

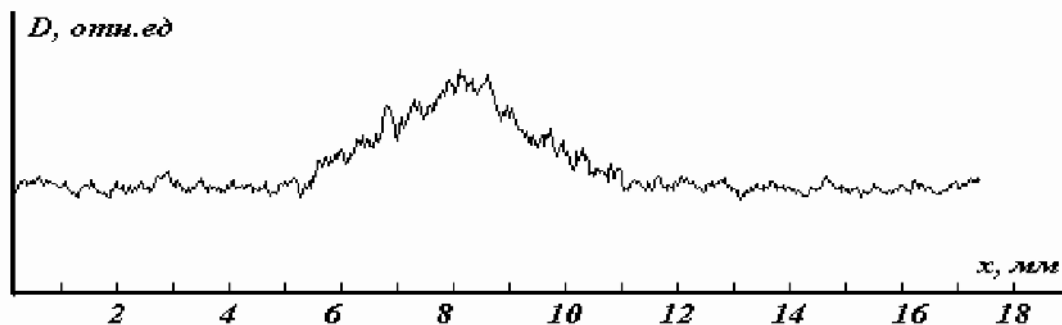
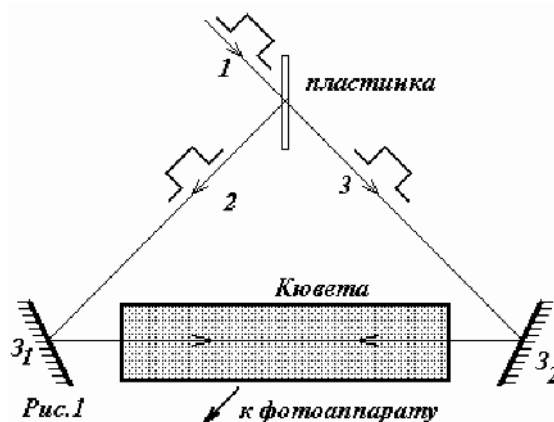
Условие

4. При взаимодействии мощных световых потоков с некоторыми веществами, возможен процесс, в результате которого молекула одновременно поглощает два световых кванта (двухфотонное поглощение) и переходит в возбужденное состояние. Обратный переход молекулы в невозбужденное состояние возможен с испусканием одного фотона (люминесценция). Если возбуждение люминесценции происходит благодаря двухфотонному поглощению, то ее интенсивность $I_{\text{л}}$ пропорциональна квадрату интенсивности падающего потока I_0 :

$$I_{\text{л}} = kI_0^2.$$

Описанное явление используется для измерения длительности сверхкоротких световых импульсов.

Традиционная схема таких измерений приведена на рис.1. Световой импульс 1 прямоугольной формы направляется на светоразделительную пластинку, где разделяется на два равных по интенсивности импульса 2,3, которые после отражения от зеркал следуют навстречу друг другу вдоль одной прямой в кювете, заполненной раствором люминесцирующего красителя. В результате двухфотонного поглощения вдоль пути следования импульсов возбуждается люминесцентный след, который фотографируется с выдержкой значительно превышающей длительность импульса. На рис.2 приведена зависимость почернения на фотопленке D следа импульсов в кювете, как функция расстояния от стенки кюветы. Так как вероятность двухфотонного поглощения мала, то можно пренебречь изменением интенсивности импульсов при их прохождении через раствор. Опишите аналитически эту зависимость при отсутствии случайных помех. Определите длительность импульса. Показатель преломления раствора равен 1,5.



Решение

4. Степень почернения фотопластинки пропорциональна экспозиции - произведению интенсивности света на время засветки. Если интенсивность света изменяется в течении времени фотографирования, то для вычисления степени почернения необходимо просуммировать

экспозиции по тем промежуткам в течении которых интенсивность света постоянна. В разных точках трека световые импульсы перекрываются по разному (либо не перекрываются вовсе). В момент перекрытия импульсов интенсивность возбуждения возрастает в 2 раза, следовательно, интенсивность люминесценции возрастает в 4 раза. Этим объясняется наличие области большего почернения на фотографии трека. Заметим, что в случае обычной люминесценции или рассеяние «след» импульса имел бы постоянную засветку.

Построим графики законов движения передних и задних фронтов первого, распространяющегося вправо, и второго, распространяющегося влево, импульсов:

1) передний фронт первого импульса $x_1 = ct$;

2) задний фронт первого импульса $x_2 = c(t - \tau)$; 3) передний фронт второго импульса $x_3 = l - ct$; 4) задний фронт второго импульса $x_4 = l - c(t - \tau)$.

В этих уравнениях c - скорость света в растворе; l - длина кюветы; τ - длительность импульса. Как видно из графиков импульсы перекрываются в области от точки A до точки C , а в точке B - перекрытие импульсов полное. Координаты этих точек легко найти из уравнений движения:

$$x_A = \frac{l - c\tau}{2}; x_B = \frac{l}{2}; x_C = \frac{l + c\tau}{2}.$$

При $x < x_A$ возбуждающие импульсы не перекрываются, поэтому суммарная засветка пленки в этих точках равна

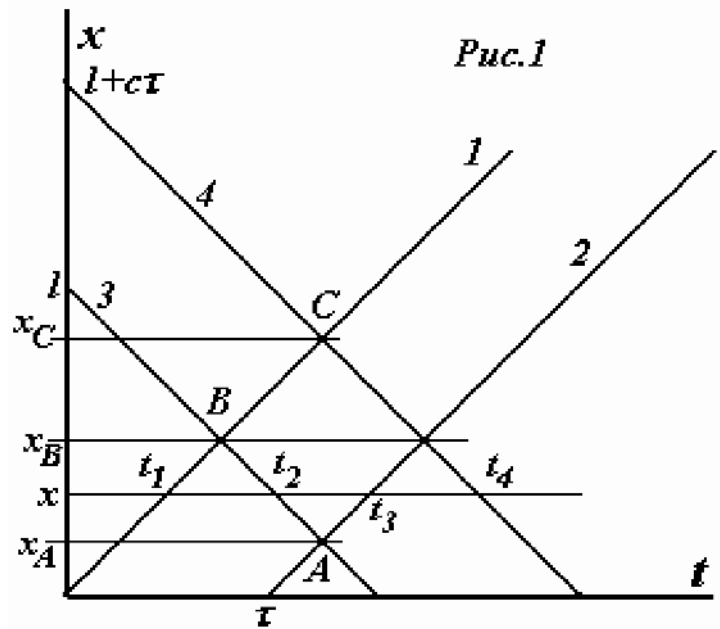
$E_1 = 2bI_0^2\tau$, где b - некоторый постоянный коэффициент. При $x_A < x < x_B$ степень засветки следует рассчитывать по формуле

$$E_2 = bI_0^2(t_2 - t_1) + b(2I_0)^2(t_3 - t_2) + bI_0^2(t_4 - t_3),$$

где смысл используемых моментов времени ясен из рисунка. Эти моменты времени также легко могут быть найдены из законов движения. Аккуратный подсчет засветки в этой области приводит к результату

$$E_2 = bI_0^2(4\tau - 2\frac{l - 2x}{c}).$$

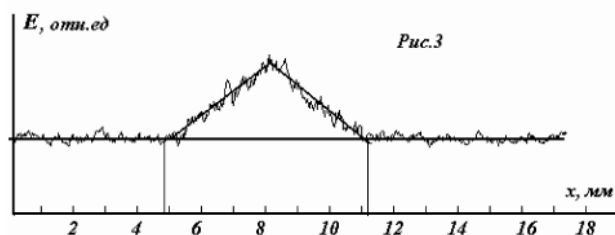
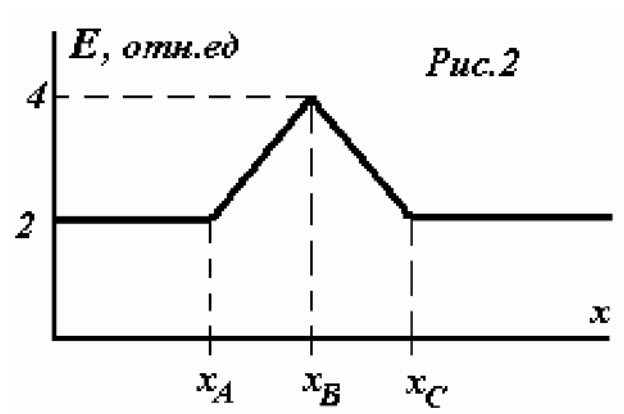
При $x > x_B$ функция отображается симметрично - для чего следует заметить величину $l - cx$ на $l + cx$. Таким образом полностью искомая зависимость степени почернения от координаты имеет вид:



$$E = \begin{cases} 2bI_0^2, & \text{при } x < \frac{l - c\tau}{2} \\ bI_0^2(4\tau - 2\frac{l - 2x}{c}), & \text{при } \frac{l - c\tau}{2} < x < \frac{l}{2} \\ bI_0^2(4\tau - 2\frac{l + 2x}{c}), & \text{при } \frac{l}{2} < x < \frac{l + c\tau}{2} \\ 2bI_0^2, & \text{при } x > \frac{l + c\tau}{2} \end{cases}$$

График этой функции представлен на рис.2. Легко заметить, что разность $x_C - x_A = c\tau$, т.е. ширина максимума равна длине импульса в растворе, откуда без труда вычисляется его длительность.

В реальном эксперименте такого типа неизбежны флуктуации степени почернения. Поэтому необходимо на приведенном графике «усреднить» функциональную зависимость, что сделано на рис.3.



Из этого графика находим, что длина импульса примерно равна $\delta l \approx 6$ мм, следовательно, его длительность

$$\tau = \frac{\delta l}{c} = \frac{n\delta l}{c_0} \approx 3 \cdot 10^{-11} \text{ с} = 30 \text{ пс},$$

где $c_0 \approx 3 \cdot 10^8$ м / с - скорость света в вакууме.

