Решения задач

Задача 9-1 Опыт Физо.

1. Свет распространяется не мгновенно, а с конечной (хотя и очень большой) скоростью. Зубчатое колесо разбивает световой поток на отдельные «порции» - импульсы. Если за время движения светового импульса от колеса до зеркала и обратно, колесо успеет повернуться на угол одного зубца, то он не сможет пройти через колесо.

2. Рассмотрим сначала прохождение света через колесо типа 1, в котором размеры зубцов и выемок одинаковы. Свет, проходящий через вращающееся колесо, разбивается на импульсы, длительность которых равна

$$\tau = \frac{T}{2N} = \frac{1}{2Nn}. \qquad (1)$$

Промежуток времени между импульсами также равен τ. Эти импульсы возвращаются обратно через время, которое требуется свету для преодоления расстояния от колеса до зеркала и обратно,

$$t_0 = \frac{2L}{c}. \qquad (2)$$

На рис. 2 показаны временные диаграммы импульсов, уходящих от колеса (сплошная заливка) и возвращающихся от зеркала (квадратная штриховка). Области их перекрытия определяют промежутки времени, когда возвращающийся свет проходит между зубьев и попадает к наблюдателю.

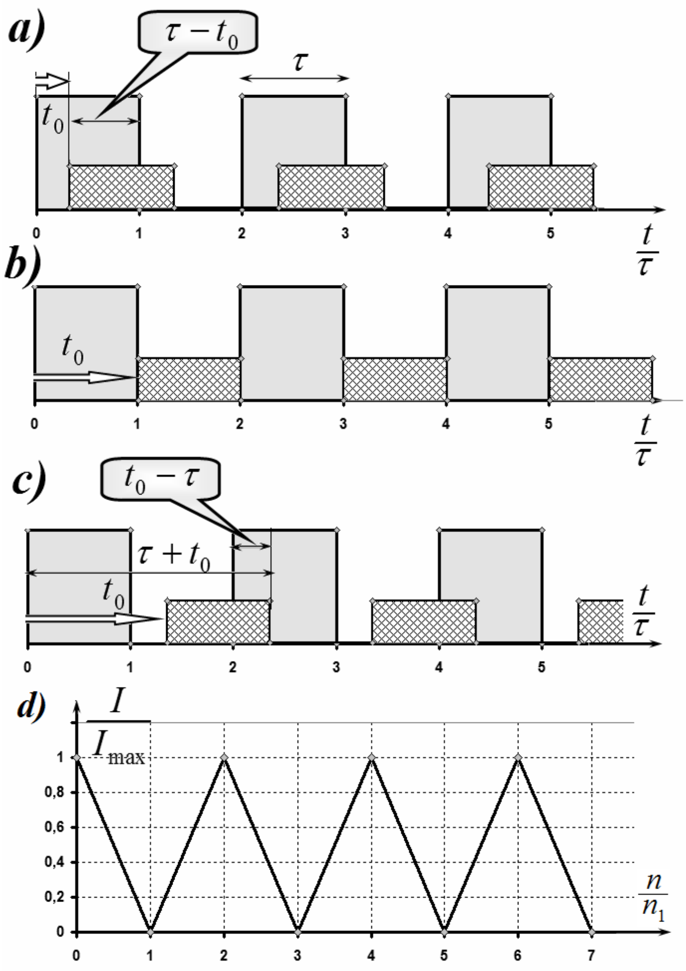

Рис. 2

Из рис. 2а видно, что при $t_0 < \tau$ интервал времени, в котором свет виден, равен $(\tau - t_0)$. Очевидно, что средняя интенсивность пропорциональна промежутку времени в течение, которого свет доходит до наблюдателя. Поэтому в данном случае эта интенсивность оказывается равной

$$\bar{I} = I_0 \frac{\tau - t_0}{2\tau} = \frac{I_0}{2}\left(1 - \frac{4NL}{c} n\right), \qquad (3)$$

где I_0 - интенсивность наблюдаемого света при неподвижном колесе.

То есть линейно убывает с ростом частоты вращения. При $t_0 = \tau$ средняя интенсивность прошедшего света становится равно нулю (см. рис 2b).

При $t_0 > \tau$ возвращающийся импульс начинает попадать в следующий вырез. На этом интервале средняя интенсивность описывается формулой

$$\bar{I} = I_0 \frac{t_0 - \tau}{2\tau} = \frac{I_0}{2}\left(\frac{4NL}{c} n - 1\right), \qquad (4)$$

Т.е. линейно возрастает с ростом частоты вращения. Этот рост будет продолжаться до тех пор, пока $t_0 < 2\tau$. При дальнейшем росте частоты вращения зависимость будет периодически повторяться. График этой зависимости показан на рис. 2d, на котором n_1 - частота при которой наступает первое полное затемнение. Эта частота может быть найдена из выражения (3):

$$n_1 = \frac{c}{4NL}. \qquad (2)$$

Отметим, что все полные затемнения наступаю тогда, когда время распространения светового импульса оказывается равным времени поворота колеса на «полуцелое» число зубьев, т.е.

$$t_0 = (2k+1)\tau \quad \Rightarrow \quad n_{\min} = (2k+1)n_1 = (2k+1)\frac{c}{4NL}. \qquad (3)$$

здесь $k = 0, 1, 2, 3....$

Максимумы средних интенсивностей наблюдаются при

$$t_0 = 2k\tau \quad \Rightarrow \quad n_{\min} = 2kn_1 = 2k\frac{c}{4NL}. \qquad (4)$$

Анализ зависимости средней интенсивности прошедшего света для установки с колесом 2 может быть проведен аналогично.

На рис. 3 показаны такие же, как и на рис. 2, временные диаграммы выходящих после колеса импульсов и импульсов, возвращающихся с задержкой t_0. В этом случае интервал τ равен времени в течении которого колесо поворачивается на угол соответствующий повороту на один вырез, т.е.

$$\tau = \frac{1}{3}\frac{T}{N} = \frac{1}{3Nn}. \qquad (5)$$

Зависимость средней интенсивности регистрируемого света от времени описывается формулами

$$\bar{I} = \frac{I_0}{3}\frac{\tau - t_0}{\tau} = \frac{I_0}{3}\left(1 - \frac{6LN}{c}n\right), \quad n < \frac{c}{6LN}$$

$$\bar{I} = 0, \quad \frac{c}{6LN} < n < 2\frac{c}{6LN}$$

$$\bar{I} = \frac{I_0}{3}\left(\frac{6LN}{c}n - 2\right), \quad n > 2\frac{c}{6LN}$$

В этом случае максимальная средняя интенсивность наблюдается при

$$n = 3kn_1 = 3k\frac{c}{6LN}, \quad k = 0,1,2...$$

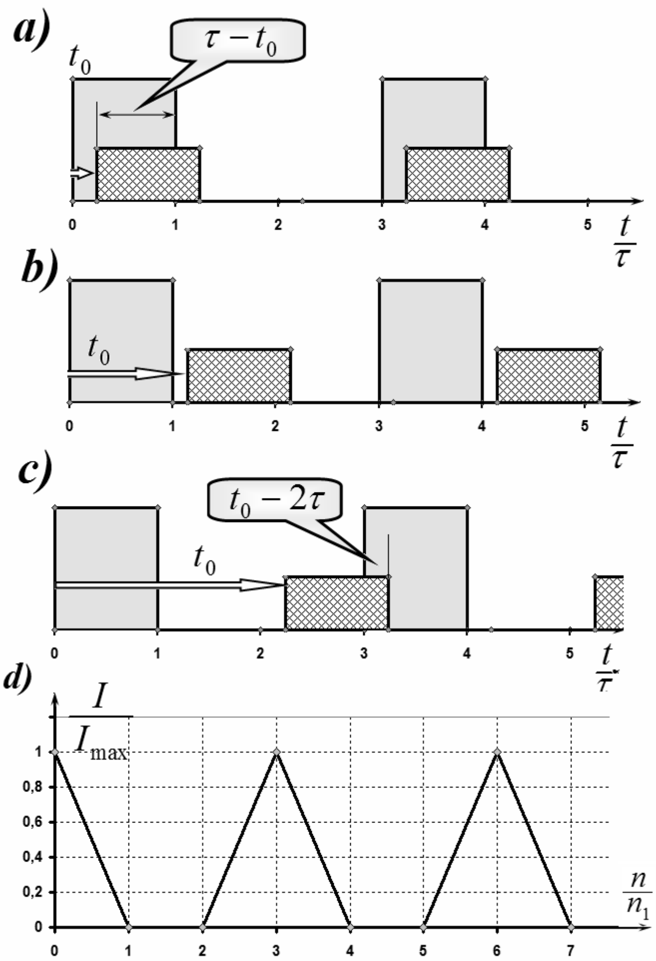

Рис. 3

3. Из формулы (3) следует, что скорость света может быть выражена следующим образом через параметры системы и результаты измерения

$$n_1 = \frac{c}{4NL} \quad \Rightarrow \quad c = 4NLn_1 = 4\cdot 720\cdot 8{,}63\cdot 10^3\cdot 12{,}5 = 3{,}10\cdot 10^8\,\frac{м}{с}. \qquad (5)$$