

Атомный лазер

А. СЕМЕНОВ

АМЕРИКАНСКИЕ физики из Массачусеттского технологического института создали первый в мире атомный лазер, который создает пучки атомов, а не света.

Слово «лазер», вошедшее в обиход тридцать с лишним лет назад, означает устройство, выдающее поток квантов света — фотонов, причем все они абсолютно одинаковые и «шагают в ногу». Для таких фотонов-близнецов есть специальный научный термин — когерентные фотоны. Они существенно отличаются от тех, что летят от Солнца или обычной лампочки накаливания. Например, возможно создать очень интенсивные пучки лазерных фотонов. Теперь физикам удалось существенно продвинуться на лазерном фронте: они создали аналогичный пучок атомов. Атомный лазер может применяться в самых разных областях — от сверхточных атомных часов до микросхем.

Чтобы сделать такой лазер, группе физиков под руководством Вольфганга Кеттерле пришлось создать новое состояние вещества — конденсат Бозе — Эйнштейна (существование его предсказали в 1920 году А.Эйнштейн и

Ш.Бозе). В соответствии с квантовой теорией, у любой частицы есть квантовая длина волны. Чем энергичнее частица, тем меньше эта длина. Гипотезу о существовании длины волны у элементарных частиц впервые высказал в 1924 году французский физик Луи де Бройль. В своей диссертации он предложил столь знаменитую теперь формулу, где написал, что длина волны любой частицы обратно пропорциональна ее импульсу: $\lambda = h/(mv)$, где h — постоянная Планка. Позднее его идея была многократно подтверждена различными экспериментами.

Физики из группы Кеттерле захватывали атомы натрия в специальную магнитную ловушку (у каждого атома есть магнитный момент, поэтому на него можно воздействовать магнитным полем) и начинали их охлаждать. Температура газа атомов пропорциональна средней кинетической энергии поступательного движения каждого атома: $mv^2/2 = 3kT/2$. Чем меньше температура, тем меньше и скорость каждого атома. А из формулы де Бройля следует, что с уменьшением скорости частицы растет ее длина волны. Когда температура понижается до нескольких миллионов долей градуса выше абсолютного нуля, квантово-механические волны атомов становятся столь большими, что они перекрываются, и вся группа атомов начинает существовать как единое целое. Впервые подобный конденсат был получен в 1995 году в Институте стандартов и технологии университета Колорадо. Группа Кеттерле получила его летом 1996 года, но в гораздо большем количестве — в ловушке существовало более миллиона атомов. Однако тогда не было доказано, что атомы конденсата образовывали одну когерентную волну.

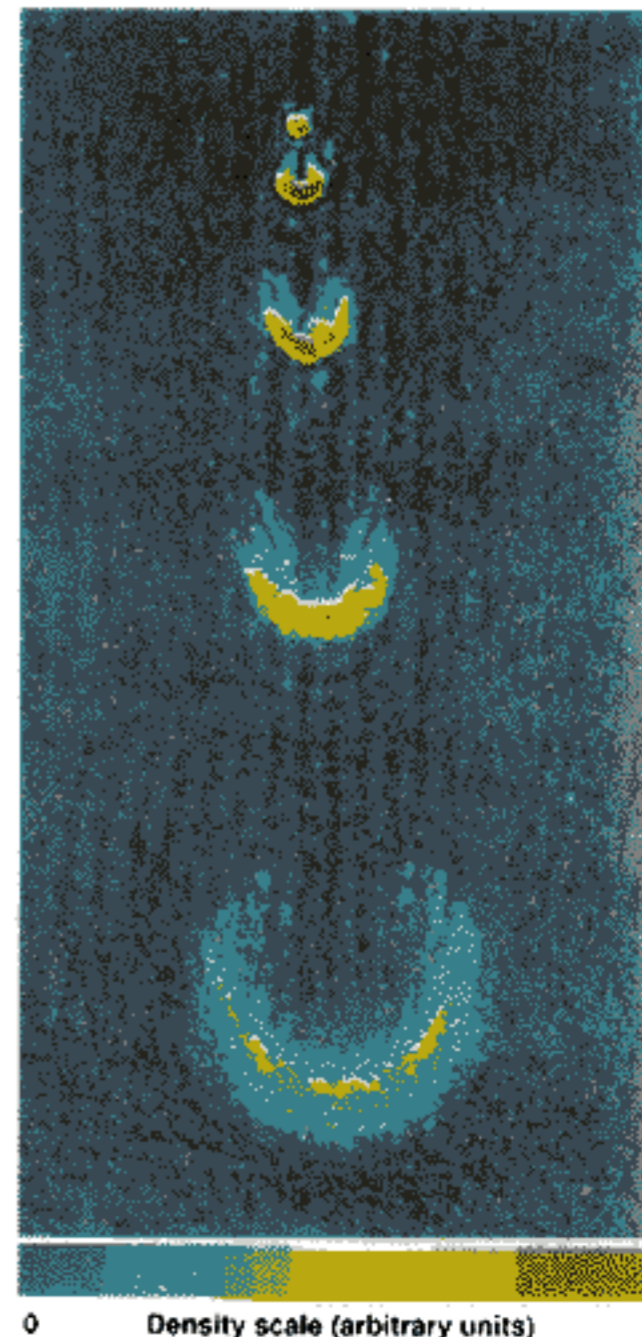
Конденсат — рабочая среда для атомного лазера. Следующим шагом было извлечение атомов из ловушки. По словам Кеттерле, это было делом довольно несложным, гораздо сложнее оказалось доказать, что создан аналог лазера — когерентный пучок атомов. Для этого пришлось осуществить интерференцию атомных пучков.

Интерференция — это физическое явление, при котором в результате сложения двух (или нескольких) когерен-

тных волн возникает череда максимумов и минимумов интенсивности. Пусть разность хода этих волн до некоторой точки есть $\delta = r_1 - r_2$, где r_1 и r_2 — расстояния, которые проходят волны до встречи. Если эта разность хода равна целому числу длин волн: $\delta = k\lambda$, где $k = 0, 1, 2, \dots$, то мы получаем максимум — волны складываются и усиливают друг друга. Если же разность хода равна нечетному числу полуволн: $\delta = (2k+1)\lambda/2$, то мы получаем минимум — волны ослабляют друг друга.

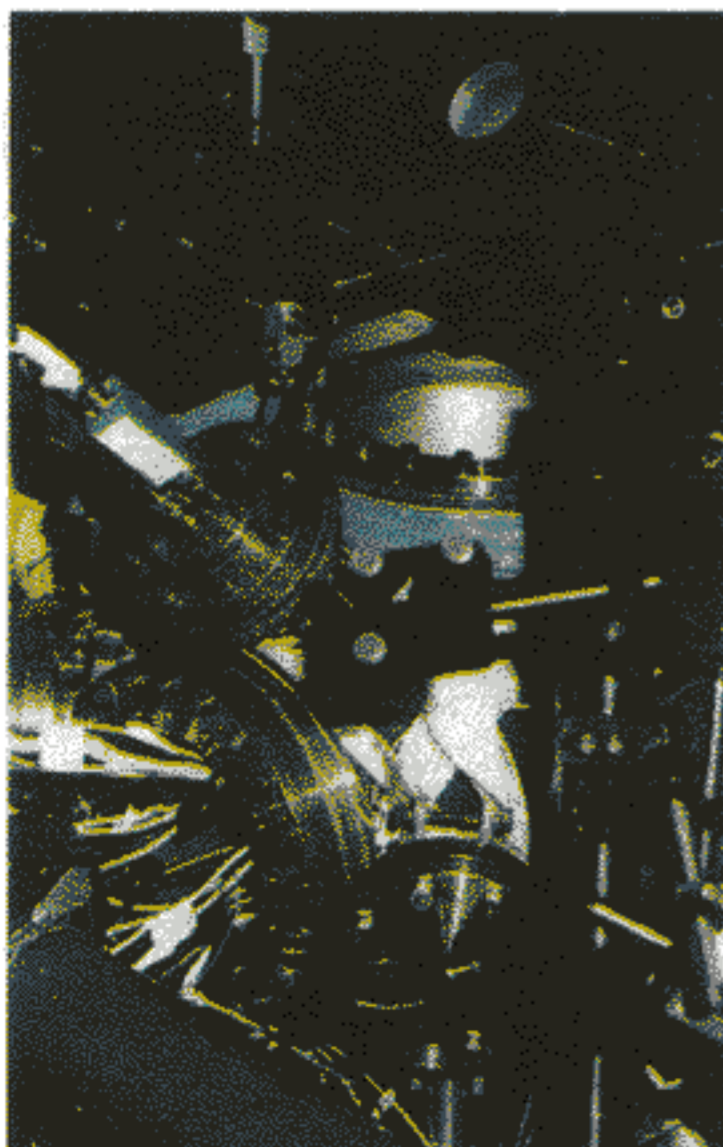
При помощи лазерного луча атомы в ловушке были разделены на две порции. Потом магнитное поле ловушки отключили, и атомы стали падать вниз под действием собственной тяжести. При падении оба пучка атомов расширялись и в конце концов стали перекрывать. Направив на область перекрытия свет, исследователи увидели классическую картину интерференции — чередование светлых и темных полос, демонстрирующее, насколько далеки законы квантовой физики от привычных нам обыденных примеров и восприятий («атом плюс атом равняется ничто»). Длина волны атомов конденсата оказалось равной тридцати микронам, что в миллионы раз больше, чем

The atom laser at 200 Hz repetition rate



(field of view $2.5 \times 5.0 \text{ mm}^2$)

Так выглядят порции атомов, вылетающие из лазера



Экспериментальная установка, на которой были получены атомные пучки

имеют атомы при комнатной температуре.

Доказав, что атомные волны действительно когерентны и могут складываться как обычные волны света, экспериментаторы стали выпускать их из ловушки порциями. Пока у них получается восемь порций атомов, после чего лазер приходится перезаряжать. Чтобы сделать его непрерывно работающим и мощным, надо еще работать и работать. Первое, что собираются предпринять экспериментаторы, — при помощи специальных «атомных отражателей» посылать пучки атомов не только вниз (под действием силы тяжести), но и в других направлениях. Второе — побороть расплывание пучков. И третье — сделать пучок атомов непрерывным.

Заметим, что есть принципиальное различие между световым и атомным лазерами. Фотоны можно воссоздать в

процессе работы лазера, а атомы нет, поэтому количество атомов в лазере не увеличивается. Если вы выпускаете пучок атомов, то необходимо возобновлять их запасы. Кроме того, атомы взаимодействуют друг с другом, и пучок их будет расширяться от этого взаимодействия. И наконец, на атомы действует притяжение Земли, и если пустить пучок горизонтально, то он будет попросту отклоняться вниз.

Пока рано говорить о возможных применениях атомного лазера. А пометать хочется. Уже сейчас ясно, что наличие когерентного пучка атомов поможет физикам измерять физические константы с большой точностью, повысит точность атомных часов. Станет возможным пристальное исследование самих атомов и их свойств, а кроме того — вращения Земли и наиболее фундаментальных положений теории гравитации и общей теории относи-

тельности. Атомный лазер открывает большие возможности для нанотехнологии (под нанотехнологией обычно понимают процессы, идущие на масштабах в несколько атомов, потому что размеры самого атома примерно десятая часть нанометра). Так вот, при помощи атомного лазера можно будет сажать атомы на поверхность вещества с невиданной точностью, создавая сложные структуры. Это, конечно, фантазии, пока лазер работает медленно, но в принципе можно думать и о фабричном производстве при помощи атомного лазера. Тут, правда, есть еще одна сложность: атомный лазер, в отличие от светового, может работать лишь в абсолютном вакууме.

Но все равно, никакие «но» не могут снизить восторгов по поводу открытия нового физического явления.