

## 11 класс.

### 1.1 «Оптическая бистабильность»

В интерферометре Фабри-Перо коэффициент пропускания зависит от набег фазы

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} nL \quad (1)$$

при однократном прохождении световой волной пространства между зеркалами. В сильных световых полях (на практике для этого годится излучение лазера) вещества начинают проявлять нелинейные свойства, например, показатель преломления начинает зависеть от интенсивности света. Поскольку величина показателя преломления определяет набег фазы  $\psi$ , это означает, что коэффициент пропускания интерферометра, заполненного нелинейным веществом, зависит от интенсивности падающего на него излучения. Ясно, что показатель преломления зависит от интенсивности (точнее, от квадрата модуля электрической напряженности) световой волны **внутри** интерферометра, но теоретический расчет показывает, что она пропорциональна интенсивности **выходящего** излучения, поэтому в условии сказано  $n = n_0 + \gamma I_{\text{ввых}}$ .

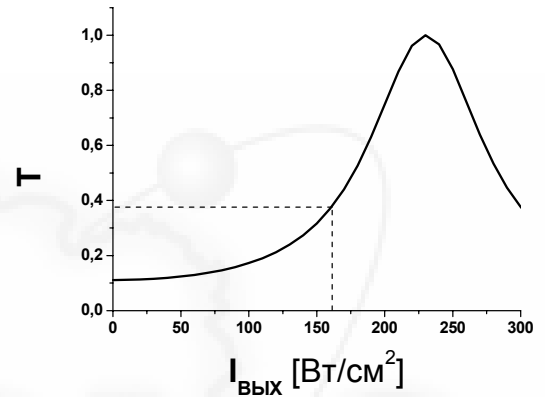
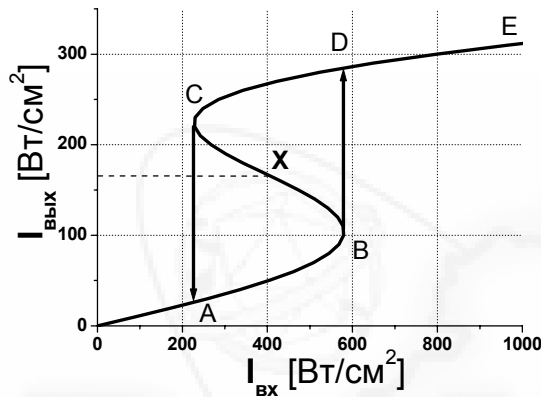
Итого, получается

$$I_{\text{ввых}} = \frac{I_{\text{вх}}}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda} L(n_0 + \gamma I_{\text{ввых}})\right)}, \quad (2)$$

$$I_{\text{ввых}} \left[ 1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda} L(n_0 + \gamma I_{\text{ввых}})\right) \right] = I_{\text{вх}}. \quad (3)$$

Решать уравнение (3) относительно  $I_{\text{ввых}}$  достаточно непросто, но этого и не требуется – необходимо построить график зависимости  $I_{\text{ввых}}$  от  $I_{\text{вх}}$ . Для этого можно просчитать обратную зависимость  $I_{\text{вх}}$  от  $I_{\text{ввых}}$  (что гораздо проще), а потом построить необходимый график.

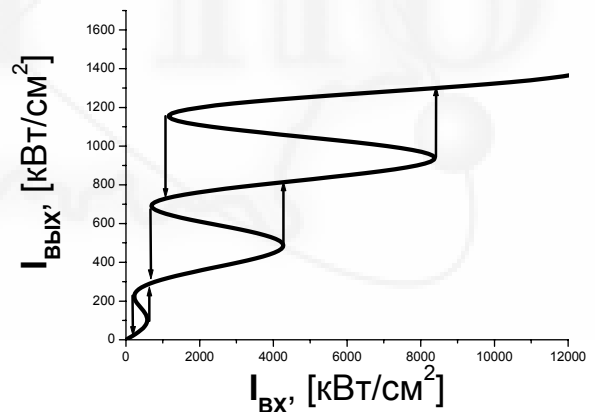
Как видно по графику, зависимость  $I_{\text{ВЫХ}}$  от  $I_{\text{ВХ}}$  не является функцией, поскольку на участке между  $200 \text{ кВт/см}^2$  и  $600 \text{ кВт/см}^2$  одному значению абсциссы соответствует несколько ординат точек графика. Какие же из них будут реализовываться на практике? Для ответа на этот вопрос построим зависимость коэффициента пропускания интерферометра от выходной интенсивности.



Рассмотрим точку X на участке BC, соответствующую  $I_{\text{ВХ}} = 400 \text{ кВт/см}^2$ . Предположим, что случайно  $I_{\text{ВХ}}$  увеличилось. Это приведет к уменьшению  $I_{\text{ВЫХ}}$  и, следовательно, к уменьшению коэффициента пропускания, а это приведет к дальнейшему уменьшению  $I_{\text{ВЫХ}}$ , что означает, что участок BC- неустойчивый и на практике он реализовываться не будет. Аналогично можно показать, что участки AB и CD – устойчивые. А это означает, что при увеличении  $I_{\text{ВХ}}$  от нуля до  $200 \text{ кВт/см}^2$  изменение  $I_{\text{ВЫХ}}$  будет соответствовать графику OABDE, а при обратном уменьшении до нуля – EDCAO.

В данной системе возникает бистабильность – когда одной входной интенсивности соответствует два устойчивых значения выходной интенсивности, причем то, какое из них будет реализовано, зависит от направления изменения  $I_{\text{ВХ}}$ .

Если же далее увеличивать входную интенсивность, возникает ещё несколько устойчивых состояний интерферометра – это называется мультистабильностью.



## 1.2 «Грязный космос»

Пусть ракета прошла расстояние  $x$  внутри облака пыли (рис. 2). Тогда «заметенный» ракетой объем содержит массу пыли  $\Delta m = \rho V = \rho S x$ .

Согласно условию, пыль массой  $\Delta m$  прилипла к ракете, следовательно ее масса

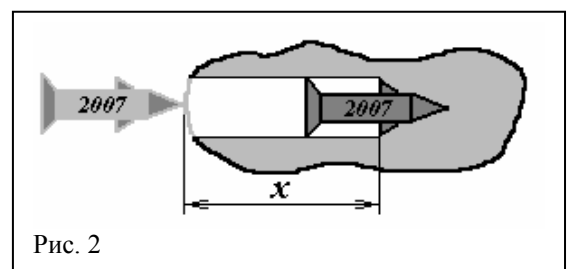


Рис. 2

возросла, а скорость, соответственно, уменьшилась.

Согласно закону сохранения импульса (система замкнута) найдем скорость ракеты в этот момент

$$m v_0 = (m + \Delta m) v \quad \Rightarrow \quad v(x) = \frac{m v_0}{m + \rho S x}. \quad (1)$$

Скорость ракеты при вылете из облака найдем, подставив в (1) значение  $x = L$

$$v(x = L) = \frac{m v_0}{m + \rho S L}.$$

Для нахождения времени  $t$  движения ракеты в облаке перепишем (1) в виде

$$\frac{1}{v(x)} = \frac{1}{v_0} + \frac{\rho S}{m v_0} \cdot x \quad (2)$$

Тогда

$$t = \int dt = \int_0^L \frac{dx}{v(x)} = \left\{ (2) \right\} = \int_0^L \left( \frac{1}{v_0} + \frac{\rho S}{m v_0} \cdot x \right) dx = \frac{1}{v_0} \cdot x \Big|_0^L + \frac{\rho S}{m v_0} \cdot \frac{x^2}{2} \Big|_0^L = \frac{L}{v_0} \left( 1 + \frac{\rho S L}{2m} \right) \quad (3)$$

Заметим, что задачу вполне можно решить и без интегрирования. Для этого следует подобрать «удобные» координаты, в которых площадь под графиком имеет размерность времени.

Рассмотрим зависимость «обратной скорости»  $\frac{1}{v}$  от пройденного расстояния  $x$ . Малое расстояние  $\Delta x$  ракета пролетает за время  $\Delta t = \frac{\Delta x}{v} = \left( \frac{1}{v} \right) \cdot \Delta x$ , что соответствует площади выделенного элементарного столбика на рис. 3.

Таким образом, суммарная площадь под приведенным графиком на участке от нуля до  $x = L$  равна времени  $t$  движения ракеты внутри облака.

В данном случае суммирование элементарных времен  $\Delta t$  сводится к нахождению площади трапеции

$$t = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{v_0} + \frac{1}{v} \right) \cdot L = \frac{L}{v_0} \left( 1 + \frac{\rho S L}{2m} \right). \quad (4)$$

Заметим, что плотность межзвездного вещества (пыли, газа, плазмы) мала ( $\rho \rightarrow 0$ ), но конечна. Как следует из (4), эффект торможения ракеты межзвездной пылью может оказаться существенным при протяженных ( $L \rightarrow \infty$ ) космических путешествиях.

