

# Тема1.

## ВВЕДЕНИЕ. ИСХОДНЫЕ КОНЦЕПЦИИ

План:

1. Предмет курса и его задачи.
2. История возникновения квантовой электроники. (вопрос на самостоятельное изучение)

---

3. Спонтанное и вынужденное излучение, поглощение.
4. Принцип работы лазера.
5. Схемы накачки.
6. Классификация лазеров.
7. Материалы, применяемые в качестве активных сред в лазерах.
8. Свойства лазерного излучения.
9. Применение лазеров. (вопрос на самостоятельное изучение)

## 2. История возникновения квантовой электроники.

Одним из выдающихся открытий предыдущего столетия является создание принципиально нового метода усиления и генерации электромагнитного излучения на основе индуцированных переходов квантовой системы. Это направление в физике называется *квантовой электроникой*.

В нее, в частности, входят исследования квантовых генераторов, усилителей и их применения. Как и любое открытие, создание квантовых генераторов было подготовлено всем предыдущим развитием физики. Основы нового направления были заложены при разработке квантовой теории излучения, спектроскопии, оптики и радиотехники.

*Впервые представление о вынужденном излучении было выдвинуто Эйнштейном в 1916 г. при выводе формулы Планка с учетом постулатов Бора.*

*Строгое же обоснование существования вынужденного излучения и наличия когерентности было дано Дираком в 1930 г.*

*Условие инверсного состояния населенность и степень вырождения верхнего и нижнего уровней соответственно, впервые было высказано Ладенбургом и Конферманом (1928 г.), проводившими экспериментальные исследования аномальной дисперсии на неоне. Они же предположили, что реализация инверсного состояния возможна с помощью резонансного возбуждения атомов, что и делается в настоящее время.*

*В 1940 г. к такому же выводу приходит В. А. Фабрикант, изучая уже не дисперсию, а поглощение света. За эти исследования В. А. Фабриканту в 1955 г. была присуждена золотая медаль им. С. И. Вавилова.*

*В 1945 г. советским физиком В.А. Фабрикантом и его сотрудниками была впервые высказана идея возможности использования неравновесных квантовых систем.*

В 1954 г. академиками Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым создан действующий образец молекулярного генератора – мазера, разработаны принципы использования в лазерах трехуровневых квантовых систем.

В 1958г. Ч. Таунс и А. Шавлов разработали принцип работы лазера. А. М. Прохоров, А. Шавлов и Р. Дикке предложили резонатор открытого типа, широко применяемый в современных лазерах.

В 1960г. в США Мейман запустил первый лазер на рубине. Создан газовый (гелий-неоновый) лазер (А. Джаван, У. Р. Беннет, Д. Эрриот).

В 1962 – Создан полупроводниковый лазер (Б. Лэкс, У. Думке, М. Нэтен и др.), предложенный в 1959 советскими учеными.

- Создан лазер с модулированной добротностью, дающий гигантские импульсы света (Ф. Мак-Кланг. Р. Хеллуорт).

В 1964 – Создан лазер на углекислом газе – молекулярный лазер (К. Пател).

– Создан ионный лазер (У. Бриджес и др.).

В 1965 – Создан химический лазер (Дж. Каспер, Дж. Пиментаи).

– Созданы параметрические генераторы света, перестраиваемые по частоте (С. А. Ахманов, Р. В. Хохлов и др.).

В 1966 – А. М. Прохоров построил новый тип мощного газового лазера – газодинамический лазер.

– Создан лазер ультракоротких импульсов света длительностью  $10^{-12}$  секунды (А. Де-Мариа, Д. Стетсер, Г. Хейнау).

– Создание лазера на красителях (П. Сорокин, Дж. Ланкард).

В 1964г. присуждена нобелевская премия по физике академикам Н.Г. Басову и А.М. Прохорову и американскому ученому Ч.Таунсу.



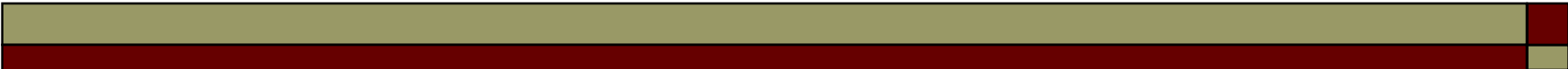
**Н.Г.Басов**



**А.М.Прохоров**

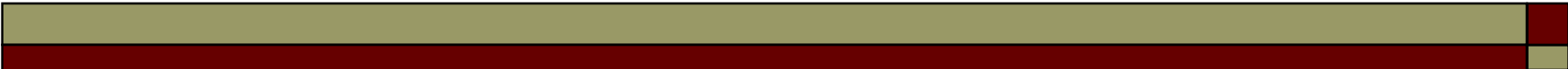


**Ч.Х.Таунс**



Перспективы развития квантовой электроники обусловили лавинообразное нарастание информации по изучению и реализации свойств квантовых генераторов: только в 1956 г. было опубликовано более 2000 статей о квантовых генераторах оптического диапазона, а в течение семидесяти лет в этой области были проведены обширные теоретические и экспериментальные исследования. Таким образом квантовая электроника возникшая в середине 50-х годов 20 века в настоящее время бурно развивается.

Это область науки и техники, предметом которой является исследование и применение квантовых явлений для генерации, усиления и преобразования когерентных электромагнитных волн с последующим их использованием. Уже созданы квантовые приборы, позволяющие получить излучение в радиодиапазоне, а так же в видимой части спектра, вплоть до ультрафиолетовой области. Т.о. квантовые приборы дают возможность использовать для передачи информации чрезвычайно короткие волны. С уменьшением длины волны расширяется полоса пропускания линии связи, благодаря чему можно передать большое количество информации.



Высокие темпы развития квантовой электроники привели к появлению за последние несколько лет новых типов лазеров, к значительному усовершенствованию уже существующих и к новым многочисленным применениям в различных областях науки.

В настоящее время квантовая электроника — одно из важнейших направлений научно-технического прогресса. Она продолжает бурно развиваться, привлекая к себе внимание физиков, химиков, биофизиков, инженеров самых различных специальностей.

## 9. Применение лазеров.

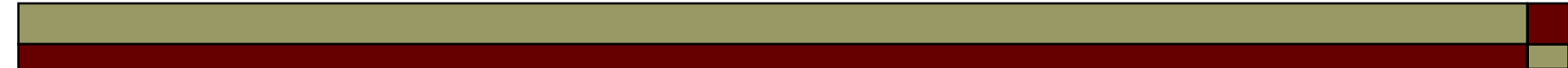
### *1. Применение в физике и химии*

Изобретение и последующие разработки лазеров опирались на фундаментальные исследования в области физики и химии.

В физике использование лазеров, с одной стороны, привело к открытию совершенно новых областей исследования, а с другой— в огромной степени способствовало развитию некоторых уже существующих.

Особенно интересным примером является нелинейная оптика. Высокая интенсивность лазерного пучка позволяет наблюдать явления, обусловленные нелинейным откликом среды. В частности, такие процессы, как генерация гармоник (соответствующие вещества при падении на них лазерного пучка с частотой  $\nu$  могут излучать новый когерентный пучок с частотой  $2\nu$ ,  $3\nu$  и т.д.) и вынужденное рассеяние (падающий лазерный пучок с частотой  $\nu$ , взаимодействуя с имеющимся в среде возбуждением с частотой  $\nu_2$  (акустич. волной) приводит к возникновению когерентного излучения с частотой  $\nu - \nu_2$ ) применяются для получения интенсивных когерентных пучков с частотами, отличными от частоты падающего пучка.





В физике и химии важную роль играют измерения характеристик различных сред после того, как они подверглись воздействию коротких световых импульсов. Эти измерения требуют высокого разрешения во времени. Применение лазеров существенно увеличивает возможности таких измерений. Если обычные источники света позволяют получать импульсы длительностью до  $\sim 0,1$  нс, то современные лазеры могут излучать импульсы до  $0,1$  пс. Благодаря использованию таких импульсов можно выполнять измерения быстропротекающих процессов с высоким разрешением во времени, что приводит к новым возможностям для исследования широкого круга явлений. Поскольку в физике, химии и биологии многие важные процессы протекают в пикосекундном диапазоне, то применение лазеров приводит к новым достижениям.

Еще одна область исследований – лазерная спектроскопия, позволяющая проводить спектроскопические измерения с разрешающей способностью, которая на много порядков превышает разрешение, достигаемое с помощью обычных спектроскопических методов.

В химии лазеры применяются как в целях диагностики, так и для получения необратимых химических изменений. Методы резонансного комбинационного рассеяния и когерентного антистоксового рассеяния дают

важную информацию о структуре и свойствах многоатомных молекул, концентрации различных молекулярных соединений ( исследование процессов сгорания в пламени и плазмы).

Наиболее интересным химическим применением лазера является фотохимия – разделение изотопов.

## *2. Применение в биологии и медицине*

В биологии и медицине лазеры получают все большее распространение. Здесь они опять-таки могут использоваться либо для целей диагностики, либо для получения необратимых изменений в биомолекулах, клетках или тканях (лазерная фотобиология и лазерная хирургия).

### Диагностика

- 1) флуоресценция, вызванная действием сверхкоротких лазерных импульсов в молекулах ДНК, в комплексах пигмент-ДНК и в пигментах, участвующих в фотосинтезе;
- 2) резонансное комбинационное рассеяние для изучения биомолекул;
- 3) фотокорреляционная спектроскопия для получения информации о структуре и степени агрегации различных биомолекул;

## Необратимые изменения

Лазеры используются для создания необратимых изменений в биомолекуле или части клетки. Основная цель этого метода состоит в том, чтобы выяснить, как влияет на функционирование клетки ее повреждение на некотором конкретном участке, вызванное лазерным излучением.

В медицине лазеры используются:

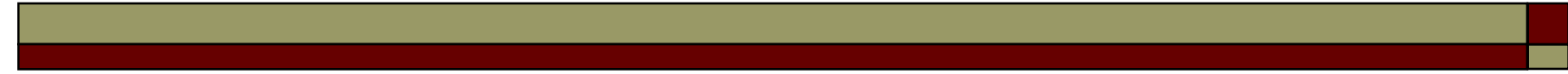
- 1) лазерная хирургия;
- 2) в офтальмологии;
- 3) лазерная флуоресцентная бронхоскопия.

### *3. Обработка материалов*

Благодаря высокой интенсивности, достигаемой в фокальном пятне лазерного пучка большой мощности, лазеры нашли многочисленные применения в технологии и при обработке материалов, например при сварке, резке, сверлении, поверхностной обработке и легировании.

### *4. Оптическая связь*

Возможность использования лазерного пучка для связи через атмосферу вызвала сначала очень большой энтузиазм, поскольку лазеры в принципе имеют два важных преимущества.



Во-первых, это широкая полоса частот, а количество информации, передаваемой данной несущей волной, пропорционально ширине ее полосы частот. При переходе от микроволнового к оптическому диапазону частота несущей увеличивается приблизительно в  $10^4$  раз, что позволяет использовать значительно более широкую полосу частот. Во-вторых, это малая длина волны излучения.

Однако, оба этих преимущества сводятся к нулю, поскольку в условиях плохой видимости свет быстро затухает в атмосфере. Поэтому применение лазеров в открытой (без использований волновода) связи ограничилось двумя случаями. Одним из них является осуществление космической связи между двумя спутниками или между спутником и наземной станцией, расположенной в особо благоприятных климатических условиях.

### *5. Измерения и контроль*

Такие свойства лазеров, как направленность, яркость и монохроматичность, сделали их весьма полезными для множества методов измерения и контроля в промышленности при управлении станками и в гражданском строительстве: юстировка; выравнивание конструкций; измерения расстояний; для измерения скорости жидкостей и твердых тел; измерения концентрации различных загрязнений в атмосфере и др.

## *6. Термоядерный синтез*

Главная проблема при производстве энергии путем термоядерного синтеза заключается в том, чтобы получить и затем удержать плазму, состоящую из тяжелых изотопов водорода. Лазеры позволяют осуществлять инерциальное удержание плазмы, поскольку лазерное излучение может обеспечить быстрый разогрев плазмы. Лазер, с помощью которого можно осуществить управляемый лазерный термоядерный синтез, должен иметь длину волны между 250 и 2000 нм, энергию импульса  $(1—3) \cdot 10^6$  Дж, длительность импульса  $(5—10) \cdot 10^{-9}$  с и, следовательно, пиковую мощность  $>200$  ТВт.

## *7. Обработка и запись информации*

### *8. Применения в военных целях*

- 1) лазерные дальномеры;
  - 2) лазерные целеуказатели;
- Оружие направляемой энергии.

## *9. Голография*

В научных приложениях используется голографический метод, который позволяет записывать и измерять напряжения и вибрации трехмерных объектов – голографическая интерферометрия (плюс дефектоскопия и составление различных контурных карт различных объектов).