

### Литература

1. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Учебник для вузов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 720 с.
2. Houston R., Cathcart G. Combustion and Emission Characteristics of Orbital's Combustion Process Applied to Multi-Cylinder Automotive DI 4-Stroke Engines// SAE Paper 980153. - 1998. - P. 34-48.
3. Фомин В.М., Каменев В.Ф., Хрипач Н.А. и др. Оценка методов и способов получения водородосодержащего топлива для питания силовых установок АТС // Сборник научных трудов. Выпуск 239. М.: Изд-во ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2008. с. 38-71.
4. Фомин В.М., Каменев В.Ф. Бортовое генерирование водородосодержащего газа для транспортных двигателей. // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 2(32). с. 41-47.

### **Использование лазерного света в автомобильной светотехнике**

доц. Хортов В.П., Гребенчиков А.П., д.ф.-м.н. проф. Скворцов А.А.

*Университет машиностроения (МАМИ),*

(495) 223-05-37, [khortov045@mail.ru](mailto:khortov045@mail.ru), [grebenchikov91@mail.ru](mailto:grebenchikov91@mail.ru), [skvortsovaa2009@yandex.ru](mailto:skvortsovaa2009@yandex.ru)

*Аннотация.* Рассмотрена возможность использования лазеров в системе освещения автотранспортных средств.

*Ключевые слова:* лазер, источник света, автомобильные осветительные приборы, автотракторное электрооборудование

Автомобильные светотехнические приборы прошли долгий путь развития от газовых источников света до светодиодных ламп. Вслед за светодиодными лампами пришла идея использования лазеров в светотехнике, поскольку современные технологии их изготовления позволяют сделать это [1].

Физической основой работы лазера служит квантовомеханическое явление вынужденного (индуцированного) излучения как в непрерывном, так импульсном режиме [2].

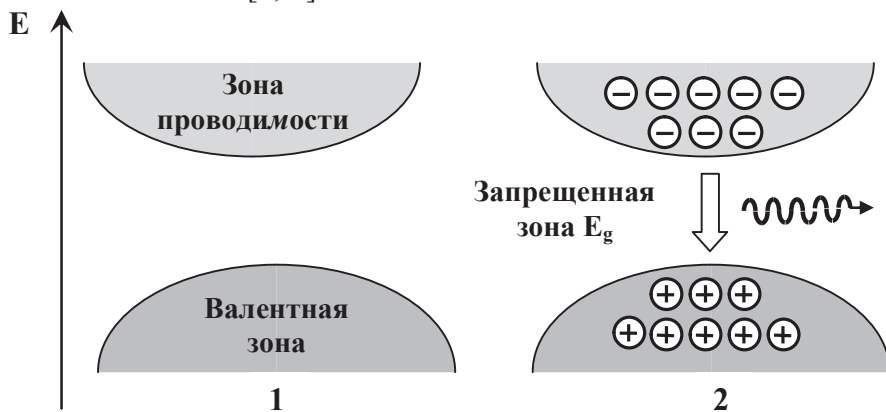
Это явление А. Эйнштейн предсказал еще в 1916 г., а в 1936 г. подтвердил русский физик В.А. Фабрикант, который, анализируя спектр газового разряда, пришел к выводу: свет можно усилить, стимулируя излучение, и сформулировал необходимые для этого условия. Затем в 1951 г. вместе с М.М. Вудынским (тогда заведующий кафедрой физики МАМИ) и Ф.А. Бутаевой впервые экспериментально подтвердил свои предположения. Тогда же была подана заявка на изобретение, сформулированная следующим образом: «предлагается способ усиления электромагнитного излучения, основанный на использовании явления индуцированного излучения». Потом во многом на этой основе Н.Г. Басов и А.М. Прохоров (сотрудников Физического института АН СССР), а также Ч. Таунс (США) в 1960–1962 гг. разработали лазер на рубине, газовый лазер и, наконец, лазер на полупроводниковых элементах. За что все трое в 1964 г. были отмечены Нобелевской премией.

Именно полупроводниковые лазеры идеально подходят для автомобильной техники, так как имеют очень маленькие размеры и требуют для питания, в отличие от газовых и твердотельных лазеров, низкое напряжение.

Есть у них и другие достоинства, которые вытекают из принципа их работы. Согласно зонной теории [3], электроны в полупроводнике могут занимать две энергетические зоны (рисунок 1): нижнюю – валентную и верхнюю – зону проводимости. В чистом (ненагретом) полупроводнике все электроны связаны и занимают энергетический уровень, расположенный в пределах валентной зоны.

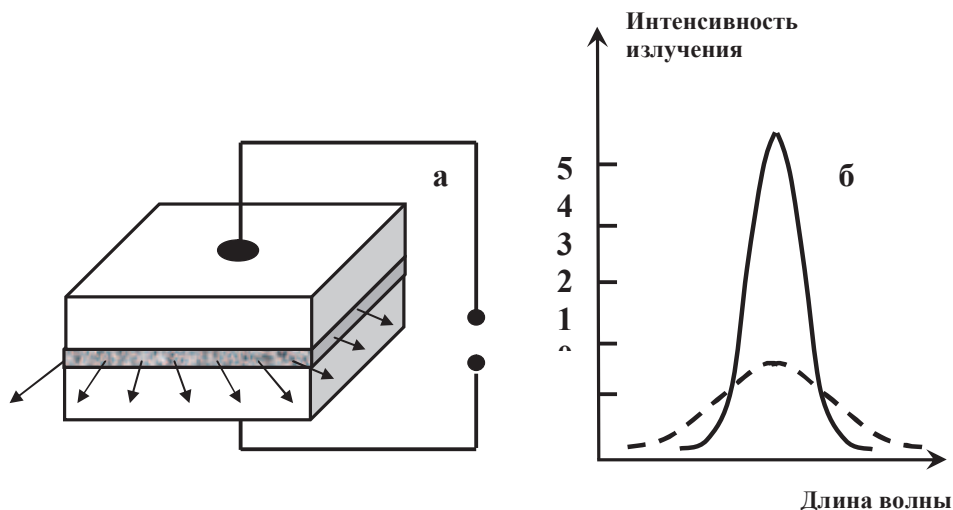
Если же на него подействовать электрическим током или световым импульсом, то некоторая часть электронов перейдет в зону проводимости. В результате такого перехода в валентной зоне окажутся «дырки», которые играют роль положительного заряда, участвующе-

го в процессе электропроводности. Возможен и обратный переход электронов (излучательный или безизлучательный). При этом в некоторых полупроводниках (например GaAs, GaN, CdS и т.д.) в результате перехода электронов из зоны проводимости в валентную и соединения их с «дырками» происходит излучение фотонов (излучательная рекомбинация носителей заряда). Обеспечить обратный переход электронов можно при помощи ударной ионизации, оптического излучения электрического тока и т.д.. Последний метод особенно интересен: он позволяет получать излучения в диапазоне от инфракрасной до ультрафиолетовой области при КПД, равном 60 % и более [2, 4].



**Рисунок 1. Схема энергетических уровней полупроводникового лазера: излучательный переход «зона–зона»**

Схема полупроводникового лазера приведена на рисунке 2,а. Изготавливают его следующим образом.



**Рисунок 2. Схема полупроводникового лазера (а) и его спектральная характеристика (б): 1 – начальный этап; 2 – стационарный режим**

Из сплава, состоящего, скажем, из арсенида галлия (GaAs) и донорных примесей (полупроводник *n*-типа) с концентрацией 0,001 %, вырезается образец в форме параллелепипеда (или куба) размерами в несколько сотен микрон. Затем в нем формируются два *p-n*-перехода, для чего на поверхность *p*-области наносится сплав золота с серебром. Поскольку торцы образца выполняют функции зеркал, их тщательно полируют, а его боковые стороны делают плоскопараллельными, чтобы они были резонаторами. Подготовленный образец припаивают к покрытому золотом молибденовому основанию с тем, чтобы обеспечить омический контакт с *p*-областью. Излучение выводится через плоскопараллельные стороны образца, а верхние и нижние стороны являются контактами, к которым прикладывается напряжение.

Работа лазера сводится к следующему (рисунок 2,б). В начальный период, когда сила тока, текущего через *p-n*-переходы, невелика, ширина полосы излучения довольно большая,

и поток света не является узконаправленным: при превышении порогового значения тока излучение имеет форму лепестка, т.е. он становится узконаправленным. Причем необходимая для этого мощность очень мала, а мощность излучаемая, наоборот, получается большой.

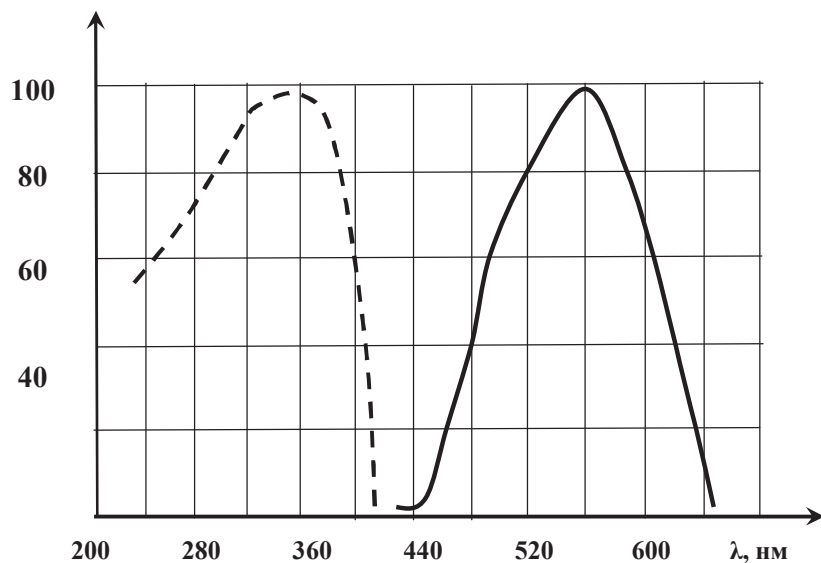
Например первый полупроводниковый лазерный диод, который экспонировался в 1965 г. на Лейпцигской ярмарке, имел кристаллы размером 0,03 мм при мощности излучения в импульсе 10 Вт.

Лазерное излучение (в отличие от теплового) характеризуется такими свойствами: оно узконаправленно (испускаются лишь волны, многократно отраженные от стенок резонатора и не испытавшие сколько-нибудь существенного отклонения от оптической оси); монохромно (выходное излучение является следствием резонансного процесса, связанного с переходом частиц с фиксированного энергетического уровня); когерентно (излучение монохроматично и имеется строго фиксированный сдвиг фаз). У него есть один обобщенный показатель, важный с точки зрения автомобильной фары. Это спектральная яркость – величина, связывающая между собой поток энергии, излучаемой лазером, телесный угол и диапазон длин волн, в котором сосредоточено излучение.

Возьмем, к примеру, солнце. По формуле М. Планка посчитано [5], что с 1 см<sup>2</sup> поверхности солнца излучается 7 кВт мощности. Но эта энергия распределяется в широком (от 0,25 до 1,80 мкм) спектральном диапазоне. В узкой же световой полосе (например на волне 0,532 мкм, соответствующей красному цвету) эта мощность составляет всего лишь 10<sup>-5</sup> Вт·с/см<sup>2</sup>. В то время как выходная мощность самых маломощных лазеров начинается с 10<sup>-3</sup> Вт/мм<sup>2</sup>, что в 10<sup>4</sup> раз больше, чем у солнца в этой полосе излучения. Что касается спектральной яркости, то яркость солнца соответствует температуре 6000 К, а у лазерных источников – 10<sup>18</sup>...10<sup>19</sup> К. То есть лазер как источник света эффективнее солнца.

Однако лазерам присуща одна особенность: у них узкий пучок света, который использовать непосредственно в автомобильных осветительных приборах невозможно. Но в качестве возбuditеля люминофора, расположенного в фокусе осветительного прибора, не только можно, но и нужно. Важно лишь выбрать наиболее эффективный люминофор.

В итоге для первого экспериментального образца лазерной фары автомобиля был взят люминофор ФЛЗ-8, спектры поглощения и излучения которого показаны на рисунке 3. Физико-химические свойства рассматриваемого люминофора позволяют использовать его в автомобильной светотехнике.



**Рисунок 3. Спектр поглощения (1) и спектр излучения (2) люминофора ФЛЗ-8**

При разработке конструкции экспериментальной фары авторы подбирали лазерную головку (длина волны излучения) и тип люминофора, расположение лазерной головки и люминофора, а также электропитание и управление лазером. Полученные в ходе экспериментов

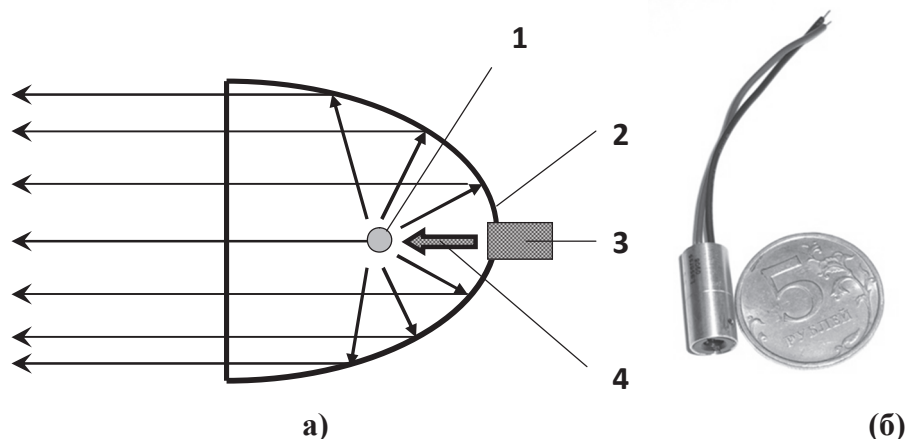
данные дали в итоге довольно полное представление о прообразе лазерной фары.

Так, эксперименты подтвердили: лазерный свет значительно отличается от солнечного и от всех других ранее известных его источников, что позволяет снизить расход энергии на работу автомобильных фар (например по сравнению со светодиодными фарами – более чем в 2 раза). Значит, лазерный свет улучшит топливную экономичность автомобилей. Причем его высокая интенсивность не является угрозой для людей и животных. Потому что он излучается на люминофор, где его энергия преобразуется в белый свет.

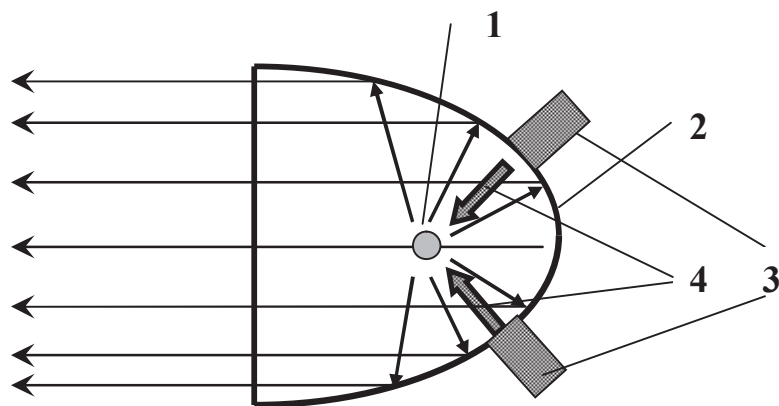
Очень важный вопрос – размеры лазерных диодов. Известно, что они в несколько раз меньше размеров обычных светодиодов. Это, безусловно, открывает кардинально новые возможности для разработчиков автомобильной светотехники.

Экспериментальная лазерная фара была изготовлена на базе обычной четырехугольной автомобильной фары. При этом в фокусе ее отражателя был установлен (рисунок 4) пластмассовый прозрачный шарик 1 диаметром 5 мм, на поверхность которого нанесен люминофор ФЛЗ-8.

На расстоянии 5 см от фокуса размещена лазерная головка 3, излучающая синий свет с длиной волны 405 нм. Напряжение питания устройства составляло 3 В, а потребляемая мощность - 0,05 Вт. Излучение лазера в виде узкого луча попадало на поверхность шарика, покрытого люминофором, и вызывало его люминесценцию в видимом спектральном диапазоне, и поскольку он находился в фокусе отражателя, то получался яркий луч света длиной до 60 м.



**Рисунок 4. Схема экспериментальной фары с одной лазерной головкой (а) и лазерная головка в сравнении с монетой достоинством 5 рублей (б): 1 – шарик с нанесением на него люминофором; 2 – отражатель; 3 – лазерная головка; 4 – луч лазера.**



**Рисунок 5. Схема экспериментальной фары с двумя лазерными головками: 1 – шарик с нанесенным люминофором; 2 – отражатель; 3 – лазерные головки; 4 – луч лазера**

Таким образом, эксперименты доказали: такой источник – вполне реален. Не случайно

ими начинают заниматься и за рубежом. Например фирма БМВ планирует [6] в будущем устанавливать лазерные фары на свои автомобили. Что же касается наших исследований, то здесь намечается проведение широкомасштабных испытаний первых лазерных фар, а также изготовление фары с двумя лазерными головками (рисунок 5), что позволит не только повысить ее мощность, но и более рационально решить вопросы ближнего и дальнего света.

### Литература

1. Алфёров Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии. //УФН. 2002. Т.172. №9.С.1068-1086.
2. Крохин О.Н. Лазер - как источник когерентного света. // УФН. 2011. Т. 181. № 1. с. 3-7.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат. 1985. 324 с.
4. Полупроводниковые инжекционные лазеры. Динамика, модуляция, спектры. Под.ред. У. Тсанга. М.:Радио и связь. 1990. 320 с.
5. Федоров Б.Ф. Лазеры. Устройство и применение. М.: ДОСААФ СССР. 182 с.
6. <http://motor.ru/news/2011/09/01/bmwlaser/>

### **К вопросу определения осевых сил на шкивах клиноременной передачи**

Иванов В.А, Мамаев А.Н., Чепурной С.И.  
*Университет машиностроения*

*Аннотация.* В предлагаемой методике расчета осевых сил на шкивах клиноременной передачи используются уравнения, полученные с учетом основных положений пространственной теории клина.

*Ключевые слова:* клиновой ремень, осевые силы, дуга обхвата, шкив, натяжение ремня

При исследовании механизма передачи окружной силы клиновым ремнем и процесса скольжения ремня в канавках ведущего и ведомого шкивов необходимо учитывать конкретную – клиновую форму ремня. Вместе с тем необходимо учитывать физико-механические характеристики ремня.

Клиновой ремень представляет собой сложноструктурную полимерную композицию, физико-механические свойства которой зависят от большого числа факторов. Кроме того, при работе клиновой ремень испытывает сложное напряженное состояние, поэтому составляющие ремень элементы, отличающиеся между собой упругими и прочностными свойствами, могут занимать различное положение относительно друг друга.

В процессе передачи окружной силы ремень скользит в канавках шкивов передачи как в окружном, так и в радиальном направлении, что приводит к интенсивному износу его рабочих поверхностей. Работоспособность и долговечность ремней всех видов зависит также от свойств корда, структуры наполнителя, обертки, технологии изготовления и целого ряда других факторов.

При свободном изгибе ремня сечение его искажается и боковые поверхности ремня принимают криволинейную форму, что обуславливает, в свою очередь, неравномерное распределение давления по высоте боковой поверхности ремня при его работе на шкивах, приводящее к снижению долговечности ремня.

Основные требования предъявляются к ремням для вариаторов. Так, для достижения высокого диапазона регулирования ремень должен иметь большую ширину, малый угол клина и малую толщину (высоту) для того, чтобы работать на шкивах малых диаметров. То есть вариаторный ремень должен отличаться увеличенным соотношением ширины ремня по его нейтральному слою ( $b_p$ ) к высоте ( $h$ ), уменьшенным углом клина ( $\varphi$ ), а по упругим свойствам – пониженной сопротивляемостью изгибу и высокой поперечной жесткостью.

При решении практических задач, связанных с расчетом клиноременных передач и особенно вариаторов, возникает необходимость в определении осевых сил, действующих на шкивах передачи.