

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКБИБЛИОГРАФИЯ

[535+ 621.378.325] (049.3)

ФИЗИКА ЛАЗЕРОВ, ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА, ОПТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Laser Spectroscopy IX: Proceedings of Ninth International Conference/Eds. M. Feld, J. Thomas, A. Mooradian. — New York: Academic Press, 1990.

Milonni P.W., Eberly J.H. Lasers. — New York: John Wiley, 1989.

Через тридцать лет после запуска первого лазера, физика и техника лазеров в ряде отношений пришли к достижению фактически предельных параметров, как на "макро"-, так и на "микро"-уровне.

Пройден практически до конца путь к предельно коротким световым вспышкам — получены импульсы с длительностью $\sim 10^{-15}$ с, импульсы, под огибающей которых укладывается всего несколько периодов световых колебаний. Сжатие импульсов, фокусировка во времени, позволила совершить и резкий рывок вверх по шкале мощностей и интенсивностей. Созданы "настольные" тераваттные (10^{12} Вт) лазеры, развивающие интенсивности $\sim 10^{19} - 10^{20}$ Вт/см². На очереди создание пентаваттных (10^{15} Вт) систем, позволяющих получить интенсивности $\sim 10^{24}$ Вт/см². Во вполне практичных конструкциях твердотельных лазеров получена нестабильность частоты $\sim 10^{-14}$, близкая к пределу, определяемому спонтанным шумом. В одномодовом лазере реализована предельная "естественная" пространственная когерентность, также ограничиваемая только спонтанными шумами. В нелинейных системах удается управлять квантовыми неопределенностями световых полей — генерировать макроскопические квантовые сжатые состояния.

Использование нелинейного отклика вещества, еще сравнительно недавно проявляющегося лишь в специально поставленных экспериментах, стало рутинным спектроскопическим приемом, нашли широкие применения в управлении светом с помощью света.

Все это радикально изменило облик оптической квантовой электроники и физической оптики. Если в 60 — 70-х годах здесь доминировала физика лазеров, то сейчас в значительной мере сформировалась новая область физики, где оптические методы используются для решения широкого круга физических задач, еще недавно вообще недоступных оптической технике.

Новая проблематика чаще всего объединяется термином "лазерная физика"; довольно широко используется также и термин "оптическая физика". (Надо сказать, что эти термины получили и "официальное" признание. Специальность "лазерная физика" включена ВАК СССР в перечень квалификационных физических специальностей. Термин "оптическая физика" (optical physics) широко используется в англоязычной литературе; так назван, в частности, один из авторитетных американских журналов.)

Идеи, концептуальные подходы, экспериментальные методы лазерной физики (оптической физики) показали свою эффективность в атомной и молекулярной физике, физике твердого тела, физике плазмы, становятся реальностью прямые лазерные эксперименты в области физики высоких энергий, нелинейной квантовой электродинамики. Быстро расширяется круг приложений в химии, биологии, биомедицине. Эти новые тенденции оказывают сильное воздействие на физическое образование.

Две книги, указанные в заголовке этой рецензии, дают хорошее представление о современном уровне исследовательских работ и о тенденциях в создании учебной литературы по лазерной физике. Первая из них — труды IX Международной конференции по лазерной спектроскопии, состоявшейся летом 1989 г. в местечке Бреттон-Вудс, штат Нью-Хэмпшир, США. Тематика регулярно проводимых, начиная с 1973 г., международных конференций по лазерной спектроскопии давно уже вышла за пределы, определяемые достаточно узким ее названием. Фактически, интересы участников концентрируются прежде всего на приложениях лазеров в фундаментальной физике. Надо сказать, что 1988 — 1989 г. были весьма плодотворными, так что рецензируемый сборник дает хорошее представление об уровне лазерной физики, новых возможностях, открывающихся перед физикой за счет использования современных лазерных методов.

В краткой рецензии нет возможности, разумеется, дать сколько-нибудь подробное изложение материалов сборника. Тем не менее, нижеследующий перечень проблем, рассматривавшихся на

конференции (разделов сборника), снабженный кратким комментарием, как мы надеемся, позволит читателю составить представление о смысле, вкладываемом в термины лазерная физика и оптическая физика, почувствовать тонус этой динамичной области физической науки.

Атомные частицы, локализованные в электромагнитных ловушках и охлаждаемые с помощью лазерного света до сверхнизких температур. Эксперименты с такими частицами принесли в последние годы много принципиальных результатов в спектроскопии, физике фазовых переходов, химической физике, физике и технике оптических стандартов частоты. С этой проблематикой связаны материалы трех разделов сборника: "Новые механизмы охлаждения", "Спектроскопия ионов, захваченных в ловушки", "Атомные частицы под воздействием пондеромоторных сил светового поля". Рядом исследовательских групп достигнуты температуры охлажденных ионов $T \approx 30$ мкК; при температурах $T = 10$ мкК де Бройлевская длина волны $\lambda \approx 2.50$ нм и, следовательно, описание движения частиц должно быть полностью квантовым. Группа Брюера (лаборатории ИВМ, США) сообщила об элегантных экспериментах, в которых переход от порядка к хаосу наблюдался в системе двух ионов, захваченных в ловушке. Интенсивно развиваются работы по прямому наблюдению элементарных квантовых переходов отдельных атомов или ионов из одного энергетического состояния в другое — боровских квантовых скачков.

Когерентность и хаос, управление квантовыми флуктуациями, "неклассический" свет. На этих "горячих точках" современной оптической физики сфокусировались интересы авторов, представивших свои доклады в секциях "Когерентность и шумы", "Резонаторная квантовая электродинамика". Несомненно, одним из важнейших событий стало выявление возможностей наблюдения в нелинейно-оптических системах и в лазерах полной иерархии явлений трехмерной нелинейной волновой динамики, включая эффекты самоорганизации, генерацию пространственно-временных нелинейных волновых структур, четырехмерного динамического хаоса (оптической турбулентности) — явлений, изучавшихся до последнего времени прежде всего в гидродинамике и химической физике.

Успехи этого раздела оптической физики (с ним все чаще связывают термины "сухая гидродинамика", "оптическая синергетика") обязаны прежде всего разработке эффективных методов управления поперечными взаимодействиями световых волн в нелинейной среде — напомним, что традиционные нелинейно-оптические методы преобразования частотного и углового спектра базируются на организации эффективных продольных взаимодействий.

По-прежнему высок интерес к работам, направленным на реализацию предельной когерентности излучения лазеров. В докладе ряда американских групп были приведены данные по твердотельным лазерам, обладающим временной когерентностью, близкой к предельной. М. Левенсон (лаборатория ИВМ, США) сообщил о новых экспериментах по определению предельной пространственной когерентности одномодового лазера. Надо сказать, что первые эксперименты подобного рода были выполнены в нашей стране еще в середине 70-х годов; группа Левенсона подтвердила эти результаты, применив новую методику. Нелинейная оптика предоставляет чрезвычайно широкие возможности управления квантовыми флуктуациями излучения — генерации сжатых состояний. Сейчас наряду со ставшими уже традиционными схемами параметрического усиления все большее внимание уделяется сжатым состояниям, возникающим в оптических солитонах; по-видимому, здесь можно достичь рекордного сжатия.

Прогресс в разработке лазерных источников излучения. Материалы, собранные в обсуждаемом разделе, отражают крупные достижения в этой, неизменно актуальной, области лазерной физики. Целеустремленная многолетняя работа группы Стэнфордского университета (США), руководимой Р. Байером, увенчалась созданием высокостабильного твердотельного лазера с диодной накачкой. Вполне практичный Nd:YAG-лазер с диодной накачкой, стабилизированный по высокочастотному резонатору, имеет ширину спектральной линии $\Delta\nu \approx 30$ Гц, лишь на порядок превышающую естественную ширину. Прорыв в технике стабилизации частоты компактных твердотельных лазеров открывает совершенно новые возможности в спектроскопии, интерферометрии, в фундаментальных экспериментах, в том числе в лазерных экспериментах, проводимых в космосе. Становятся реальными перестраиваемые лазерные источники с нестабильностью частоты $\sim 10^{-13}$; для этой цели можно использовать уникальные свойства двухрезонаторного параметрического генератора снега. Большой интерес вызвало создание источников мощных пикосекундных и субпикосекундных рентгеновских импульсов. Группа Р. Фалконе (Калифорнийский университет в Беркли) сообщила о рентгеновском источнике, генерирующем импульсы длительностью меньшей 10^{-12} с в диапазоне длин волн $\sim 40 - 100$ Å. Рентгеновское излучение возникает в плотной, "фемтосекундной" лазерной плазме, возбуждаемой в твердотельной мишени короткими импульсами твердотельных или эксимерных лазеров, разви-

вающих интенсивности мишени $\sim 10^{16} - 10^{18}$ Вт/см². В настоящее время ряд групп в нашей стране и США работают над схемами фокусировки таких импульсов в пятно размером 200 — 1000 Å, достигаемые при этом интенсивности рентгеновского излучения $\sim 10^9 - 10^{12}$ Вт/см² позволяют начать исследования в новой области физики — нелинейной рентгеновской оптике. Фемтосекундная плазма оказывается перспективной рабочей средой для настольных рентгеновских лазеров.

Спектроскопия поверхности. Нелинейная спектроскопия поверхности принесла в последние годы много ярких результатов. Оказалось, что свет, отраженный от границы раздела на гармониках и комбинационных частотах, может быть использован для диагностики свойств мономолекулярных слоев, процессов адсорбции и десорбции на поверхности и т.п.

В работах самого последнего времени все больший акцент делается на нелинейно-оптическую диагностику динамики поверхности — химических реакций, быстрых (в том числе — лазерно-индуцированных) фазовых переходов поверхности и т.п. Обсуждались в частности представленные группой Московского университета новые данные о возникающем на временах $\sim 10^{-13}$ с "холодном плавлении" — разрушении дальнего кристаллического порядка в приповерхностных слоях полупроводников.

Молекулярная спектроскопия и молекулярная динамика. Сочетание техники перестраиваемых лазеров, генерирующих фемтосекундные импульсы, с техникой молекулярных пучков позволило связать эти две области, выполнить эксперименты, направленные на прямую регистрацию в реальном масштабе времени элементарных химических реакций, когерентных возбужденных состояний и т.п.

Фундаментальные эксперименты. Среди работ, представленных в этом разделе, — лазерная спектроскопия позитрония (группа Стэнфордского университета, США), исследования нарушения четности в атомном цезии (Институт физики высоких энергий, Цюрих), новые измерения постоянной Ридберга методом двухатомной спектроскопии ридберговских состояний водорода (Высшая нормальная школа, Франция), наблюдение субдоплеровской ориентации ядер рубидия (спектроскопическая лаборатория Массачусетского технологического института, США), исследование дифракции атомов и пондеромоторного действия света на атомы (Массачусетский технологический институт, США) и др.

Лазерная спектроскопия в биомедицине. Дискуссии, развивающиеся на конференциях по этой тематике, в значительной мере были стимулированы приглашенными докладами В.С. Летохова (Институт спектроскопии, Троицк) "Перспективы лазерной спектроскопии биомолекул с пространственным разрешением ~ 10 Å" и С. Сванберга (Технологический институт в Лунде, Швеция) "Медицинские приложения лазерной спектроскопии".

Много нового материала содержится и в разделе "Лазерная спектроскопия", объединяющем работы, посвященные усовершенствованию и применению уже более или менее традиционных методов.

Радикальное изменение места, значения, оценки оптических методов в естественных и прикладных науках оказывает сильное влияние на образование. Речь идет при этом не только о специальной подготовке физиков-оптиков и инженеров для оптической промышленности. Изменились место и роль физической оптики в общефизическом образовании, в Университетском курсе физики. Общеизвестным принципом построения Университетского курса общей физики является отбор среди многообразия фактов, наглядных физических явлений, достаточно прозрачных и ясных для обсуждения и вместе с тем пригодных для четкой формулировки фундаментальных физических идей и принципов.

Современная лазерная физика, оптическая физика в огромной мере расширяют перечень таких явлений. Сказанное относится прежде всего к основам квантовой физики; сейчас уже наврядли кто-нибудь станет отрицать, что с основными идеями квантовой физики студент должен ознакомиться уже в общем курсе физики. Теперь же их изложение можно сопроводить обсуждением наглядных экспериментов, демонстрирующих квантовое поведение отдельных атомов и молекул, характеризующих динамику квантовых переходов, оптических макроскопических квантовых явлений (к ним относятся генерация сжатых состояний; см. также первую часть этой рецензии), разнообразных эффектов в возбужденных атомах и молекулах, иллюстрирующих существо квазиклассического приближения, перестраивающего мост между квантами и классикой (с этой точки зрения особый интерес представляют лазерные эксперименты по возбуждению волновых пакетов в ридберговских состояниях.) Поистине захватывающим становится на языке оптики изложение основ нелинейной физики, нелинейной волновой динамики. При этом речь идет не только о разъяснении картины простейших нелинейных взаимодействий, но и о тесно

связанных с экспериментом наглядных моделях динамического хаоса и явлений самоорганизации. Многообразны классические и квантовые статистические задачи, составляющие основу современной статистической оптики. Сейчас в ряде университетов в нашей стране и за рубежом созданы лекционные курсы, отражающие новые достижения, широко использующие новые возможности их дидактического использования.

Рецензируемую книгу, написанную известными американскими физиками-теоретиками Миллони и Эберли, можно рекомендовать в качестве одного из учебных пособий для курсов подобного рода. Авторы воспользовались названием "лазеры"; однако книга представляет собой все же скорее введение в лазерную физику, а не просто более или менее стандартное изложение основных положений физики лазеров. Первые десять ее глав (примерно треть книги) посвящены основам классической и квантовой физики излучения света и его взаимодействия с веществом. Здесь авторам удалось, сохраняя разумный объем, рассмотреть основные представления, необходимый математический аппарат (особо следует отметить удачное изложение основ теории взаимодействия двухуровневой квантовой системы с излучением), и что особенно важно — провести конкретное и четкое сопоставление классического и квантового подходов в теории излучения и поглощения света.

Вторая треть книги посвящена физике лазеров.

Заключительная часть содержит изложение основ статистической и нелинейной оптики.

В таком построении, конечно, есть определенная дань традиции; многие относительно новые темы фигурируют в качестве "аддитивного" материала. Гораздо логичнее сейчас выглядит включение представлений о физике нелинейности, нелинейном отклике вещества на световое поле в числе базовых понятий, на которых строится весь курс оптической физики. При таком построении, можно, в частности, связать, как известно, квантовую и классическую картины вынужденного излучения. Ряд предложений можно было бы высказать и относительно более органичного изложения основных понятий статистики. Хотя эти замечания и основываются на опыте преподавания физической оптики в Московском университете, рецензент ясно отдает себе отчет о том, что лучший способ аргументации педагогических идей — написание учебников. Поэтому, завершая эту рецензию, специально отметим сильные стороны книги Миллони и Эберли.

Несомненны педагогические достоинства книги; удачен отбор материала, хорошо подобраны задачи и примеры, тщательно выверено соотношение между прекрасно изложенным теоретическим материалом, качественными моделями, физической дискуссией.

Безусловно, был бы очень полезен русский перевод книги Миллони и Эберли.

С.А. Ахманов

551.511(049.3)

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АТМОСФЕРНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Zeytounian R. *Asymptotic Modeling of Atmospheric Flows*. — Berlin a.o.: Springer-Verlag. 1990. — 396 p.

Физики и гидродинамики, специализирующиеся в области динамической метеорологии, не избалованы большим количеством монографической литературы по данному предмету. Каждая новая книга — своего рода событие и заслуживает внимательного к себе отношения.

Проф. Зейтуниан рассматривает метеорологию как раздел современной гидродинамики. Цель книги — изложить динамическую метеорологию, основываясь на методах теории сингулярных возмущений, почерпнутых из опыта гидродинамических исследований. В определенном смысле представляемая книга — энциклопедия по применению асимптотических методов в метеорологии. В этом ее наибольшая полезность.

Уместно дать более предметное представление о содержании книги. В ней 13 глав. Четыре первые главы — по сути вводные, они дают представление об атмосфере как гидродинамической системе, здесь же введены основные безразмерные критерии подобия и на их основе уравнения гидродинамики и граничные условия сформулированы в безразмерном виде, удобном для применения асимптотических методов. Проанализированы основные типы волн в атмосфере (акустические, внутренние и волны Россби) в связи с известной проблемой фильтрации "ненужных" решений при описаниях крупномасштабных процессов.

В гл. 5 автор берет своеобразный "тайм-аут", излагая концепцию книги и ее конечную цель — "асимптотизировать" (по его выражению) динамическую метеорологию. Здесь же изложены идеи двух асимптотических методов, которые далее систематически применяются в книге: метода сращиваемых асимптотических разложений и метода разделения масштабов (на "быстрые" и "медленные" переменные) и иллюстрации их применения (гл. 6). Последующие главы, несущие основную смысловую нагрузку, делятся на главы, посвященные гидродинамическим приближениям, используемым в динамической метеорологии (гл. 7 — 10), и главы, посвященные