул, то при очень малой величине затухания интенсивность индуцированного излучения превзойдет затухание и в резонаторе самопроизвольно, без поступления колебаний извне, возникнут когерентные электромагнитные колебания. Таким образом возникает генерация электромагнитных волн.

Однако для радиофизиков генерация или усиление не означает простого увеличения энергии электромагнитного поля. Действительно, хорошо известно, что нагретые тела излучают электромагнитные волны. Увеличение температуры тела увеличивает интенсивность излучаемых им волн. Однако электрическое поле в таком излучении не будет изменяться по закону синуса или косинуса, и это есть результат того, что это излучение представляет собой сумму различных волн, излучаемых различными независимыми, т. е. некогерентными, источниками. Фильтрация не приводит к когерентности излучения, вырезаемого из полного спектра теплового излучения. В то же время в радиофизике уже давно хорошо известны классические методы когерентного уси-

ния, следовательно, и генерации монохроматических колебаний с помощью электронных приборов, в которых кинетическая энергия электронных потоков преобразуется в СВЧ энергию.

Возникает вопрос, будут ли в системе, состоящей из совокупности возбужденных молекул и резонатора, обеспечены условия когерентного излучения и произойдет ли при этом за счет индуцированного излучения предельное сужение начальной спектральной линии так, что электромагнитные колебания в резонаторе будут изменяться по гармоническому закону. Теоретические выводы и последующие эксперименты утвердительно ответили на этот вопрос.

Таким образом возник новый тип генераторов (а позднее и усилителей) электромагнитных излучений, в которых источником энергии служит не изменяющиеся периодически во времени потоки электронов, а совокупность возбужденных молекул, т. е. «активная» среда. Такие генераторы и усилители получили название квантовых генераторов и усилителей, а научное направление, связанное с ними, — квантовой радиофизики.

Работы в этом направлении начались в начале 50-х годов, а первый доклад Н. Г. Басова и А. М. Прохорова, в котором содержались все основные идеи квантового генератора, был прочитан на Всесоюзном совещании по магнитным моментам ядер, состоявшемся 22—23 января 1953 г. Вслед за этим в «Журнале экспериментальной и теоретической физики» и «Докладах Академии наук СССР», начиная с 1954 г., Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым был опубликован ряд важных статей на эту тему; первое же сообщение об успешном эксперименте было представлено Ч. Таунсом и его сотрудниками в мае 1954 г. и немного позднее опубликовано в журнале «Physical Review».

Почему же эти новые генераторы и усилители получили название квантовых? Потому что для генерации или усиления используется излучение, соответствующее переходам между квантовыми состояниями молекул.

Сам по себе факт индуцированного излучения имеет место и в неквантовой физике. Хорошо известно, что при определенном соотношении фаз колебаний электромагнитного поля и возбужденного классического осциллятора осциллятор может отдавать свою энергию полю, увеличивая его амплитуду. Однако эта аналогия не может быть продолжена слишком далеко. Активная среда — атомы и молекулы — подчиняется законам квантовой механики, и только на основе квантовомеханических уравнений может быть построена корректная теория квантовых генераторов.

Индукцированное излучение квантовых систем было постулировано в 1917 г. в работе А. Эйнштейна. В этой работе рассматривались вопросы, связанные с передачей импульса и энергии атомам и молекулам при поглощении и испускании фотонов, обуславливающей термодинамическое равновесие между излучением и веществом. Позднее П. Дираком в связи с развитием квантовой теории излучения были рассмотрены некоторые свойства индуцированного излучения, в частности вопросы, относящиеся к когерентности.

Введение новых принципов генерации и усиления в радиофизику позволило решить ряд принципиальных задач. Как было отмечено в докладе Н. Г. Басова и А. М. Прохорова на Годичном собрании АН СССР в 1960 г., уже к этому времени с помощью методов квантовой радиофизики удалось создать надежные генераторы с высокой стабильностью частоты и усилители с высокой чувствительностью. Стабильность квантовых генераторов объясняется тем, что частота излучения в основном определяется частотой квантового перехода и поэтому слабо зависит от параметров резонатора и других внешних условий. Высокая чувствительность квантовых усилителей обусловлена низким уровнем их собственных шумов, что связано с тем, что квантовые усилители, в отличие от обычных усилителей, могут работать при низких температурах и не обладают избыточными шумами типа дробовых шумов, характерных для электронных усилителей. Квантовые генераторы и усилители СВЧ сыграли важную роль при разработке стандартов частоты и времени, в штурманском деле, геодезии, радиоастрономии, исследовании космического пространства, решении задач сверхдальней высокочастотной радиосвязи и т. п. Их значение трудно переоценить.

Одним из значительных достижений квантовой радиофизики явилось создание генераторов и усилителей оптического излучения — лазеров. С помощью таких приборов оказалось возможным получать мощные когерентные световые волны, что было недоступно до недавнего времени. Когерентное оптическое излучение таит в себе огромные возможности: оно подобно радиоволнам способно нести информацию, но с несравненно большим объемом или, будучи сфокусированным в малые объемы, позволяет получать огромные плотности световой энергии и испарять любые материалы. С появлением когерентных генераторов и усилителей оптика стала подобна радиофизике. Стало возможным построение нелинейной оптики, что таит в себе большие возможности.

В настоящее время имеется большой ряд различных оптических квантовых генераторов, отличающихся друг от друга не только конструктивными особенностями, но и принципами работы, однако общее, что объединяет их, — это использование индуцированного излучения неравновесных квантовых систем.

Советскими учеными сделан большой вклад не только в пионерские исследования, положившие начало квантовой радиофизике. Развитие квантовой радиофизики обогатено нашедшим широчайшее применение методом получения активных частиц путем использования вспомогательного излучения накачки в системе частиц со многими уровнями энергии. Этот метод предложен Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым в 1955 г. В 1958 г. А. М. Прохоров выдвинул идею применения плоского открытого резонатора, сыгравшую большую роль для разработки лазеров. В том же году Н. Г. Басов предложил использование полупроводников, а в последующие годы им вместе с сотрудниками были развиты и осуществлены различные варианты полупроводниковых лазеров.

Н. Г. Басов и А. М. Прохоров создали и возглавили большие научные коллективы, плодотворно развивающие идеи и методы квантовой радиофизики.

Исследования, которые вели независимо Н. Г. Басов и А. М. Прохоров, с одной стороны, и Ч. Таунс, с другой, привели к принципиальному открытию, имеющему большую научную и практическую ценность. Они, несомненно, заслужили высокую оценку, и поэтому присуждение им Нобелевской премии с одобрением встречено научной общественностью.

Н. В. Карлов, О. Н. Крохин