

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

К 60-летию Нобелевской премии за открытие лазерно-мазерного принципа

И.А. Щербаков

В работе описана краткая история получения Нобелевской премии 1964 года Н.Г. Басовым, А.М. Прохоровым и Чарльзом Таунсом за "фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию излучателей и усилителей на лазерно-мазерном принципе". Подчеркивается роль отечественных учёных в создании новых направлений физики, промышленных и медицинских технологий, основанных на применении лазеров.

Ключевые слова: Нобелевская премия, мазер, лазер, применение лазеров

PACS numbers: 01.65. + g, 42.55. – f, 42.60. – v

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.07.039706>

В январском номере журнала *Успехи физических наук (УФН)* за 2011 год была опубликована статья, посвящённая 50-летию создания лазера [1]. В ней достаточно аккуратно были рассмотрены приоритеты работ, приведших к одному из важнейших открытий XX века — открытию лазерно-мазерного принципа, за что советским учёным Николаю Геннадиевичу Басову [2], Александру Михайловичу Прохорову [3] и американскому учёному Чарльзу Таунсу была вручена Нобелевская премия по физике 1964 года. Достаточно полно роль советских учёных была также отражена в разное время в работах [4–6].

Тем не менее преуменьшение вклада отечественных учёных в развитие квантовой электроники, лазерной физики, нелинейной оптики имело место всегда, хотя вряд ли это было результатом осознанных действий. Скорей всего это было результатом слабого знакомства с публикациями в русскоязычных журналах, несмотря на то что советские журналы по физике переводились на английский язык с середины 1950-х годов [7].

В настоящее время такая тенденция многократно усилилась, и признать её неосознанной не получится даже при очень большом желании. Осуществляется искусственная изоляция российской науки.

В октябре 2024 года исполняется 60 лет со дня присуждения Н.Г. Басову, А.М. Прохорову и Ч. Таунсу Нобелевской премии за работу, которая изменила облик окружающего нас мира.

Эта знаменательная дата даёт хороший повод для того, чтобы хотя бы кратко вспомнить те далёкие годы, роль отечественных учёных в формировании современ-

ного состояния науки и на конкретном примере показать, что организованная дискриминация российских учёных вредит прежде всего не России, а всему мировому научному сообществу.

Часто встречающиеся утверждения о том, что Нобелевская премия была получена за создание мазеров и лазеров, источников когерентного электромагнитного излучения в микроволновом и оптическом диапазонах, соответственно, являются по меньшей мере неточными. Она была присуждена за "фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию излучателей и усилителей на мазерно-лазерном принципе".

Необходимо подчеркнуть, что реализация идей, высказанных авторами Нобелевской премии по физике 1964 года, без каких бы то ни было преувеличений, изменила облик окружающего нас мира. Действительно, интернет, оптическая связь, волоконная оптика, информационное обеспечение, медицина, современные промышленные и военные технологии немыслимы без использования лазеров. Не менее важным, а может быть и самым важным, представляется использование лазеров для исследования фундаментальных свойств материального мира. Лазер — это устройство, способное концентрировать энергию во времени и пространстве вплоть до значений, недоступных никакими другими способами. Лазерам обязано появление новых разделов физики, таких как нелинейная оптика, нелинейная спектроскопия, голография, взаимодействие интенсивного излучения с веществом.

Характерно также, что за время с 1964 до 2012 года было получено около 50 Нобелевских премий по физике, из них 11 самым непосредственным образом связаны с премией Н.Г. Басова, А.М. Прохорова и Ч. Таунса.

В 1952 году в докладе на заседании Президиума АН СССР Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым на основе теоретического анализа было указано на возможность

И.А. Щербаков

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,
ул. Вавилова 38, 119991 Москва, Российская Федерация
E-mail: ivan@kapella.gpi.ru

Статья поступила 24 июня 2024 г.

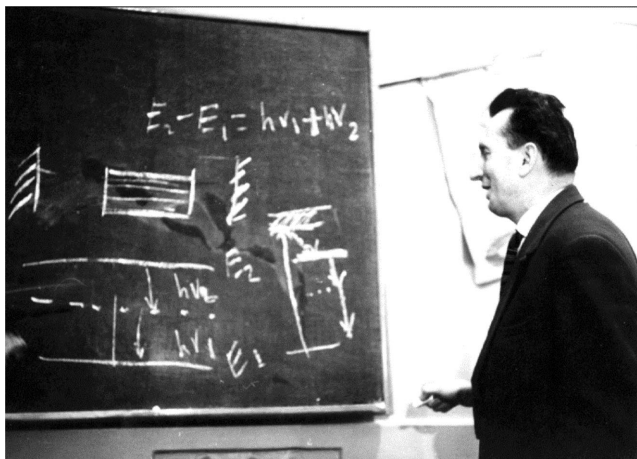


Фото 1. Доклад А.М. Прохорова о принципах работы лазера на семинаре в Физическом институте им. П.Н. Лебедева Академии наук СССР (ФИАН) в 1964 году.

создания усилителей и генераторов электромагнитного излучения с использованием явления вынужденных переходов в квантовых системах с инверсной населённостью уровней (см. [8]).

Как говорил Александр Михайлович Прохоров в своей Нобелевской лекции, к анализу возможного получения генерации в инвертируемой системе его побудила работа Альберта Эйнштейна 1916 года. В этой работе впервые было введено понятие индуцированного излучения возбуждённых атомов под влиянием внешнего поля.

В литературе можно найти утверждение, что Эйнштейн постулировал существование индуцированного излучения при рассмотрении термодинамического равновесия между атомными частицами, распределение которых по энергетическим уровням описывается формулой Больцмана, и фотонами с непрерывным спектром, описываемым формулой Планка. Но это был не постулат, а необходимость выполнения закона сохранения энергии.

Потребовались десятилетия для того, чтобы осознать, что именно понятие индуцированного излучения

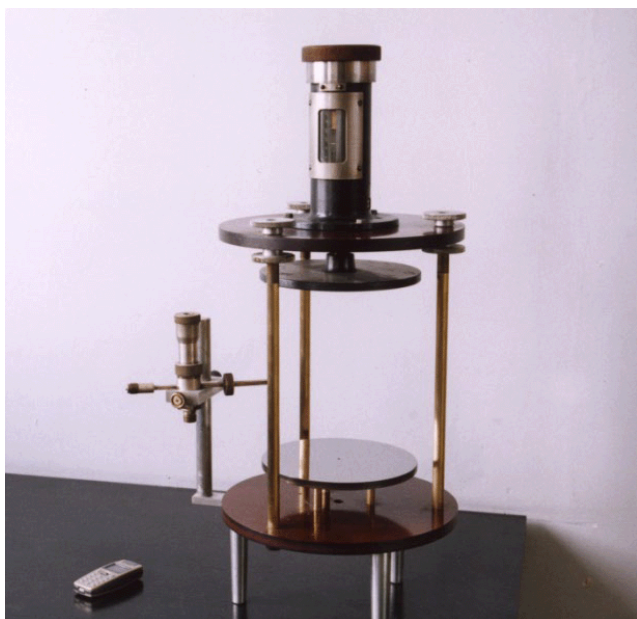


Фото 2. Первый открытый резонатор.

составляет краеугольный камень зарождающейся квантовой электроники. Однако считать, что использование только одного этого фундаментального явления достаточно для создания мазера и лазера, является заблуждением.

Принципиальная проблема, которую необходимо было решить: как создать инверсную населённость? Особую сложность данная задача имела для оптического диапазона. Для оптических переходов, в отличие от "мазерного" радиодиапазона, верхние уровни при комнатной температуре практически не заселены. Необходимо было создать такие условия, чтобы населённость верхних уровней была значительной и превышала число атомов в нижнем состоянии. При этом необходимо учитывать и сильное спонтанное излучение, имеющее место в оптике и опустошающее населённость верхнего состояния.

Не менее важной проблемой являлась и организация положительной обратной связи, превращающей усилитель в генератор. В "мазерном" сантиметровом диапазоне такая задача решалась использованием объёмного резонатора, размеры которого должны быть сравнимы с длиной волны генерируемого излучения. Длины волн оптического излучения составляют менее 1 мкм, что делало применение объёмных резонаторов в оптическом диапазоне в то время невозможным, так как существующий тогда уровень технологии не позволял достигнуть такой степени миниатюризации.

По прошествии достаточно длительного времени после получения Нобелевской премии в 1964 году можно объективно оценить роль отечественных учёных Н.Г. Басова и А.М. Прохорова в создании новых областей физики и, в частности, в создании лазера [1].

В 1955 году ими был предложен эффективный универсальный способ создания инверсной заселённости в трёхуровневой системе под воздействием внешнего источника накачки (фото 1). Эта идея внесла решающий вклад в создание лазеров. Трёхуровневая система накачки используется в настоящее время во всех типах твердотельных, и не только твердотельных, лазеров.

Для реализации положительной обратной связи для коротковолнового излучения А.М. Прохоров предложил использовать в качестве резонатора интерферометр Фабри–Перо: пару плоских параллельных пластин (зеркал), которые были названы открытым резонатором (фото 2). В таком случае длина волны излучения оказывается много меньше размеров резонатора.

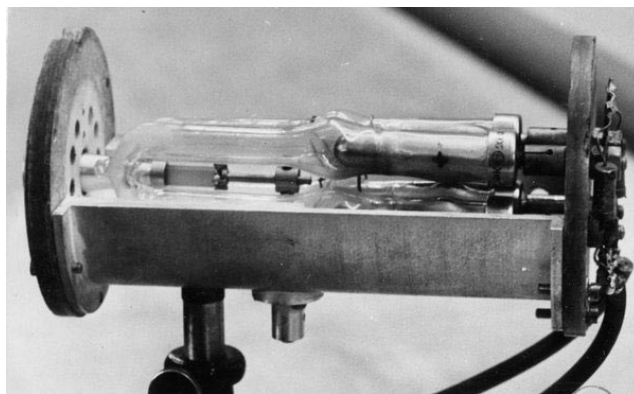


Фото 3. На этой установке в ФИАНе 18 сентября 1961 года М.Д. Галаниным, А.М. Леонтовичем и З.А. Чижиковой получена генерация лазера на кристалле рубина [9].



Лауреаты Нобелевской премии по физике 1964 года "за фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию излучателей и усилителей на мазерно-лазерном принципе" (слева направо): Ч. Таунс, Н.Г. Басов, А.М. Прохоров.



Нобелевская медаль

Были получены условия самовозбуждения и выражены для добротности системы. Идея была подтверждена экспериментально в работе А.М. Прохорова и А.И. Барчукова [9].

Предложение и реализация открытого резонатора и трёхуровневой схемы накачки снимали все ограничения для перехода от созданного ранее мазера к генератору когерентного оптического излучения — лазеру.

Аналогичные исследования шли параллельно и в США в группах Ч. Таунса, А.Л. Шавлова, Н. Бломбергена.

Однако приоритет отечественных учёных по использованию эффекта вынужденных переходов из возбуждённых состояний для создания источника когерентного излучения, применения трёхуровневой схемы накачки и открытого резонатора неоспорим [1].

Таким образом, к 1960 году было завершено создание фундамента физики лазеров.

Из публикаций того времени следует, что на основе созданного фундамента первый лазер на кристалле рубина был запущен в 1960 году в США Т.Н. Мейманом и в СССР в 1961 году М.Д. Галаниным, А.М. Леонтовичем и З.А. Чижиковой [10] (фото 3). В рамках закрытой работы, проводимой в Государственном оптическом институте (ГОИ) им. С.И. Вавилова, лазер на кристалле

рубина был запущен 2 июня 1961 года Л.Д. Хазовым и И.М. Белоусовой [11].

Из воспоминаний очевидцев следует, что сотрудники ГОИ и ФИАНа хорошо знали друг друга, но в силу ведомственных барьеров действовали независимо.

В последующие годы сообщения о получении генерации с использованием активных сред в различных агрегатных состояниях следовали десятками. В ранних публикациях были осуществлены демонстрации эффекта и исследования фундаментальных свойств лазерного излучения. Ранние работы дали возможность осознать, может быть не в полной мере, широчайшие возможности практического применения лазеров.

Однако только фундаментальных исследований для этого было недостаточно. Было необходимо развитие совершенно новых технологий, которых тогда не существовало ни в СССР, ни в США. Требовался поиск и создание новых материалов, разработка методов их прецизионной обработки, создание источников оптической накачки, технология напыления прецизионных зеркал, послужившая впоследствии развитию нанотехнологий, и многое другое.

Всё это требовало разработки нового технологического оборудования, создания особо чистых реактивов, методик и приборов контроля физических свойств материалов и других совершенно необходимых компонентов.

За рекордно короткие сроки в СССР были созданы новые институты, конструкторские бюро, высокотехнологические производства, подготовлены кадры специалистов. В результате СССР превратился, наряду с США, в одну из двух лазерных сверхдержав. Значительную роль в реализации этого процесса играли Н.Г. Басов и А.М. Прохоров, под руководством которых выполнялся ряд важнейших программ государственного значения.

Дальнейшими задачами на основе созданного прочного фундамента, определившего получение Нобелевской премии¹ 1964 года, были расширение спектрального диапазона излучения от ультрафиолетового до инфракрасного, создание лазеров с перестраиваемой длиной волны излучения, уменьшение расходимости лазерного луча до теоретического предела, повышение мощности, КПД, формирование импульсов различной длительности вплоть до сверхкоротких, определяемых также теоретическим пределом. Решение перечисленных задач дало возможность широкого использования лазеров в самых различных областях деятельности человека.

Органическая связь науки фундаментальной и прикладной блестяще подтверждается примером развития лазерной физики. Пройден путь от "фундаментальных работ в области квантовой электроники, которые привели к созданию излучателей на мазерно-лазерном принципе", до возникновения новых областей нелинейной физики и новых областей промышленности и медицины.

Во время зарождения и развития квантовой электроники, лазерной физики, нелинейной оптики существовала достаточно тесная связь между отечественными и зарубежными учёными. Многие принципиальные задачи были решены именно благодаря таким связям. Нельзя также не отметить роль советских учёных в организации научных исследований и создании научных школ в странах, где наука только зарождалась. Как уже отмечалось, подобные процессы при политическом давлении в настоящее время подвергаются необоснованному пересмотру. К счастью, это касается далеко не всех стран, но, тем не менее, вред от них для мировой науки весьма существен. Хочется верить, что дискриминация отечественных учёных — явление временное и к общему благу рано или поздно закончится, и всё придёт к естественному логическому завершению.

Персональный выбор лауреатов Нобелевской премии 1964 года представляется абсолютно правильным и обоснованным.

¹ Нобелевские лекции, прочитанные лауреатами 11 декабря 1964 г. в Стокгольме, были опубликованы в *УФН* [12–14]. (Примеч. ред.)

Благодарности. В заключение автор выражает глубокую благодарность Татьяне Борисовне Воляк за помощь при подготовке настоящей статьи к публикации.

Список литературы

1. Щербаков И А "К истории создания лазера" *УФН* **181** 71 (2011); Shcherbakov I A "Development history of the laser" *Phys. Usp.* **54** 65 (2011)
2. Колачевский Н Н, Савинов С Ю "Николай Геннадиевич Басов (несколько штрихов к биографии выдающегося физика)" *УФН* **192** 1300 (2022); Kolachevsky N N, Savinov S Yu "Nikolai Gennadievich Basov (an insight into the life story of an outstanding physicist)" *Phys. Usp.* **65** 1212 (2022)
3. Алферов Ж И, Андреев А Ф, Боярчук А А, Бункин Ф В, Дианов Е М, Карлов Н В, Конов В И, Месяц Г А, Осико В В, Пашинин П П, Фортвов В Е, Щербаков И А "Памяти Александра Михайловича Прохорова" *УФН* **172** 841 (2002); Alferov Zh I, Andreev A F, Boyarchuk A A, Bunkin F V, Dianov E M, Karlov N V, Konov V I, Mesyats G A, Osiko V V, Pashinin P P, Fortov V E, Shcherbakov I A "In memory of Aleksandr Mikhailovich Prokhorov" *Phys. Usp.* **45** 781 (2002)
4. Karlov N V, Krokhin O N, Lukishova S G *Appl. Opt.* **49** F32 (2010)
5. Багаев С Н, Водопьянов К Л, Дианов Е М, Крохин О Н, Маненков А А, Пашинин П П, Щербаков И А (Сост.) *Начало лазерной эры в СССР. Beginning of the Laser Era in the USSR. Сборник статей* (М.: ФИАИ, 2010)
6. Щербаков И А "Институт общей физики им. А.М. Прохорова: история создания и развития", Трибуна *УФН* № 137, опубликовано online 29 декабря 2023, <https://doi.org/10.3367/UFNr.2023.12.t137>
7. Амбегаокар В "Совместная программа школы Ландау и Американского института физики по переводу научной литературы" *УФН* **178** 1359 (2008); Ambegaokar V "The Landau school and the American Institute of Physics translation program" *Phys. Usp.* **51** 1287 (2008)
8. Басов Н Г, Прохоров А М "Молекулярный генератор и усилитель" *УФН* **57** 485 (1955)
9. Барчуков А И, Прохоров А М "Экспериментальное исследование дисковых резонаторов в миллиметровом диапазоне длин волн" *Радиотехника и электроника* **4** (12) 2094 (1959)
10. Леонтович А М, Чижикова З А "О создании первого лазера на рубине в Москве" *УФН* **181** 82 (2011); Leontovich A M, Chizhikova Z A "On the creation of the first ruby laser in Moscow" *Phys. Usp.* **54** 77 (2011)
11. Белоусова И М "Лазер в СССР: первые шаги" *УФН* **181** 79 (2011); Belousova I M "The laser in the USSR: the first steps" *Phys. Usp.* **54** 73 (2011)
12. Басов Н Г "Полупроводниковые квантовые генераторы" *УФН* **85** 585 (1965); Basov N G "Semiconductor lasers" *Science* **149** 821 (1965)
13. Прохоров А М "Квантовая электроника" *УФН* **85** 599 (1965); Prokhorov A M "Quantum electronics" *Science* **149** 828 (1965)
14. Таунс Ч "Получение когерентного излучения с помощью атомов и молекул" *УФН* **88** 461 (1966); Townes C H "Production of coherent radiation by atoms and molecules" *Science* **149** 831 (1965)

On the 60th anniversary of Nobel Prize for discovery of laser-maser principle

I.A. Shcherbakov

Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, ul. Vavilova 38, 119991 Moscow, Russian Federation
E-mail: ivan@kapella.gpi.ru

The paper describes a brief history of the 1964 Nobel Prize received by N.G. Basov, A.M. Prokhorov, and Charles Townes for "fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser principle." The role of domestic scientists in the advent of new areas of physics and industrial and medical technologies based on the use of lasers is emphasized.

Keywords: Nobel Prize, masers, lasers, application of lasers

PACS numbers: **01.65. + g, 42.55. – f, 42.60. – v**

Bibliography — 13 references

Uspekhi Fizicheskikh Nauk **194** (8) 899–902 (2024)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.07.039706>

Received 24 June 2024

Physics – Uspekhi **67** (8) (2024)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2024.07.039706>