535(049.3)

ОПТИЧЕСКАЯ БИСТАБИЛЬНОСТЬ: СВЕТ УПРАВЛЯЕТ СВЕТОМ

Gibbs H. Optical Bistability: Controlling Light with Light.— New York: Academic Press, 1985.—471 p.—(Academic Press Series of Monographs: Quantum Electronics — Principles and Applications.

Рецензируемая книга посвящена бурно развивающемуся в последние годы разделу нелинейной оптики и прикладной квантовой электроники — самовоздействиям и взаимодействиям световых волн в пассивных нелинейных системах с обратной связью. Как и в нелинейных системах с сосредоточенными постоянными (например, в нелинейном осцилляторе, собственная частота которого зависит от амплитуды колебаний; осцилляторе, описываемом уравнением Дуффинга), в распределенной оптической нелинейной среде обратная связь приводит к возникновению мультистабильности, неустойчивостей и хаоса. Однако в оптике явления, обусловленные обратной связью, гораздо более многообразны: здесь обратная связь осуществляется для полей, а не для одномерных функций времени. Поэтому возникают новые нелинейные эффекты — обусловленная пространственной модуляцией пучка поперечная оптическая бистабильность, поляризационная бистабильность и мультистабильность, поляризационный хаос.

Многообразны в оптике и схемы обратной связи — наряду с простейшим вариантом, где обратная связь возникает за счет отражения от зеркал резонатора Фабри — Перо, все большее значение приобретают системы с распределенной обратной связью (встречные волны непрерывно взаимодействуют во многих сечениях нелинейной среды). Удобными модельными системами оказались оптоэлектронные гибридные системы, схемы, где обратная связь осуществляется за счет электрического управления параметрами оптической среды.

Исследование оптической бистабильности, мультистабильности, хаоса или «оптической турбулентности» в таких системах стало одним из интереснейших разделов современной нелинейной оптики. Вместе с тем быстрый прогресс в технологии нелинейных материалов (и прежде всего в создании многослойных полупроводниковых структур — сверхрешеток с квантовыми ямами) привел к тому, что оптические бистабильные устройства приобрели и несомненное практическое значение. На основе полупроводниковых нелинейных резонаторов созданы оптические триггеры с быстродействием $\sim 10^{-12}$ с и энергией переключающего сигнала $\sim 10^{-12}$ Дж. Последнее, наряду с успехами в разработке волоконных световодов и реализацией устойчивых нелинейных режимов распространения в них пикосекундных и фемтосекундных лазерных импульсов (формировании оптических солитонов), несомненно, можно рассматривать как крупный шаг на пути создания нового класса компьютеров — сверхбыстродействующих оптических компьютеров.

В рецензируемой книге, написанной профессором Аризонского университета (США) Х. Гиббсом, дано детальное и ясное изложение современного состояния физических и прикладных аспектов оптической бистабильности. В книге много оригинального материала; большую роль здесь сыграло то обстоятельство, что на протяжении поеледнего десятилетия работы Х. Гиббса и его коллег неизменно находились на переднем фронте исследований по физике оптической бистабильности и ее приложениям для обработки информации.

В предисловии автор называет свою книгу research book — этот, может быть еще не слишком широко распространенный, термин очень точно отражает динамичный стиль, характер изложения теоретических и экспериментальных данных. Автор начинает с общего введения, в котором значительное внимание уделено последним достижениям в разработке оптических логических элементов. Дан краткий очерк истории работ по оптической бистабильности. Отмечены сделанные впервые в СССР Лисицыным и Чеботаевым в 1968 г. эксперименты по оптическому гистерезису и бистабильности в газовом лазере с нелинейно-поглощающей ячейкой.

Главный же акцент сделан на оптической бистабильности в пассивных системах. Впервые она наблюдалась Мак-Коллом, Гиббсом, Черчиллем и Венкатесаном в 1974 г. в резонаторе Фабри — Перо, заполненном парами натрия. С тех пор в этой области опубликовано более тысячи работ; тщатель-

но подобранный их перечень (с полными названиями) и составляет библиографическую основу рецензируемой книги *).

Чтобы дать теперь более конкретное представление о книге Х. Гиббса (а заодно и о диапазоне физических и прикладных проблем, объединяемых общим названием «оптическая бистабильность»), ниже приводится ее оглавление с краткими комментариями.

— 2. *Стационарные модели оптической бистабильности,*

Последовательное и весьма обстоятельное изложение теоретических основ. Автор начинает с подробного разбора нелинейного отклика кольцевого оптического резонатора, заполненного двухуровневыми атомами. Выделены случаи абсорбционной (работает нелинейное поглощение — мнимая часть нелинейной восприимчивости) и дисперсионной (обусловленной действительной частью нелинейной восприимчивости, нелинейной добавкой к фазовой скорости) бистабильности. Подробно обсуждаются различные методы описания; наряду с полной теорией, базирующейся на совместном решении уравнений Максвелла и уравнений Блоха, излагаются простые модели, описаны графические методы расчета режимов нелинейных резонаторов и т. п. Специальный параграф посвящен «поперечной» бистабильности в ограниченных пучках.

— 3. *Эксперименты по наблюдению оптической бистабильности.*

Глава содержит практически исчерпывающую сводку данных по оптической бистабильности в оптических резонаторах с различными нелинейными средами — атомными парами, жидкими кристаллами, полупроводниками. Особенно детально обсуждаются результаты работ, выполненных с тонкими оптическими резонаторами, в которых используются сильные экситонные нелинейности полупроводниковых сверхрешеток из арсенида галлия. В таких резонаторах оптическую бистабильность при комнатной температуре удается наблюдать при уровне мощности $\sim 10^{-2}$ Вт. Надо сказать, что круг нелинейных оптических систем, в которых наблюдается бистабильность, быстро расширяется.

Приведены данные об оптической бистабильности, возникающей в схемах обращения волнового фронта, на границах раздела, в оптических волноводах. Принципиальный интерес представляет оптическая бистабильность, обусловленная сильным локальным нелинейным откликом отдельного атома или молекулы, когда необходимая обратная связь возникает в каждом элементарном осцилляторе среды,— «беззеркальная» или «внутренняя» (intrinsic) бистабильность.

В терминах физики воздействия мощного излучения на вещество речь идет, очевидно, о лазерно-индуцированных фазовых переходах, не связанных с изменением температуры. Сильный локальный нелинейный отклик качественно изменяет и волновую картину распространения света в нелинейной среде.

Возможности экспериментального наблюдения этих интересных явлений привлекают в последнее время внимание многих исследовательских групп.

— 4. *Бистабильность в гибридных системах.*

Гибридная система — это оптоэлектронная схема, состоящая из оптического резонатора с помещенным внутрь электрооптическим кристаллом и электрической цепи обратной связи. При соответствующем подборе параметров в такой системе возникает бистабильность. На основе нелинейных транспарантов созданы и гибридные системы с двумерной обратной связан).

---

*) Библиография систематизирована по авторам и по годам. Сейчас все реже приходится встречаться с таким способом представления цитируемой литературы; он считается неэкономным. Насколько же, однако, более живую и предметную картину развития науки дает такое цитирование, в сравнении с сухими ссылками на номера «слепых» (без названий) библиографических описаний!

Начиная с 1977 г. выполнены многочисленные эксперименты по наблюдению бистабильности, мультистабильности и оптической турбулентности в гибридных системах. Хотя достигаемые здесь скорости переключения обычно невелики, гибридные системы очень удобны для изучения этого нового класса нелинейных оптический явлений.

—5. *Оптическое переключение*; *свет управляет светом*.

Именно с этими явлениями связано в первую очередь прикладное значение оптической бистабильности. Главный акцент в гл. 5 сделан на анализе различных схем управления характеристиками нелинейного оптического резонатора внешним оптическим сигналом. Изложена теория нестационарных явлений в нелинейном резонаторе, описаны разнообразные схемы оптических триггеров, транзисторов и т. п.

—6. *Нестабильности*; *нестационарные явления при немодулированном входном сигнале*.

Нестабильности, стохастическое поведение динамических систем, интенсивно изучаемые сейчас в различных разделах физики, ярко и своеобразно проявляются в нелинейной оптике.

Гл. 6 представляет собой, по существу, один из первых в мировой литературе монографических обзоров на эту тему. Красивым примером оптической нестабильности являются так называемые регенеративные пульсации интенсивности лазерного излучения, проходящего через резонатор Фабри — Перо, заполненный средой с конкурирующими механизмами оптической нелинейности. Накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал, демонстрирующий закономерности перехода к хаосу в нелинейных оптических резонаторах и гибридных системах.

—7. *На пути к созданию практических устройств*.

В этой главе результаты исследований оптической бистабильности рассматриваются под углом зрения разработки элементов оптических процессоров с *параллельной обработкой информации*. Отмечается, что по быстродействию оптические логические элементы уже сейчас находятся вне конкуренции; достигнуты времена переключения $\sim 10^{-12}$ с, предельные значения составляют $\sim 10^{-14}$ с. Быстрый прогресс наблюдается в снижении энергии, затрачиваемой на переключение. Приведена весьма обстоятельная сводка данных о кубических нелинейных восприимчивостях полупроводниковых материалов, характеризующая имеющиеся здесь возможности.

Успехи в разработке эффективных нелинейных материалов, разнообразных систем управления «света светом» позволяют по-новому взглянуть на перспективы оптических компьютеров. При их оценке следует иметь в виду, что речь идет не только о новой элементной базе, но и о новой архитектуре компьютеров; для оптики параллельная обработка информации совершенна естественна.

В сказанном и заключается одна из главных причин быстро возрастающего интереса к оптической бистабильности и ее приложениям.

Несомненно, рецензируемая книга будет с большим интересом встречена специалистами и лицами, приступающими к работе в этой перспективной области нелинейной оптики.

С. А. Ахманов