

Е. А. Г а в р и л и н а

## СОЦИАЛЬНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАНОВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

*Проведен анализ развития науки в период становления лазерной техники. Показан механизм социального отбора инноваций и влияния господствующей научной парадигмы на исследования. Продемонстрировано единство развития современной науки и техники и доказано, что исследования в сфере лазерной техники относятся к неклассическому типу научного знания.*

**E-mail:** gavrulina@bmstu.ru

**Ключевые слова:** квантовая физика, лазер, вынужденное излучение, генерация излучения, парадигма, методология исследования, неклассическая наука, социальные аспекты науки.

Становление и развитие лазерной техники в качестве объекта социального и методологического анализа выбрано нами осознано, так как на наш взгляд лазерная техника представляет собой типичный пример построения неклассической технической теории [1], когда «чистая» наука и инженерный эксперимент развиваются параллельно, взаимно обогащая друг друга.

Остановимся более подробно на исследовании того, как из квантовой физики на основе трансформации ее теоретических постулатов сформировалась одна из наиболее значительных отраслей современной технической теории – теория лазерных и оптико-электронных приборов и систем. Для решения этой задачи необходимо проследить путь от появления идеи до практического ее воплощения в приборе или технологии. Причем, в данном случае речь идет не об отдельных изобретениях, открытиях и инновациях, а скорее о формировании полноценной научно-технической дисциплины со всеми присущими ей характеристиками: научным и инженерным сообществом, развитыми промышленными структурами и т. п.

Методологической основой для нашего исследования служит подход, предложенный В. Г. Гороховым [2]. В таком ракурсе важно ориентироваться не только на внутреннюю логику развития науки, но и на внешние социальные условия, при этом, не забывая, что «в социальной истории науки главным всегда оказывается понятие события» [3]. Необходимо опираться на то, что «ученый и его инновационная деятельность рассматривается в контексте взаимодействия с другими учеными, с деятелями культуры, с идеалами и ценностями культуры, стилевыми особенностями литературы и искусства этого времени,

даже интеллектуальной модой» [3]. Вслед за академиком В. С. Степным, мы попытаемся «не просто выделить и описать отдельные сюжеты и факты социокультурной размерности научного познания, но и обнаружить механизмы, благодаря которым социокультурные воздействия интегрируются в процессы внутреннего для каждой науки роста теоретического и эмпирического знания» [4].

**Значение идей Эйнштейна для развития квантовой электроники.** Мы не будем останавливаться на детальном анализе достижений многих великих ученых, поскольку они подробно изложены в целом ряде научных и популярных статей и книг, написанных как «изнутри», т. е. физиками, так и «извне», т. е. философами и методологами науки [5–9]. Мы будем рассматривать зарождение теории лазерных и оптико-электронных приборов и систем с момента появления идеи, ставшей впоследствии ключевой для данной отрасли науки и техники.

Квантовая электроника опирается на три базисных положения [10]:

1. Энергия электромагнитного излучения состоит из дискретных порций энергии, называемых световыми квантами или фотонами.

2. Излучение фотонов происходит как спонтанно, так и индуцированно.

3. Кванты электромагнитного излучения подчиняются статистике Бозе – Эйнштейна.

Основу этих положений в своих исследованиях заложил Эйнштейн. В 1905 г. он опубликовал статью «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света», где рассматривалась возможность существования квантов света – фотонов. Хотя к этому времени уже было достаточно известным понятие «квант энергии», введенное М. Планком, идею Эйнштейна большинство ведущих физиков того времени восприняли негативно. Во многом это было обусловлено огромным успехом максвелловской теории и ее экспериментальным подтверждением в опытах Герца. Иначе говоря, преобладающей точкой зрения на природу света была волновая концепция, поэтому идея Эйнштейна подвергалась многочисленным нападкам и насмешкам. Друг и коллега Эйнштейна Макс Борн писал, что «световые кванты Эйнштейна, всерьез не принимали» [11]. Однако невозможность объяснить красную границу фотоэффекта по-другому [12] вынуждала принять предположение о существовании квантов света, хотя бы в качестве рабочей гипотезы.

Примерно с 1913 г. начали появляться публикации Н. Бора о квантовой теории электронных орбит в атомах и о происхождении спектров,

в 1922 г. был открыт эффект Комптона – все это усиливало позиции теории фотонов.

В 1916 г. Эйнштейн опубликовал небольшую статью [13], которая обрела признание более чем через 40 лет и в настоящее время считается основополагающей теоретической работой по квантовой электронике\*. В этой работе Эйнштейн, опираясь на статистические закономерности, показал, что помимо спонтанного (самопроизвольного) излучения энергии молекулами или атомами вещества существует также вынужденное, или индуцированное излучение. При этом, рассмотрение вынужденных переходов с излучением (отрицательная адсорбция), вначале было воспринято как искусственный прием. Однако вскоре это утверждение приобрело глубокий физический смысл, так как после публикации этой статьи Эйнштейна, немецкий физик Ладенбург [14] экспериментально показал существование, наряду с отрицательной адсорбцией, отрицательной дисперсии.

Принцип индуцированного излучения состоит в следующем. В классической физике считается, что под действием электромагнитного излучения атом с уровня  $E_1$  переходит на уровень  $E_2$ , при этом происходит поглощение энергии. Возбужденный атом может самопроизвольно (спонтанно) перейти на один из нижележащих уровней энергии, излучив при этом квант света. Световые волны, излучаемые нагретыми телами, формируются в результате таких спонтанных переходов атомов и молекул. Спонтанное излучение различных атомов некогерентно. Считается, что нормальное состояние атомов – невозбужденное ( $E_1$ ) и соответственно большинство атомов находятся в нем. Эйнштейн [13] же показал, что возможно излучение принципиально другого типа – индуцированное излучение, т. е. переход  $E_2 - E_1$ . При этом никакой роли не играет то, как первоначально атом попал на более высокий энергетический уровень. В результате этого перехода световая волна усиливается. Более того, индуцированный квант ничем не отличается от индуцирующего фотона: они совпадают и по направлению распространения, и по поляризации, и по частоте. Электромагнитные волны, образованные из таких квантов, называют когерентными. Впервые достаточно строго этот факт обосновал П. Дирак в 1927 г. [15, 16].

И последнее принципиальное теоретическое положение, заключающееся в том, что на один осциллятор поля может приходиться, в принципе, неограниченное число квантов, было доказано Эйнштейном в 1925 г. [17, 18].

---

\* Термин «квантовая электроника» употребляется в данном контексте как термин равнозначный понятию «оптоэлектроника», «квантовая оптика». При более строгом подходе эти понятия различают. – *Прим. авт.*

Таковы базовые теоретические предпосылки возникновения квантовой электроники и лазерной техники. Однако до практической реализации этих положений было еще довольно далеко. Большинство физиков того времени рассматривали описанные выше постулаты как некую «нежизненную» часть теории, как весьма любопытное следствие из квантовой доктрины, как некий казус. Это довольно легко объяснить, если учесть, что среды с инверсной населенностью (т. е. такие среды, в которых число возбужденных атомов превышает число атомов на нижнем энергетическом уровне) не существуют в естественных физических условиях. Именно поэтому усилия исследователей были сосредоточены преимущественно на проблемах другого рода. При этом всегда находятся одиночки, ставящие перед собой задачи, которые другими учеными расцениваются как неперспективные. Именно, о таких людях пойдет речь ниже.

**Экспериментальное подтверждение существования инверсной среды и возможности вынужденного излучения.** В 1928 г. Рудольф Ладенбург и его ученик Ганс Копферман, изучая дисперсию в электрически возбужденных газах, в ходе эксперимента наблюдали отрицательную дисперсию в смеси гелия и неона, что доказывало возможность создания сред с инверсной населенностью [14].

Косвенное экспериментальное подтверждение возможности создания сред с инверсной населенностью доказывало также и принципиальную возможность вынужденного излучения. Поскольку Ладенбург был спектроскопистом, он привык работать с естественным (спонтанным) электромагнитным излучением и не мог оценить перспективность генераторов вынужденного излучения электромагнитных волн, так как вынужденное излучение было таким слабым, что на фоне излучения спонтанного им можно было пренебречь. Этот важнейший для исследуемой области науки и техники результат, так и остался любопытным фактом.

Следующей важной вехой на пути развития лазерной техники, были работы советского физика Валентина Александровича Фабриканта, выпускника физико-математического факультета МГУ, ученика академика С.И. Вавилова. Основные вопросы, которые лежали в сфере интересов Фабриканта, были связаны с оптикой газового разряда, а именно, с явлением электролюминесценции и созданием практических образцов люминесцентных ламп. В ходе этой работы Фабрикант заинтересовался возможностью усиления оптического излучения при прохождении его через газовую среду. В 1939 г. он защитил докторскую диссертацию, в которой не только обобщил экспериментальные результаты Ладенбурга, но и описал случаи преобладания индуцированного излучения над спонтанным. Кроме того,

Фабрикант прямо указал среды, в которых можно создавать инверсную населенность, т. е. среды, которые усиливают, а не поглощают проходящее излучение [19]!

Поскольку эти результаты не имели практической реализации для решения конкретных задач, а также вскоре началась Великая Отечественная война, на работы Фабриканта не обратили должного внимания.

После войны Владимир Александрович вместе с сотрудницей своей лаборатории Фатимой Асланбековной Бутаевой возобновил работу над исследованием оптики газового разряда и сред с отрицательной дисперсией. В 1947 г. он, описывая свои опыты, фактически сформулировал принцип работы лазера и зафиксировал все три необходимые условия существования лазерного излучения: наличие активной среды – смеси газов, системы накачки – возбуждения этой смеси электрическим разрядом и, наконец, резонатор, усиливающий излучение – два плоских зонда, перпендикулярных к радиусу разрядной трубки [20, 21].

Однако работы Фабриканта и его коллег противоречили господствующим в то время в среде спектроскопистов взглядам. Легко предположить, что негативная реакция коллег по физическому «цеху» надолго отложила признание важности проведенной работы. Научные журналы отказывались публиковать статьи о веществах с отрицательным поглощением света.

После многолетних безуспешных попыток доказать коллегам важность исследований в данной области, единственным доступным способом заявить о научных результатах в ней, оказалась подача В.А. Фабрикантом, М.М. Вудынским, Ф.А. Бутаевой в 1951 г. заявки на регистрацию авторского свидетельства на новый «метод усиления электромагнитного излучения».

Заявку зарегистрировали только в 1962 г., и лишь в 1964-м, после присуждения Нобелевской премии А.М. Прохорову, Н.Г. Басову и Ч. Таунсу, авторам было выдано Свидетельство № 12 об открытии «неизвестного ранее явления усиления электромагнитных волн при прохождении через среду, в которой концентрация частиц или их систем на верхних энергетических уровнях, соответствующих возбужденным состояниям, избыточна по сравнению с концентрацией в равновесном состоянии».

Кроме того, по материалам той же заявки были выданы два авторских свидетельства на изобретения. Первое – № 123209 «Способ усиления электромагнитных волн» со следующей формулировкой: «Способ усиления электромагнитных излучений (ультрафиолетового, видимого, инфракрасного и радиодиапазонов волн), отличающийся тем, что усиливается излучение пропускается через среду, в которой

с помощью вспомогательного излучения или другими способами создается избыточная по сравнению с равновесной концентрация атомов, других частиц или систем на верхних энергетических уровнях, соответствующих возбужденным состояниям». Второе – № 148441 «Использование многократных проходов усиливаемой электромагнитной волны в неравновесных средах» со следующей формулировкой: «Способ усиления электромагнитных излучений с использованием сред с отрицательным поглощением, отличающийся тем, что с целью увеличения коэффициента усиления применено многократное прохождение сигнала через усиливающую среду» [21].

Эта история представляет собой пример не только несвоевременности научных открытий, но и влияния парадигмы (в понимании Т. Куна) и академической среды на распространение научных идей. По сути, в авторских свидетельствах сформулированы основные принципы действия прибора, позже названного лазером.

Впервые слово «лазер» использовал аспирант Колумбийского университета Гордон Гулд\* [22]. История Гулда очень интересна и также может служить примером влияния академического сообщества на распространение научных идей и результатов. В ноябре 1957 г. он самостоятельно полностью описал и рассчитал прибор, известный сейчас как лазер. Но, не имея веса в научных кругах, Гулд побоялся опубликовать полученные результаты. Однако все сделанные расчеты и схемы он заверил у нотариуса. Это не принесло ему научной славы, но зато на основании этих записей Гулд смог получить множество патентов, связанных с использованием лазеров, что впоследствии сделало его состоятельным человеком.

Возвращаясь к исследованиям В.А. Фабриканта, можно предположить, что, если бы С.И. Вавилов, всегда поддерживавший своего ученика, был жив в 1964 г., то заявка в Нобелевский комитет включала бы другие имена. Возможно, и изобретение лазера произошло бы раньше. Но история не знает сослагательного наклонения, поэтому рассмотрим логику развития идей, приведших к созданию лазерной техники, далее.

В 1950 г. французский оптик Альфред Кастлер предложил метод оптической накачки газовой среды, за эти исследования он в 1966 г. получил Нобелевскую премию «За открытие и разработку оптических методов исследования резонансов Герца в атомах» [23]. Но, несмотря на впечатляющие успехи в исследовании природы электромагнитного излучения, решающий шаг к созданию генераторов света

---

\* На русском языке о Г. Гулде см. URL [http://inventors.about.com/od/gstartinventors/p/Gordon\\_Gould.htm](http://inventors.about.com/od/gstartinventors/p/Gordon_Gould.htm)

в оптическом диапазоне так и не был сделан. Во многом это связано с тем, что почти все исследования в этой области проводились учеными-оптиками, а для них усилитель оптического излучения представлялся естественной частью оптической системы, т. е. (и это было принципиальным ограничением) наложенным опять же господствующей парадигмой, такой усилитель не представлял для них самостоятельной ценности.

**Создание первых генераторов микроволнового и оптического излучений.** Решение задачи создания генераторов оптического излучения, хотя к тому времени она еще не была даже поставлена, пришло из смежной области физики – радиоспектроскопии, области радиофизики, к развитию которой причастны выдающиеся советские ученые Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси. В их лаборатории колебаний в 1939 г. начал работу А.М. Прохоров [24–26]. В 1946 г. он защитил кандидатскую диссертацию, а в 1951 г. – докторскую. Для Прохорова предметом исследований, результаты которых потом вошли в его докторскую диссертацию, была возможность использования синхротронов для генерации миллиметровых волн. Почти одновременно с работой в области физики ускорителей А.М. Прохоров начинает работу в области спектроскопии газов, где предметом исследования являются вращательные и колебательные спектры молекул. Необходимо отметить также, что радиоспектроскопия начала энергично развиваться после Второй мировой войны. Это связано с тем, что при исследовании спектров газов начали активно применять хорошо разработанные к тому времени методы радиолокации и радиотехники.

Основные проблемы, стоявшие тогда перед физиками-спектроскопистами, заключались в том, что из-за соударений молекул в газе и наличия эффекта Доплера, не удавалось создать достаточно чувствительный метод регистрации поглощательных переходов в молекулах, т. е. не удавалось провести достаточно точные измерения. Над этим вопросом начали работать А.М. Прохоров и его ученик, коллега Н.Г. Басов. Они решали задачу повышения разрешающей способности радиоспектроскопов. А.М. Прохоров позже объяснял, что в радиотехнике хорошо известно: если какая-либо система способна усиливать колебания, то она же способна их генерировать. Первые две статьи на эту тему были опубликованы независимо друг от друга в СССР и США [27]. Фактически эти работы положили начало развитию квантовой электроники, но интересно отметить, что идея квантового генератора появилась как побочный результат деятельности, направленной на решение другой задачи.

Так, Ч. Таунс со своими сотрудниками в статье «Микроволновый молекулярный генератор и новая сверхтонкая структура микроволнового спектра аммиака» писал: «... создана и работает установка, которая может быть использована в качестве микроволнового спектрометра высокого разрешения, микроволнового усилителя или очень стабильного генератора. Это устройство, в котором используется инверсионный спектр молекул аммиака, основано на излучении энергии внутри резонатора с высокой добротностью пучком молекул аммиака...» [28].

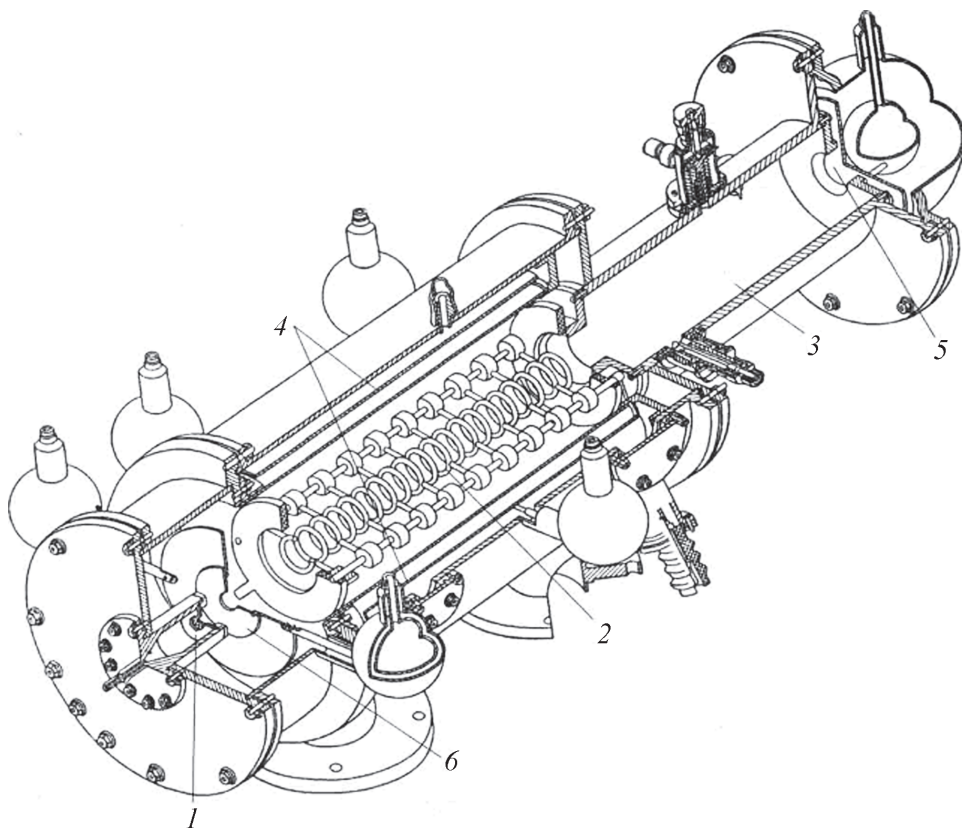
Н.Г. Басов и А.М. Прохоров в статье «Применение молекулярных пучков для радиоспектроскопического изучения вращательных спектров молекул» писали: «Используя молекулярный пучок, в котором отсутствуют молекулы в нижнем состоянии рассматриваемого перехода, можно сделать “молекулярный генератор”» [25].

В 1955 г. в журнале «Успехи физических наук» опубликована статья Н.Г. Басова и А.М. Прохорова «Молекулярный генератор и усилитель», в которой указанные вопросы были разработаны более детально [29]. Эта работа носила теоретический характер, а прибор – молекулярный генератор, излучавший на длине волны 1,25 см – аммиачный мазер (от англ. Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation, MASEK) был создан в 1954 г., одновременно и независимо группой ученых в Колумбийском университете США и А.М. Прохоровым, Н.Г. Басовым в Физическом институте им. Н.П. Лебедева АН СССР [30].

Конструкция прибора была на удивление проста (рис. 1) [28]. Однако как заметил академик О.Н. Крохин, «перекинуть мостик между понятием когерентности в классическом понимании этого слова (тип колебания поля в резонаторе) и утверждением о тождественности квантов (у них отсутствует понятие фазы) не так просто. Именно установление когерентности в молекулярных (“квантовых”) генераторах, работающих за счет вынужденного излучения, является нетривиальным фактом этого открытия» [28].

Итак, в 1954 г. А.М. Прохоров и Н.Г. Басов в СССР и независимо от них Ч. Таунс, Дж. Гордон и Г. Цайгер в США [31] предложили методы формирования молекулярных пучков с последующей сортировкой возбужденных и невозбужденных молекул и пропусканием пучка возбужденных молекул через объемный резонатор. Здесь впервые удалось соединить в одно целое представления об индуцированном излучении и инверсной населенности с представлениями о резонаторах, обратной связи и генерации когерентного электромагнитного излучения. В то же время А.М. Прохоровым совместно с Н.Г. Басовым





**Рис. 1. Конструкция молекулярного генератора:**

1 – источник молекулярного пучка; 2 – сортирующая система; 3 – резонатор; 4 – вакуумная рубашка, охлаждаемая жидким азотом; 5 – торцевая ловушка отработанного пучка молекул; 6 – диафрагма для формирования молекулярного пучка

была создана исчерпывающая теория молекулярного генератора и усилителя радиоизлучения [32].

При этом до создания генераторов в оптическом диапазоне прошло еще долгих пять лет, чему было несколько причин. Так, Ч. Таунс писал: «... первые шаги, связанные с микроволновыми генераторами, малошумящими усилителями и их использованием в различных научных экспериментах, оказались столь интересными, что отвлекли внимание от возможностей получения высоких частот» [33, 34]. На двух других проблемах перехода в оптический диапазон останавливался в своей речи на вручении Нобелевской премии А.М. Прохоров: «Первая трудность заключалась в том, что тогда не были предложены резонаторы для оптического диапазона волн, и вторая – не были предложены конкретные системы и методы получения инверсной заселенности в оптическом диапазоне волн» [35].

А.М. Прохоров в июне 1958 г. предложил использовать широко известный в мире оптики интерферометр Фабри – Перо, основная функция

которого заключается в селекции излучения по длине волны, как открытый резонатор [28, 30].

Справедливости ради надо отметить, что в том же 1958 г., в декабре, А. Шавлов и Ч. Таунс в журнале «Physical Review» опубликовали статью, в которой рассматривалась возможность перехода в оптический диапазон [22].

Что же касается другой трудности, то ее избежать можно было путем множества исследований спектроскопических свойств различных материалов. Наиболее исследованы к тому времени были газы (вспомним работы Фабриканта) и кристаллы, поэтому основные эксперименты проводились с ними.

Первый генератор оптического излучения был создан на кристаллической активной среде. Лазер был построен в мае 1960 г. в США Теодором Мейманом [36]. В качестве активной среды он использовал искусственный кристалл рубина (двуокись алюминия с примесью хрома), накачка которого осуществлялась с помощью обычной лампы-вспышки, а в качестве резонатора использовались зеркальное покрытие, нанесенное непосредственно на полированные торцы кристалла. Лазер Меймана был импульсным и генерировал на длине волны 0,6943 мкм, т. е. излучал красный свет.

Однако когда Мейман весной 1960 г. прислал статью о лазере в «Physical Review Letters», то редактор ответил, что она не может быть опубликована, так как работ по лазерам уже много, поэтому они больше не представляют научного интереса [36]. Вследствие этого первая научная публикация о лазере состоялась в английском журнале «Nature». В том же году, в декабре сотрудники лаборатории «Bell Lab.» Али Джаван, Уильям Беннет и Дональд Хэрриот продемонстрировали работу гелий-неонового лазера, в котором инверсную населенность создавал электрический разряд в газовой смеси низкого давления. Надо отметить, что конструкция этого лазера практически полностью повторяла установку В.А. Фабриканта, Ф.А. Бутаевой и М.М. Вудынского.

Все эти события свидетельствовали о том, что принципиальный рубеж удалось преодолеть. Физики и инженеры получили генерацию излучения в оптическом диапазоне. Это вынужденное излучение отличалось от известного ранее спонтанного целым рядом характеристик (монохроматичностью, когерентностью, направленностью, яркостью). Наличие этих характеристик позволяет активно использовать лазеры в промышленности. Необходимо отметить, что создание новых лазеров продолжается и в настоящее время.

В завершении отметим еще раз, что теория лазерной и оптико-электронной техники представляет собой неклассическую научно-

техническую дисциплину. Она изначально строилась не под влиянием какой-либо конкретной базовой научной теории, а как междисциплинарная область исследования, опираясь на данные различных технических и теоретических моделей. Параллельно научным исследованиям осуществлялись также и промышленные разработки, которые оказывали непосредственное воздействие на сами исследования. По сути, теория лазерной и оптико-электронной техники была одной из первых научно-технических теорий нового класса и поэтому анализ ее становления представляется репрезентативным для понимания логики развития научного и теоретического знания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степин В. С., Горохов В. Г., Розов М. А. *Философия науки и техники*. – М.: Гардарики, 1996. – 400 с.
2. Горохов В. Г. Социальный и методологический анализ становления технических наук (Case Studies на примере радиолокации – принципы исследования) // *Мысль*. – 2009. – С. 180–193.
3. Огурцов А. П. Социальная история науки: стратегии, направления, проблемы // *Принципы историографии естествознания: XX в.* – 2001.
4. Степин В. С. *Теоретическое знание*. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – С. 11.
5. Лауэ М. *История физики*. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, – 1956. – 232 с.
6. Мандельштам Л. И. *Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике*. – М.: Наука, 1972. – 440 с.
7. Вавилов С. И. Галилей в истории оптики // *УФН*. – 1964. – Т. 83. – Вып. 8. – С. 583–615.
8. Льюэлли М. *История физики*. – М.: Мир, 1970. – 464 с.
9. Койре А. Гипотеза и эксперимент у Ньютона // Койре А. *Очерки истории философской мысли. О влиянии философских концепций на развитие научных теорий*. – М.: Прогресс, – 1985. – 280 с.
10. Карлов Н. В., Прохоров А. М. Квантовая электроника и Эйнштейновская теория излучения // *УФН*. – 1979. – Т. 128. – Вып. 3. – С. 537–543. <http://ufn.ru/gu/articles>
11. Борн М. Альберт Эйнштейн и световые кванты // *УФН*. – 1959. – Т. 59. – Вып. 1. – С. 119–134.
12. Самејо S. A. *Skurrile Quantenwelt*. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2006. – S. 24.
13. Эйнштейн А. К квантовой теории излучения // *УФН*. – 1965. – Т. 86. – Вып. 3. – С. 371–381.
14. Ладенбург Р. Дисперсия в электрически возбужденных газах // *УФН*. – 1934. – Т. 14. – Вып. 6. – С. 721–741
15. Дигас Р. The Quantum Theory of the Emission and Absorption of Radiation // *Proceedings Royal Society of London. Ser. A*. – 1927. – Vol. 114. – P. 243–265.
16. Дирак П. Теория электронов и протонов // *УФН*. – 1930. – Т. 10. – Вып. 5–6. – С. 581–591.
17. Эйнштейн А. Квантовая теория одноатомного идеального газа // *УФН*. – 1965. – Т. 86. – Вып. 3. – С. 381–396.

18. Эйнштейн А. Квантовой теории идеального газа // УФН. – 1965. – Т. 86. – Вып. 3. – С. 397–403.
19. Биберман Л. Валентин Александрович Фабрикант (К шестидесятилетию со дня рождения) // УФН. – 1967. – Т. 93. – Вып. 4. – С. 756–758.
20. Фабрикант В. А. Некоторые вопросы оптики газового разряда // УФН. – 1947. – Т. 32. – Вып. 1. – С. 1–25.
21. Бутаев Б., Морозов Д. Фатима Бутаева: у истоков создания лазера // Наука и жизнь. – 2007, № 12. URL: <http://www.nkj.ru/archive/articles/12350>
22. Eichler H. J., Eichler J. Laser. Hight-tech mit Licht. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer, Verlag. – 1995. – S. 10–12.
23. Каствлер А. Оптические методы изучения низкочастотных резонансов // Нобелевские лекции по физике 1966 года // УФН. – 1967. – Т. 93. – Вып. 1. – С. 5–18.
24. Александр Михайлович Прохоров. Воспоминания, статьи, интервью, документы / под ред. Щербакова И.А. – М.: Физматлит. – 2006.
25. Михайлова Г. Н., Осико В. В. Ученый-энциклопедист. Опыт коллективного портрета. К девятидесятилетию со дня рождения академика А.М. Прохорова // Вестник РАН. – 2006. – Т. 76. – № 9. – С. 823–833.
26. Барчуков А. И., Багов Н. Г., Бункин Н. Г., Веселаго В. Г., Ирисова Н. А., Карлов Н. В., Маненков А. А. Александр Михайлович Прохоров (К пятидесятилетию со дня рождения) // УФН. – 1966. – Т. 89. – Вып. 3. – С. 521–525.
27. Прохоров А. М. Квантовая электроника. Нобелевская лекция. – УФН. – 1965. – Т. 85. – Вып. 4. – С. 599–604.
28. Крохин О. Н. 50 лет квантовой электроники // Вестник РАН. – 2005. – Т. 75. – № 5. – С. 440–441.
29. Басов Н. Г., Прохоров А. М. Молекулярный генератор и усилитель // УФН. – 1955. – Т. 57. – Вып. 3. – С. 485–501.
30. Кожевников А. Б., Мокрова М. В. Интервью с А.М. Прохоровым. ...Нельзя заставлять ученого заниматься тем, чем он не хочет // Вопросы истории естествознания и техники. – 2003. – № 4. – С. 105–127.
31. Fain W. M., Chanin J. I. Quantenelektronik. Phzsik der Maser und Laser. – Leipzig: V.G. Teubner Verlagsgesellschaft. – 1969. – S. 10–11.
32. Басов Н. Г., Прохоров А. М. О возможных методах получения активных молекул для молекулярного генератора // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1955. – Т. 28. – С. 249–250.
33. Таунс Ч. Получение когерентного излучения с помощью атомов и молекул. Нобелевская лекция // УФН. – 1966. – Т. 88. – Вып. 3. – С. 471.
34. Прохоров А. М. Квантовая электроника. Нобелевская лекция // УФН. – 1965. – Т. 85. – Вып. 4. – С. 599–604.
35. Прохоров А. М. О молекулярном усилителе и генераторе на субмиллиметровых волнах // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1958. – Т. 34. – С. 1658–1659.
36. Cartlidge E. News archive. May 10, 2007. URL: <http://physicsworld.com/cws/article/news>

Статья поступила в редакцию 30.05.2012