

## Задача 2. Опыт Физо

Весь XIX век физики были убеждены, что свет есть волна, распространяющаяся в особой среде – эфире. Практически все известные оптические явления нашли свое объяснение в рамках теории светового эфира. Одним из самых интересных и сложных вопросов являлся вопрос о взаимодействии материальных тел и светового эфира. В частности, как ведет себя эфир в движущемся теле: остается в покое; движется вместе с телом; или как-то по-иному.

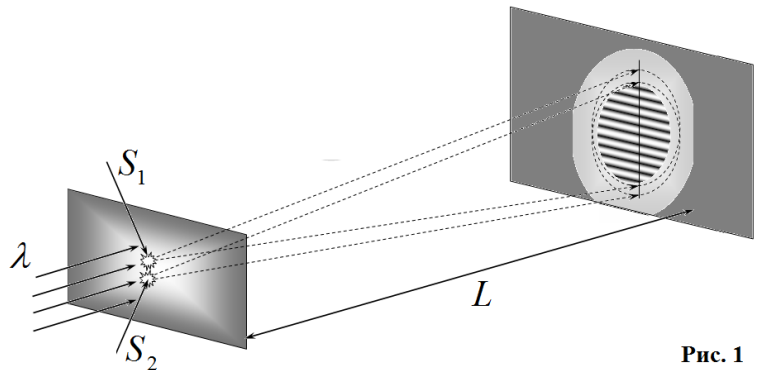
Один из решающих экспериментов в исследовании этого явления провел французский физик Арман Ипполит Луи Физо. Результаты этого опыта были опубликованы в 1859 году в работе «О гипотезах относительно светового эфира и об одном эксперименте, который, по-видимому, показывает, что движение тел меняет скорость, с которой свет распространяется внутри этих тел». Все численные результаты, использованные в этой задаче, взяты из названной статьи И. Физо.

*Скорость света в вакууме считать равной  $c = 3,00 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ , Значения длин волн приведены для волн в вакууме. Показатель преломления воды  $n = 1,33$*

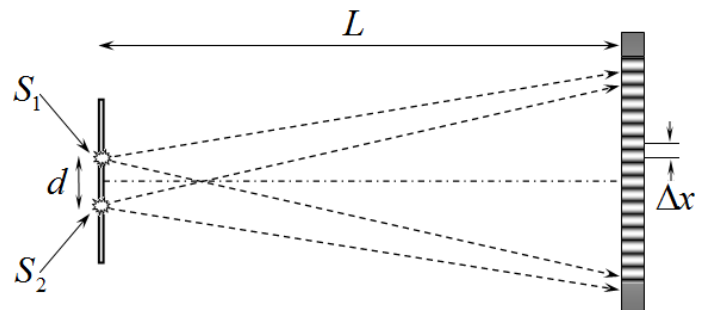
Прежде чем приступить к анализу эксперимента И. Физо, вспомним основные положения теории интерференции света.

### Часть 1. Воспоминание об интерференции.

Наиболее простой для теоретического описания интерференции света является оптическая схема, предложенная английским физиком Т. Юнгом (рис. 1). Монохроматический свет падает нормально на непрозрачную пластинку, в которой на небольшом расстоянии проделаны два маленьких отверстия  $S_1$  и  $S_2$ , которые можно рассматривать как два когерентных точечных источника света. На большом расстоянии от этой пластинки расположен экран, на котором наблюдается интерференционная картина в виде системы параллельных равноотстоящих светлых и темных полос.



Рассмотрим описанную установку со следующими параметрами: Расстояние между отверстиями  $d = 1,0 \text{ мм}$ ; расстояние до экрана  $L = 2,0 \text{ м}$ , длина волны света  $\lambda = 0,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ . (рис. 2)



1.1 Рассчитайте ширину интерференционной полосы  $\Delta x$  (расстояние между соседними максимумами) на экране.

Отверстие  $S_1$  закрывают плоскопараллельной стеклянной пластинкой  $P$  (рис.3), толщина которой  $h = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , а показатель преломления  $n = 1,6$ . При такой малой толщине можно пренебречь смещением лучей в пластинке.

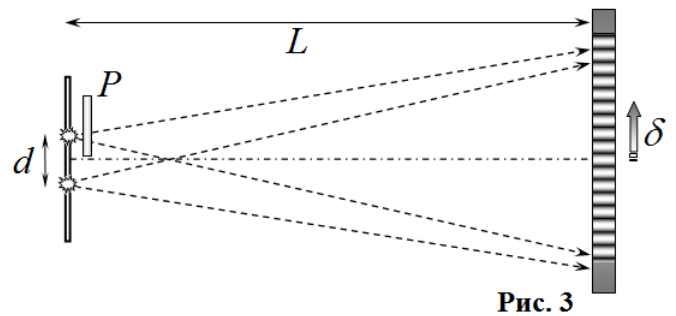


Рис. 3

1.2 Рассчитайте на сколько полос (и в какую сторону) сместится интерференционная картина на экране.

## Часть 2. Эксперимент И. Физо – скорость света в движущейся воде.

Чтобы понять идею и цель рассматриваемого опыта И. Физо, процитируем его статью. «Эти гипотезы (относительно эфира) можно свести к трем основным....:

- эфир связан и как бы прикреплен к молекулам тела и, следовательно, участвует в движениях, которые могут сообщаться этим телам<sup>6</sup>;
- эфир свободен и независим и не увлекается телами в их движениях<sup>7</sup>;
- по третьему предположению... свободной остается лишь часть эфира, а другая часть прикрепляется к молекулам тела и только она участвует в его движении<sup>8</sup>»

Итак, И. Физо поставил цель экспериментально определить, какая из этих гипотез подтверждается экспериментально. Для этого необходимо измерить, как изменяется скорость света в движущейся среде. Обозначим скорость движения среды  $V$ , а скорость света в среде  $v$ .

2.1 Чему равна скорость света в неподвижной воде?

2.2 Запишите формулу для скорости света в движущей среде, в предположении, что справедлива гипотеза неподвижного эфира.

2.3 Запишите формулу для скорости света в движущей среде, в предположении, что справедлива гипотеза полного увлечения эфира.

В рамках гипотезы частичного увлечения эфира (предложенной О. Френелем) предполагается, что скорость света в движущейся среде складывается из скорости света в неподвижной среде и скорости среды, умноженной на некоторый коэффициент  $\gamma$ , который называется коэффициентом увлечения эфира.

2.4 Каким значениям  $\gamma$  соответствуют гипотезы неподвижного эфира и полного увлечения эфира?

<sup>6</sup> Далее будем ее называть «Гипотеза полного увлечения эфира»;

<sup>7</sup> Гипотеза неподвижного эфира;

<sup>8</sup> Гипотеза частичного увлечения эфира;

На рис. 4 показана схема установки Физо. В этой установке свет проходил через две параллельные трубы  $T_1$  и  $T_2$  по которым равномерно текла вода с некоторой скоростью  $V$ . Торцы труб закрыты стеклянными окнами. Оптическая схема установки состояла из источника света  $И$ , полупрозрачной пластинки  $П$ , трех зеркал  $З_1$ ,  $З_2$ ,  $З_3$  и экрана  $Э$ , на котором с помощью зрительной

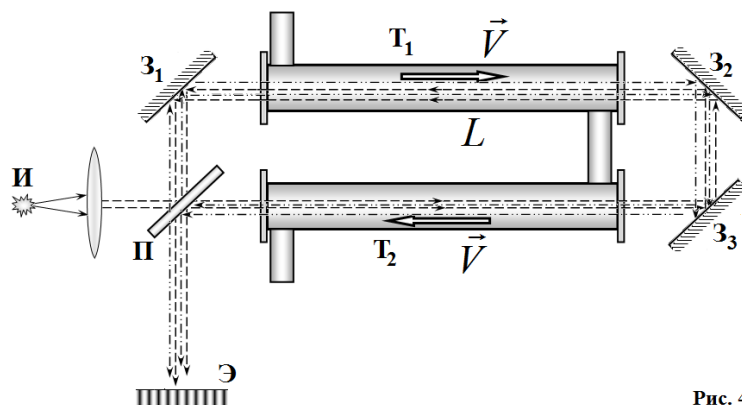


Рис. 4

трубы с микрометром наблюдается интерференционная картина. Свет от источника с помощью линзы формируется в параллельный пучок, который падал на полупрозрачную пластинку. Пластинка разделяет пучок на две потока. Один из них отражается от пластинки, и следует по пути  $З_1$ , -  $З_2$ , -  $З_3$  попадает на пластинку и отражается в сторону экрана. Этот пучок распространяется в трубах в направлении течения воды. Второй световой пучок движется в обратном направлении: проходит через пластинку и далее следует по пути  $З_3$ , -  $З_2$ , -  $З_1$  и также попадает на экран. В результате интерференции этих пучков на экране и возникает система полос. Каждый из пучков проходит в движущейся воде расстояние  $L = 1,49 м$  в каждой трубе. Можно считать, что скорость движения воды на этом пути постоянна. Для расчета скорости воды И. Физо измерил объем жидкости, протекающий по трубам в единицу времени, и разделил его на площадь поперечного сечения трубы. В своих экспериментах И. Физо использовал свет с длиной волны  $\lambda = 526 нм$ .

Еще раз процитируем статью И. Физо:

*«Во время протекания воды полосы сохраняли хорошую отчетливость: они сдвигались параллельно самим себе без малейшего сомнения на величину, ощутимо пропорциональную скорости воды. При скорости 2 м/с смещение было уже хорошо заметно, при скорости от 4 до 7 м/с оно было вполне измеримым»*

Для повышения точности измерений И. Физо измерял смещение полос при изменении направления течения воды. В результате тщательных измерений И. Физо констатировал:

*«При ширине одной полосы в пять делений микрометра... было установлено, что при скорости течения воды 7,06 м/с смещение вправо составляло 1,2 деления и смещение влево – 1,2 деления. Сумма двух смещений равна 2,4 деления, т.е. практически составляет половину полосы»*

- 2.5 Рассчитайте теоретическое значение смещения полос, принимая гипотезу полного увлечения эфира. Совпадает ли это значение с экспериментально полученным значением?
- 2.6 Принимая гипотезу частичного увлечения эфира, определите значение коэффициента увлечения эфира  $\gamma$ , следующего из результатов эксперимента И. Физо.

### Часть 3. Но эфира то нет!

3.1 Покажите, что закон сложения скоростей, предложенный О. Френелем, является следствием релятивистского закона сложения скоростей. Интересно, что О.Френель получил правильную формулу, не зная теории относительности.

3.2 Используя формулу релятивистского сложения скоростей, получите формулу для коэффициента увлечения эфира  $\gamma$ . Выразите его через показатель преломления движущейся среды. Рассчитайте его значение для воды.

3.3 И. Физо сумел найти причину, объясняющую незначительное отклонение измеренного значения коэффициента  $\gamma$  от теоретического значения. Укажите эту причину и Вы.