

Лекция 15

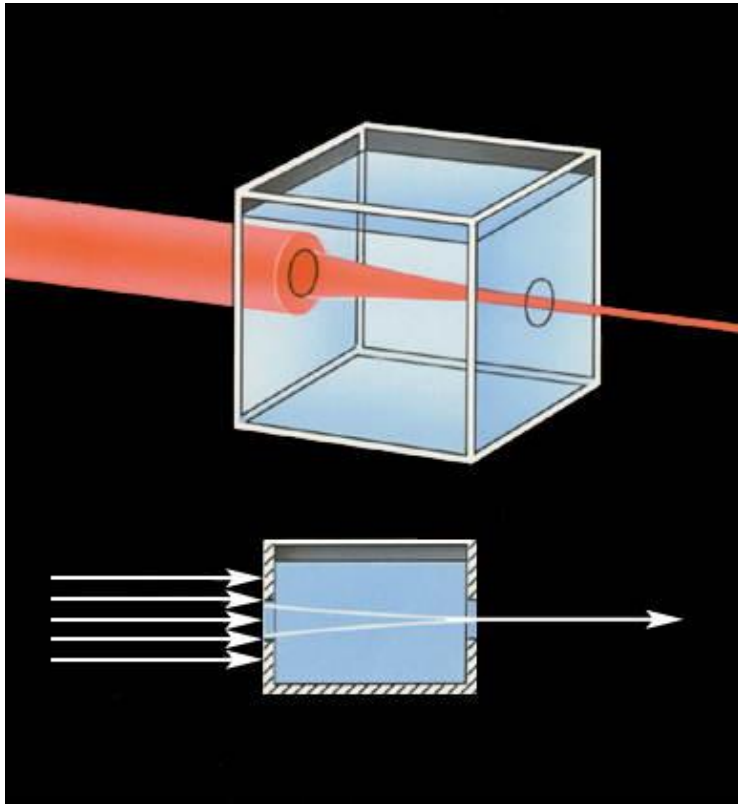
Нелинейно- оптические явления (продолжение)



План

1. Самофокусировка света
2. Параметрическая генерация света
3. Вынужденное рассеяние света
4. Просветление среды

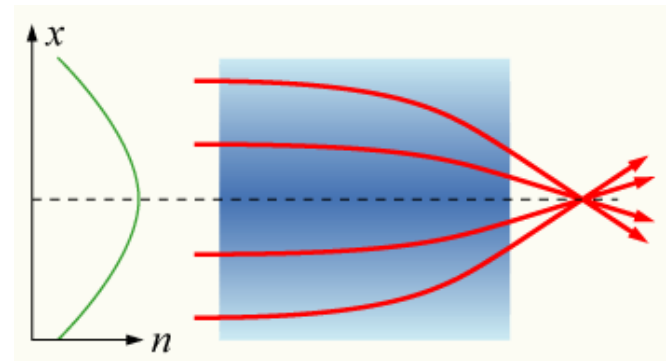
Самофокусировка света



Самофокусировка света обусловлена изменением показателя преломления среды под действием поля интенсивной световой волны.

$$n = n_0 + n_2 A^2$$

В результате диаметр пучка по мере распространения уменьшается, так как если бы на его пути находилась фокусирующая линза.



- Фокусирующему действию среды препятствует **дифракционная расходимость**:

$$\theta_d \approx \frac{\lambda}{n_0 D} \quad D - \text{диаметр пучка}$$

- Так как внутри пучка среда оптически более плотная, то для лучей, падающих на граничную поверхность пучка изнутри, возможен **эффект полного внутреннего отражения**. Критический угол полного внутреннего отражения (между направлением луча и осью пучка):

$$\theta_0 = \arccos\left(\frac{n_0}{n_0 + n_2 E^2}\right)$$

Возможны три случая:

- $\theta_d > \theta_0$ дифракция преобладает над нелинейной рефракцией и пучок света будет расходиться, хотя и медленнее, чем в линейной среде.
- $\theta_d = \theta_0$ дифракция и нелинейная рефракция компенсируют друг друга, в среде распространяется не расходящийся цилиндрический пучок света — режим **самоканализации**. Световой пучок создал в среде «световод» и распространяется в нем.
- $\theta_d < \theta_0$ происходит самофокусировка

Оценим пороговую мощность, при которой начинается самофокусировка:

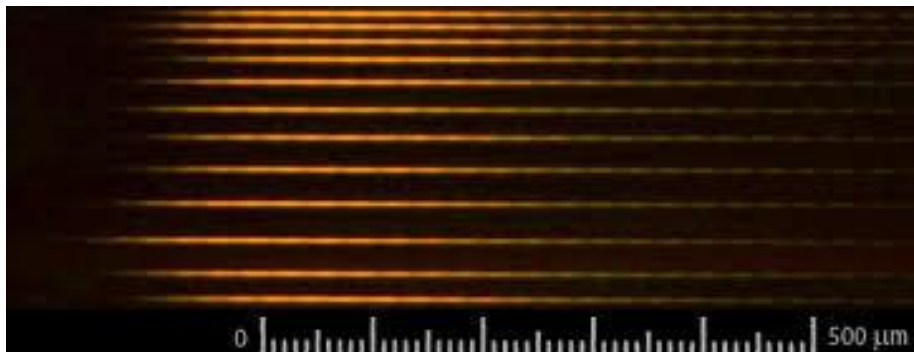
$$\arccos\left(\frac{n_0}{n_0 + n_2 E^2}\right) \approx \frac{\lambda}{n_0 D}$$

$$E_p^2 \approx \frac{\lambda^2}{n_0 n_2 D^2}$$

Пороговая мощность, при которой начинается самофокусировка, равна:

$$W_p = \frac{cn_0}{8\pi} E_p^2 \pi D^2 = \frac{c\lambda^2}{8n_2}$$

Пороговая мощность для рубинового лазера в сероуглероде равна 20 кВт



Филаментация в кристалле

Photoimages of CC structures induced in LiF under filamentation of 3000 nm laser pulse with the energy of 15.5 μJ. The laser beam direction – from the left to the right. The longitudinal scale (division value is 10 μm) denotes the distance from the sample input face.

Параметрическая генерация света

Пусть в квадратичной среде распространяются волны с частотами $\omega_{0,1}$. Волна с частотой ω_0 имеет большую амплитуду, достаточную для наведения квадратичной нелинейности. Эту волну называют **волной накачки**, а слабую волну с частотой ω_1 называют **сигнальной волной**. В результате нелинейного взаимодействия этих волн в среде возникает **нелинейная (квадратичная) поляризованность**, осциллирующая на частоте $\omega_2 = \omega_0 - \omega_1$, которая переизлучает в среде вторичные волны на этой частоте. Эту волну называют **холостой**. При выполнении условия синхронизма холостая и сигнальная волна будут эффективно усиливаться за счет перекачки энергии из волны накачки.

Пусть волна накачки, сигнальная и холостая имеют вид:

$$E_{0,1,2}(z, t) = E_{0,1,2} \cos(\omega_{0,1,2}t - k_{0,1,2}z)$$

Квадратичную поляризованность среды на частотах сигнальной и холостой волн можно записать в виде:

$$P_1^{(2)} = \chi^{(2)} E_0 E_2 \cos[\omega_1 t - (k_0 - k_2)z]$$

$$P_2^{(2)} = \chi^{(2)} E_0 E_1 \cos[\omega_2 t - (k_0 - k_1)z]$$

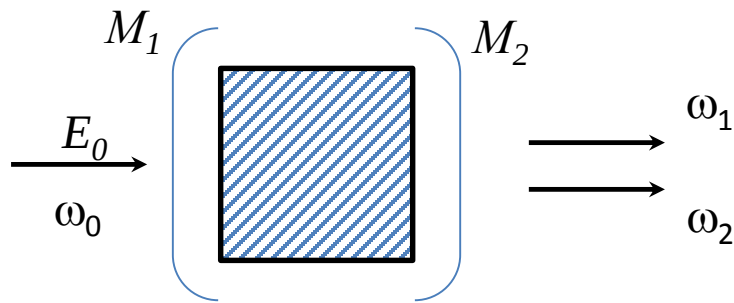
При распространении волны $E_{1,2}$ усиливаются за счет энергии волны накачки E_0 , которая ослабляется

При выполнении условия волнового согласования

$$k_1 + k_2 = k_0$$

энергия волны накачки E_0 эффективно передается волнам E_1 и E_2 . Это явление называют **параметрической генерацией света**.

Частоту ω_1 , а следовательно, $\omega_2 = \omega_0 - \omega_1$ можно изменять по желанию экспериментатора, тем самым осуществляя параметрическую генерацию света.

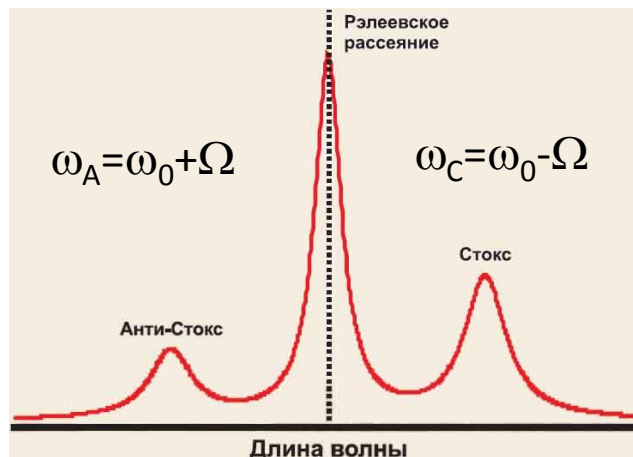
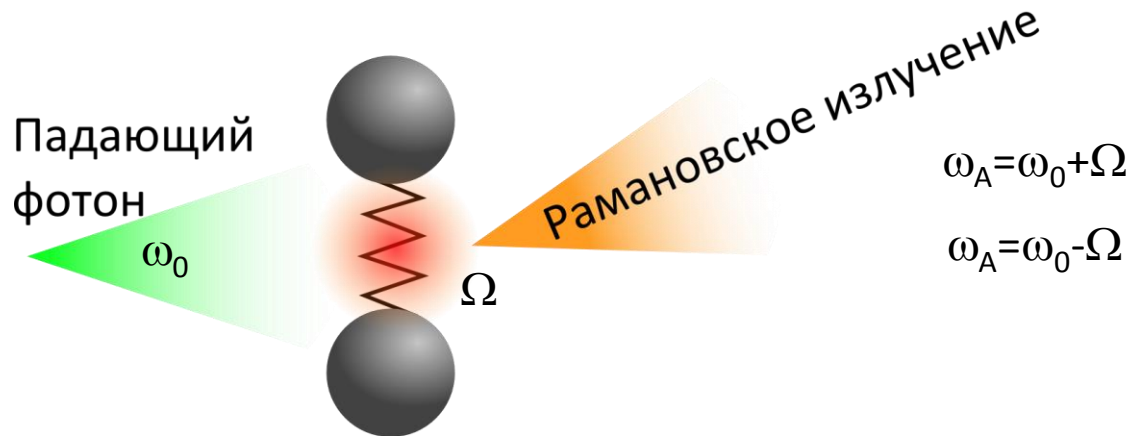


Упрощенная схема параметрического генератора света.

Идея параметрического усиления света предложена С.А Ахмановым и Р. В. Хохловым в 1962 году.



Вынужденное рассеяние света



Формирование спектров
комбинационного
(рамановского) рассеяния

С увеличением интенсивности волны накачки всё больше становится и интенсивность рассеянного стоксова излучения.

В таких условиях необходимо рассматривать взаимодействие молекул среды одновременно с двумя электромагнитными волнами: лазерной волной накачки на частоте ω_0 и стоксовой волной на частоте

$$\omega_c = \omega_0 - \Omega$$

Причиной обратного воздействия световых волн на молекулярные колебания является зависимость поляризации от обобщённой координаты.

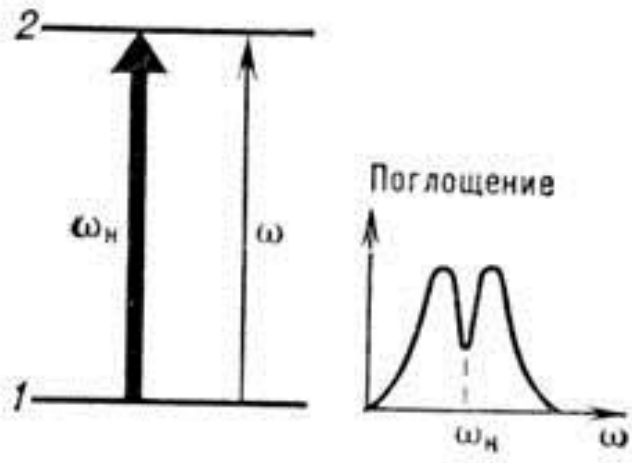
Эта сила может привести к резонансной «раскачке» молекулярных колебаний, если электромагнитное поле содержит компоненты с частотами, разность которых близка к собственной частоте молекулярных колебаний Ω .

В этих условиях происходит фазирование молекулярных колебаний: на хаотическое внутримолекулярное движение, имеющее флуктуационный характер, накладываются регулярные вынужденные колебания, фазы которых в различных молекулах определяются фазами компонент светового поля.

Это приводит к возникновению неустойчивости интенсивной монохроматической волны в комбинационно-активной среде. В случае, если её интенсивность превышает пороговое значение, **стоксова волна** с частотой $\omega_c = \omega_0 - \Omega$ **экспоненциально усиливается по мере распространения в среде.**

Вынужденное комбинационное рассеяние света впервые наблюдали Вудбери и Нг в 1962 году при построении рубинового лазера (ими использовалась ячейка Керра, заполненная жидким нитробензолом). В результате, в генерируемом лазерном импульсе вместе с основным излучением рубинового лазера на длине волны **694,3 нм** было обнаружено излучение на длине волны **767 нм**, мощность которого достигала 1/5 от мощности основного излучения. Разница наблюдаемых длин волн соответствовала самой сильной линии комбинационного рассеяния в нитробензоле (**1345 см⁻¹**), и вскоре явление было интерпретировано.

Просветление среды (насыщение поглощения)



Процесс поглощения оптического излучения связан с наличием большого числа электронов на нижнем уровне с энергией E_1 . Этому процессу соответствует определенный коэффициент поглощения k .

При уменьшении числа электронов на нижнем уровне E_1 коэффициент поглощения k должен уменьшаться. Чем больше интенсивность излучения, падающего на поглощающую среду, тем больше электронов переходит на уровень E_2 , тем меньше становится коэффициент поглощения.

Данный эффект впервые наблюдал С.И. Вавилов с сотрудниками (~ 1950 г.).

В настоящее время – находит широкое применение в лазерной технике. На основе этого эффекта создают оптические затворы в лазерах с модулируемой добротностью. Кювета с нитробензолом, с органическим красителем или пластинка кристалла LiF с F – центрами располагается в лазере между одним из зеркал и рабочим телом лазера. В момент вспышки лампы накачки лазера кювета с веществом или образец LiF сильно поглощают излучение, и лазерная генерация не развивается до тех пор, пока не наступит просветление среды. После просветления развивается один гигантский импульс с мощностью $\sim 10^7$ Вт и длительностью 10^{-8} с.



Отрицательное преломление и «шапка-невидимка»



Виктор Георгиевич Веселаго - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией магнитных материалов института общей физики имени А.М.Прохорова РАН, специалист в области электродинамики.



[http://tvkultura.ru/video/show/brand_id/20898/
episode_id/446898/video_id/446898/viewtype/
picture/](http://tvkultura.ru/video/show/brand_id/20898/episode_id/446898/video_id/446898/viewtype/picture/)