

резонансной частоты от H_M свидетельствовала, что резонансные кривые действительно относились к переходу

$$2^3 S_{1/2} \left(m = +\frac{1}{2} \right) \rightarrow 2^3 P_{1/2} \left(m = -\frac{1}{4} \right).$$

Типичная резонансная кривая показана на рис. 2.

Значение H_M определялось по кривой графически и затем по формуле (4) определялось ν_0 , т. е. частота, соответствующая переходу $2^3 S_{1/2} \rightarrow 2^3 P_{1/2}$ в отсутствии магнитного поля. Оценка ошибок показала, что наибольшая возможная погрешность в определении ν_0 составляет $\pm 100 \text{ Мгц}$. Статистическая ошибка значительно меньше — $\pm 10 \text{ Мгц}$.

Полученное авторами среднее значение — $14\,020 \text{ Мгц}$ — на $1,4\%$ выше теоретического — $13\,820 \text{ Мгц}$, причём и то и другое несколько выше, чем наиболее точные значения, полученные спектроскопически в видимой области спектра.

Авторы расценивают свои измерения как предварительные, причём указывают, что в случае однократно ионизованного гелия может быть достигнута точность бо́льшая, чем в случае водорода, ибо здесь отсутствует осложняющая измерения сверхтонкая структура.

Г. Р.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Я. А. Смородинский, УФН **39**, 325 (1949).
2. В. Ф. Вейскопф, УФН **41**, 165 (1950).
3. W. E. Lamb and M. Skinner, Phys. Rev. **78**, 539 (1950).

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ СВЕТА НА ЗЕРКАЛО, ПОМЕЩЁННОЕ В ПРЕЛОМЛЯЮЩУЮ СРЕДУ

Классические опыты П. Н. Лебедева, так же как и более поздние измерения давления света на зеркало, производились в вакууме. Между тем, согласно теоретическим предсказаниям, давление света должно существенно зависеть от показателя преломления той среды, в которую помещено зеркало. Значительные трудности, стоящие на пути осуществления соответствующего эксперимента, послужили, повидимому, причиной того, что до сих пор (в течение полувека!) это теоретическое предсказание оставалось неподтверждённым на опыте. Правда, опытами Барлоу¹, наблюдавшего появление вращательного момента при пропускании в косом направлении светового луча через стеклянный кубик, было показано существование светового давления на границе двух прозрачных диэлектриков с различными показателями преломления. Однако эти опыты носили качественный характер и, кроме того, могли служить только косвенным подтверждением вывода о зависимости светового давления на зеркало от показателя преломления среды.

Поэтому осуществление автором реферируемой заметки² прямых измерений этой зависимости представляет первостепенный интерес. Нельзя, конечно, ~~не~~ согласиться с автором, что они не могут служить пробным камнем для выбора между уже отвергнутыми старыми корпускулярными теориями света, электромагнитной теорией и квантовомеханическими представлениями. Так вопрос не стоит. Однако, вопреки утверждению автора, такие опыты имеют не только иллюстративное, но и в некотором отношении решающее значение. В рамках современной электродинамики до самого последнего времени отсутствовала ясность в выборе выраже-

X
...

ния для плотности количества движения электромагнитного поля в среде. В течение длительного времени оживлённо дискутировались два выражения — одно, предложенное Минковским³:

$$g = \frac{1}{4\pi c} \text{ [ДБ]}, \quad (1)$$

и другое, предложенное Абрагамом:

$$g = \frac{1}{4\pi c} \text{ [ЕН]}. \quad (2)$$

Только в самое последнее время И. Е. Тамму⁴ удалось убедительно показать несостоятельность аргументации Абрагама и справедливость выражения (1). Однако и по сей день многие авторы, особенно иностранные, отдают предпочтение выражению Абрагама. Между тем, эти выражения приводят к различной зависимости давления света на зеркало от показателя преломления среды. В самом деле, если показатели преломления зеркала

и среды равны соответственно n и n' , то давление света на зеркало равно

$$p = g\nu(1+r), \quad (3)$$

$$\text{где } r = \left(\frac{n - n'}{n + n'} \right)^2$$

— коэффициент отражения зеркала и ν — скорость света в среде.

Учитывая, что для прозрачной изотропной среды

$$D = n^2 E \text{ и } B = H,$$

имеем:

согласно (1)

$$P_M = \frac{1+r}{4\pi c} n S \quad (4)$$

и согласно (2)

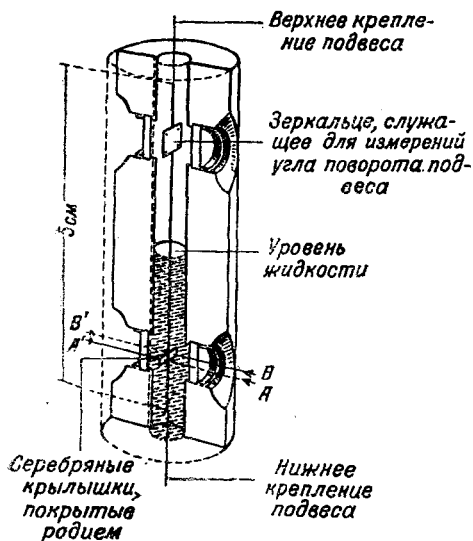
$$P_A = \frac{1+r}{4\pi c n} S = \frac{1}{n^2} P_M, \quad (5)$$

где $S = \frac{c}{4\pi} \text{ [ЕН]}$ — вектор Умова-Пойнтинга падающего на зеркало светового потока в среде.

Таким образом, экспериментальное определение зависимости P от n даёт непосредственный критерий для выбора между (1) и (2).

Измерения производились с помощью установки, показанной на рисунке. На короткопериодном (менее 1 сек.) унифицированном подвесе укреплялся лёгкий стержень, несущий пару миниатюрных крылышек ($5 \times 2 \times 0,1 \text{ мм}$), изготовленных из серебра и покрытых (в целях повышения коэффициента отражения) родием. Нити, поддерживающие стержень, находились в натянутом состоянии, причём как внизу, так и сверху они были жёстко закреплены, во избежание горизонтальных смещений стержня под действием сил поверхностного натяжения жидкости, заполняющей сосуд.

Во всех экспериментах по измерению светового давления основные трудности связаны с необходимостью устранения влияния побочных эф-



фектов, а именно: радиометрического эффекта и конвекционных токов. Уменьшение помех, обусловленных конвекционными токами, достигалось в данном случае возможным уменьшением размеров как самих крылышек, так и сосуда, в котором они помещались. С другой стороны, автор опирался на исследования Тира⁵, показавшего, что радиометрический эффект для большинства газов при атмосферном давлении становится исчезающе малым.

На опыте непосредственно измерялся угол θ закручивания подвеса под действием давления света постоянной интенсивности, падающего на крылышки, причём та часть сосуда, в которой располагались крылышки, попеременно заполнялась либо воздухом, либо жидкостью с известным показателем преломления. Угол закручивания, составлявший около 10^{-5} радиана, измерялся фотоэлектрически по отклонению луча, отражённого от верхнего зеркала (см. рис.). Для увеличения измеряемого эффекта использовалась пара встречных лучей, направляемых первоначально так, как показано на рисунке стрелками A' , B , а затем переносимых (переключением) в положение A , B' , и определялось происходящее при этом изменение угла θ .

Автор указывает, что в воздухе, после перемещения лучей из положения A' , B в положение AB' , новое равновесное положение подвеса устанавливалось настолько быстро, насколько это позволяли его механические параметры. Напротив того, когда крылышки были погружены в жидкость, процесс установления равновесного положения после переключения луча протекал в три фазы: 1) в течение примерно 1 сек. угол θ достигал некоторого, характерного для данных условий, значения, затем 2) в течение нескольких секунд величина угла уменьшалась до значения, лежавшего в различных случаях между 20 и 30% первоначального, и, наконец, 3) угол вновь возрастал, достигая значений, превышающих первоначальное в 1—5 раз, в зависимости от условий. Автор полагает, что вторая и третья фазы обуславливались, соответственно, возникновением разности температур между лицевой и оборотной сторонами крылышек и конвекционными эффектами. Поскольку эффект давления света является мгновенным, а термические эффекты требуют для своего развития известного времени, постольку в качестве меры светового давления в жидкости должно быть выбрано первоначальное равновесное значение угла θ .

В качестве источника света использовалась вольфрамовая лампочка накаливания, причём, для обеспечения одинакового спектрального состава (одинакового значения вектора Умова-Пойнтинга) при измерениях в воздухе и в жидкости, на пути лучей ставился сосуд с той же жидкостью, выполнявший роль светофильтра.

Автор указывает, что точность измерений была невысока и рассматривает свои измерения как предварительные. Помимо малости измеряемого угла θ одним из источников ошибок являлось броуновское движение, создававшее погрешности порядка 10%. Фактором, существенно упрощавшим измерения и увеличивавшим их точность, являлось то, что автор ограничился относительными измерениями и определял не самую величину светового давления в жидкости, а её отношение к давлению в воздухе, т. е. отношение

$\frac{\theta \text{ (в жидкости)}}{\theta \text{ (в воздухе)}}$. Результаты измерения приведены в таблице (на стр. 466).

Нетрудно видеть, что в условиях данного опыта согласно (4)

$$\frac{P_{\text{жидкость}}}{P_{\text{воздух}}} = n^2 \left(\frac{1 + n_0}{n + n_0} \right)^2 \frac{1 + \left(\frac{n - n'}{n + n'} \right)^2}{1 + \left(\frac{1 - n'}{1 + n'} \right)^2}, \quad (6)$$

Среда	Показатель преломления	$\frac{\theta \text{ (в жидкости)}}{\theta \text{ (в воздухе)}}$	
		измеренное	для одинаковых S в среде
Вода	1,33	1,36	1,31
Этиловый эфир	1,35	1,44	1,39
Этиловый спирт	1,36	1,42	1,37
Ксилол	1,50	1,50	1,44
Бензол	1,50	1,53	1,47
Нитробензол	1,55	1,50	1,44
Сероуглерод	1,63	1,65	1,59

где n_0 — показатель преломления материала, из которого сделано окошко, пропускающее световые лучи внутрь сосуда.

Полагая

$$|n'| \gg n, |n - n_0| \ll 1 \text{ и } |1 - n_0| \ll 1,$$

имеем:

$$\frac{\theta_{\text{жидк}}}{\theta_{\text{возд}}} = \frac{P_{\text{жидк}}}{P_{\text{возд}}} \cong n. \quad (7)$$

Если $\frac{\theta_{\text{жидк}}}{\theta_{\text{возд}}}$ отнести к одинаковым значениям вектора Умова-Пойнтинга S в среде (эти величины приведены в последнем столбце таблицы), то согласно (4) (с точностью до различия в коэффициенте отражения) равенство (7) выполняется строго:

$$\left(\frac{\theta_{\text{жидк}}}{\theta_{\text{возд}}} \right)_S = n. \quad (8)$$

В то же время согласно (5) эта величина должна быть равна $\frac{1}{n}$.

Сопоставление с результатами наблюдений недвусмысленно свидетельствует в пользу выражения (4) — световое давление на зеркало оказывается прямо пропорциональным показателю преломления среды, в которую погружено зеркало. Тем самым вопрос о правильном выражении для плотности количества движения электромагнитного поля решается однозначно, в соответствии с соображениями, высказанными И. Е. Таммом. Любопытно, что на эту сторону вопроса сам автор не обратил внимания.

Г. Розенберг

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. G. Barlow, Proc. Roy. Soc. A 87, 1 (1912).
2. R. V. Jones, Nature 167, 439 (1951).
3. См., например, В. Паули, Теория относительности. Гостехиздат, 1947.
4. И. Е. Тамм, Основы теории электричества. Гостехиздат, 1949.
5. J. D. Teat, J. Opt. Soc. Am. 11, 135 (1923).