

Хулиган получил

$$2h(n - \sqrt{n^2 - 1}) = (10 - 11)\lambda. \quad (3)$$

(Он учел, что при  $\alpha = \pi/2$  тоже может быть следующий за десятым максимум, но это было трудно проверить — скользкий свет слепил глаза.)

Однако в уравнении (3) оказалось два неизвестных:  $h$  и  $n$  (для синего света  $\lambda = 0,45$  мкм). Поэтому Хулиган схитрил так: он стал освещать купюру светом других длин волн и нашел, что при увеличении длины волны при нормальном падении максимум отраженного света сначала постепенно исчезает, но вновь появляется, когда это изменение достигает  $\Delta\lambda = 0,0121$  мкм. Это означает, что для света с длиной волны  $\lambda + \Delta\lambda$  та же разность хода  $\Delta_{12}$  в выражении (1) достигается не при  $m$ , а при  $m - 1$ , т.е.

$$m(0)\lambda = (m(0) - 1)(\lambda + \Delta\lambda).$$

Отсюда легко найти:

$$m(0) = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + 1 = \frac{0,45}{0,0121} = 38,$$

и, записывая (2) при  $\alpha = 0$ :

$$2hn = m(0)\lambda = \left(\frac{\lambda}{\Delta\lambda} + 1\right)\lambda,$$

получаем второе уравнение для определения  $h$  и  $n$ .

Итак, имеется система уравнений

$$\begin{cases} 2h(n - \sqrt{n^2 - 1}) = (10 - 11)\lambda, \\ 2hn = 38\lambda. \end{cases}$$

Для ее решения один здравомыслящий математик посоветовал разделить почленно эти уравнения друг на друга — тогда сократятся  $h$  и  $\lambda$  и останется одно уравнение для  $n$ . Решив его и подставив это значение  $n$  в любое из двух уравнений системы (очевидно, проще во второе), найдем  $h$ . В результате получим  $n \approx 1,4$ ;  $h \approx 6$  мкм (с точностью до нескольких процентов).

Надо ли решать точнее, учитывая «ошибку эксперимента», уже включенную в соотношение (3)? А что еще не учтено в приведенных рассуждениях? Вообще говоря, коэффициент преломления вещества зависит от длины волны проходящего света, чем пренебрега-

лось. Пренебрежено также поглощением света внутри слоя. Кроме того, наш Хулиган где-то слышал, что в выражении (2) надо то ли добавить, то ли вычесть еще «полволны  $\lambda/2$ », которые, говорят, то ли приобретаются, то ли теряются при отражении света от оптически то ли более плотной среды, то ли... Но он решил с этими тонкостями не возиться, так как в выражении (3) уже содержится возможная ошибка, проистекающая от того, что углы, при которых достигаются интерференционные максимумы, он не измерял точно, а считал, как и все островитяне, только общее число максимумов между углами  $-90^\circ$  и  $+90^\circ$ .

А что же островитяне? Они остались довольны новыми купюрами, помня слова Антона Чехова, один персонаж которого считал, что кислород — «...химиками выдуманный воздух. Говорят, что без него жить невозможно. Пустяки. Только без денег жить невозможно».

## ЛАБОРАТОРИЯ «КВАНТА»

# Об измерении энергии магнитного поля

Д. ЦЕЛЫХ

В ШКОЛЬНОМ курсе физики обсуждаются конкретные приемы, позволяющие измерить энергию электрического поля  $W_3$ . Например, можно разрядить конденсатор емкостью  $C$ , первоначально заряженный до напряжения  $U$ , через резистор сопротивлением  $R$  и микроамперметр. Построив график зависимости мощности тока  $P$  от времени, можно найти количество теплоты  $Q$ , выделившееся при разрядке конденсатора через резистор, которое равно

площади фигуры под графиком. В соответствии с законом сохранения энергии, это количество теплоты будет определяться энергией электрического поля конденсатора:

$$W_3 = \frac{CU^2}{2}.$$

Но школьникам ничего не рассказывается о способе измерения энергии магнитного поля. Попытаемся восполнить этот пробел.

Как известно, вокруг проводника с током существует магнитное поле, энергия которого определяется силой тока  $I$  и индуктивностью проводника  $L$ :

$$W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

Получить это выражение проще всего на основании аналогии между явлениями инерции и самоиндукции. Так, инерция приводит к тому, что под действием силы тело не мгновенно приобретает определенную скорость, а постепенно. Точно так же за счет самоиндукции при замыкании цепи сила тока не сразу приобретает определенное значение, а нарастает постепенно. Аналогом механической скорости  $v$  в электродинамике является сила тока  $I$  как величина, характеризующая движение электрических зарядов. А аналог массы  $m$  — это индуктивность  $L$ , так как именно она определяет быстроту изменения силы тока. Поэтому энергию магнитного поля можно считать величиной, подобной кинетической энергии поступательно движущегося тела  $mv^2/2$ , т.е. равной  $LI^2/2$ . (Для более строгого обоснования этой формулы надо вычислить работу ЭДС самоиндукции при изменении силы тока в контуре. Прделайте это сами.)

Этот теоретический результат допускает экспериментальную проверку. Энергию магнитного поля можно опре-

Дмитрий Целых прислал эту статью в редакцию в марте прошлого года, будучи учеником 11 класса общеобразовательного лицея №1 г. Петропавловска.