

ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ
Кафедра «Физика»
Лаборатория оптики, атомной и ядерной физики

ОТЧЕТ
по лабораторной работе № 310
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ САХАРА С
ПОМОЩЬЮ САХАРИМЕТРА**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2021

Цель:

- 1) определение концентрации раствора сахара в воде;
- 2) установление зависимости угла вращения плоскости поляризации от толщины слоя;
- 3) установление зависимости угла вращения плоскости поляризации от длины волны проходящего света.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Видимый свет представляет собой электромагнитные волны, т.е. от источника света распространяется меняющееся в пространстве и во времени электромагнитное поле. Плоская электромагнитная волна может быть охарактеризована тремя векторами: скоростью распространения волны \vec{v} , напряженностью электрического поля \vec{E} и напряженностью магнитного поля \vec{H} .

Векторы напряженности электрического и магнитного полей в электромагнитной волне колеблются во взаимно-перпендикулярных плоскостях и перпендикулярно направлению распространения электромагнитной волны (рис. 1), т.е. электромагнитная волна является поперечной.

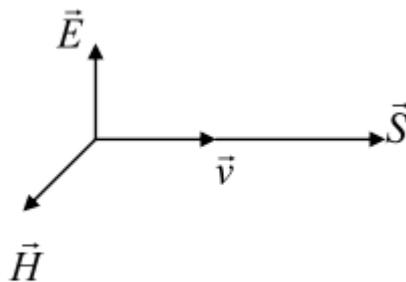


Рис. 1.

В естественном свете, идущем, например, от открытой нагретой поверхности светящегося тела, присутствуют электромагнитные волны, испущенные огромным количеством атомов. Плоскость колебаний светового вектора (плоскость, проходящая через векторы \vec{E} и \vec{v}), в этих волнах ориентирована совершенно случайно, т.е. все возможные ориентации для него равновероятны. Такой свет называют неполяризованным. Неполяризованный свет можно представлять в виде суммы двух плос-

ко поляризованных волн одинаковой интенсивности со взаимно перпендикулярными плоскостями колебания вектора \vec{E} . Свет, в котором плоскость колебаний \vec{E} является постоянной, называется плоско поляризованным или линейно поляризованным.

Плоско поляризованный свет можно получить с помощью приборов, называемых поляризаторами. Плоскостью поляризатора называют плоскость, в которой поляризован естественный свет после прохождения поляризатора.

Оптически активными называют вещества, способные вызывать вращение плоскости поляризации проходящей через них плоско поляризованной волны. К их числу относятся кристаллы (кварц, киноварь), чистые жидкости (скипидар, никотин), растворы оптически активных веществ в неактивных растворителях (водные растворы сахара, винной кислоты).

После прохождения светом в веществе расстояния l плоскость колебания повернется на угол φ относительно первоначального направления.

В растворах угол поворота плоскости поляризации пропорционален пути света в растворе l и концентрации активного вещества c :

$$\varphi = [\alpha]cl,$$

где $[\alpha]$ – удельная постоянная вращения вещества.

В зависимости от направления вращения плоскости поляризации все оптически активные вещества подразделяются на правовращающие и левовращающие.

Угол поворота плоскости поляризации определяется с помощью сахариметра (поляриметра).

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Углы поворота плоскости поляризации раствором с неизвестной c_X и известной c_E концентрациями:

$$\varphi_X = [\alpha]c_Xl, \tag{1}$$

$$\varphi_E = [\alpha] c_E l, \quad (2)$$

где l – длина кюветы с раствором.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Таблица результатов измерений

№ п/п	φ_X	$\Delta\varphi_X$	$\Delta\varphi_X^2$	φ_E	$\Delta\varphi_E$	$\Delta\varphi_E^2$	φ_C	$\Delta\varphi_C$	$\Delta\varphi_C^2$	φ_D	$\Delta\varphi_D$	$\Delta\varphi_D^2$
1	36,7	-0,2	0,04	26,1	-0,33	0,1089	24,0	-1,0	1,00	46,2	-1,03	1,0609
2	36,2	-0,7	0,49	27,2	0,77	0,5929	24,3	-0,7	0,49	47,5	0,27	0,0729
3	37,1	0,2	0,04	25,9	-0,53	0,2809	26,4	1,4	1,96	46,9	-0,33	0,1089
4	36,9	0,0	0,00	26,1	-0,33	0,1089	25,7	0,7	0,49	47,4	0,17	0,0289
5	36,6	-0,3	0,09	26,2	-0,23	0,0529	24,6	-0,4	0,16	47,2	-0,03	0,0009
6	37,5	0,6	0,36	26,5	0,07	0,0049				46,8	-0,43	0,1849
7	37,8	0,9	0,81	27,2	0,77	0,5929				48,1	0,87	0,7569
8	37,2	0,3	0,09	26,5	0,07	0,0049				47,5	0,27	0,0729
9	36,8	-0,1	0,01	26,7	0,27	0,0729				47,8	0,57	0,3249
10	36,2	-0,7	0,49	25,9	-0,53	0,2809				46,9	-0,33	0,1089
сред- ние зна- чения	36,9			26,43			25,0			47,23		
Σ		0	2,42		0	2,101		0	4,1		0	2,721

$$l_D = 20 \text{ см}$$

$$l_X = l_E = 10 \text{ см}$$

$$c_E = 10\%$$

1. Определение концентрации неизвестного раствора сахара

Из формул (1) и (2) имеем:

$$c_X = \frac{\varphi_X}{\varphi_E} c_E.$$

$$c_X = \frac{36,9}{26,43} \cdot 10 = 13,96 (\%)$$

Вычислим случайные погрешности прямых измерений углов φ_X и φ_E .

$$\Delta\varphi_X = t_{n,P} \cdot S(\varphi_X) = t_{n,P} \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta\varphi_{Xi})^2}$$

$t_{n,P}$ – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа произведённых измерений n .

$$P = 0,9, \quad n = 10, \quad t_{n,P} = 1,83$$

$$\Delta\varphi_X = 1,83 \cdot \sqrt{\frac{2,42}{10 \cdot 9}} = 0,30$$

$$\varphi_X = 36,9 \pm 0,3$$

$$\Delta\varphi_E = t_{n,P} \cdot S(\varphi_E) = t_{n,P} \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta\varphi_{Ei})^2}$$

$$\Delta\varphi_E = 1,83 \cdot \sqrt{\frac{2,101}{10 \cdot 9}} = 0,28$$

$$\varphi_E = 26,4 \pm 0,3$$

Вычислим погрешность неизвестной концентрации c_X .

$$\Delta c_X = c_X \sqrt{\left(\frac{\Delta\varphi_X}{\varphi_X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\varphi_E}{\varphi_E}\right)^2}$$

$$\Delta c_X = 13,96 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,3}{36,9}\right)^2 + \left(\frac{0,28}{26,43}\right)^2} = 0,186 (\%)$$

$$c_X = (14,0 \pm 0,2) \%$$

3.2. Определение зависимости угла поворота плоскости поляризации от толщины слоя вещества, проходимого светом

Необходимо проверить справедливость равенства:

$$\frac{\varphi_D}{\varphi_E} = \frac{[\alpha] c_E l_D}{[\alpha] c_E l} = \frac{l_D}{l}$$

$$\frac{\varphi_D}{\varphi_E} = \frac{47,23}{26,43} = 1,8$$

$$\frac{l_D}{l} = \frac{20}{10} = 2$$

Угол поворота плоскости поляризации увеличивается с увеличением толщины слоя вещества (длины кюветы).

3.3. Определение зависимости угла поворота плоскости поляризации от длины волны

Вычислим случайную погрешность прямых измерений угла φ_C .

$$\Delta\varphi_C = t_{n,P} \cdot S(\varphi_C) = t_{n,P} \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta\varphi_{Ci})^2}$$

$$P = 0,9, \quad n = 5, \quad t_{n,P} = 2,13$$

$$\Delta\varphi_C = 2,13 \cdot \sqrt{\frac{4,1}{5 \cdot 4}} = 0,96$$

$$\varphi_C = 25,0 \pm 1,0$$

При замене светофильтра угол поворота плоскости поляризации изменился от $\varphi_E = 26,4 \pm 0,3$ до $\varphi_C = 25,0 \pm 1,0$.

ВЫВОД

В результате проведенных измерений и вычислений была определена концентрация раствора сахара в воде $c_X = (14,0 \pm 0,2)\%$. Установлено, что угол поворота плоскости поляризации прямо пропорционален длине вращающего слоя и зависит от длины волны проходящего света.

Ответы на контрольные вопросы

1. Какой свет (излучение) называется плоско поляризованным (линейно поляризованным)? Что называется плоскостью поляризации светового луча?

Свет, в котором вектор \vec{E} колеблется в определённой плоскости (а его конец, если смотреть с конца вектора скорости, описывает прямую линию), называется **плоско поляризованным** (или линейно поляризованным).

Плоскость, проходящая через направление колебаний электрического вектора \vec{E} линейно поляризованной световой волны и направление распространения этой волны, называется **плоскостью поляризации**.

2. Какие формы поляризации может иметь поляризованный свет?

Поляризованный свет может быть линейно поляризованным, эллиптически поляризованным, поляризованным по кругу (частный случай эллиптически поляризованного света).

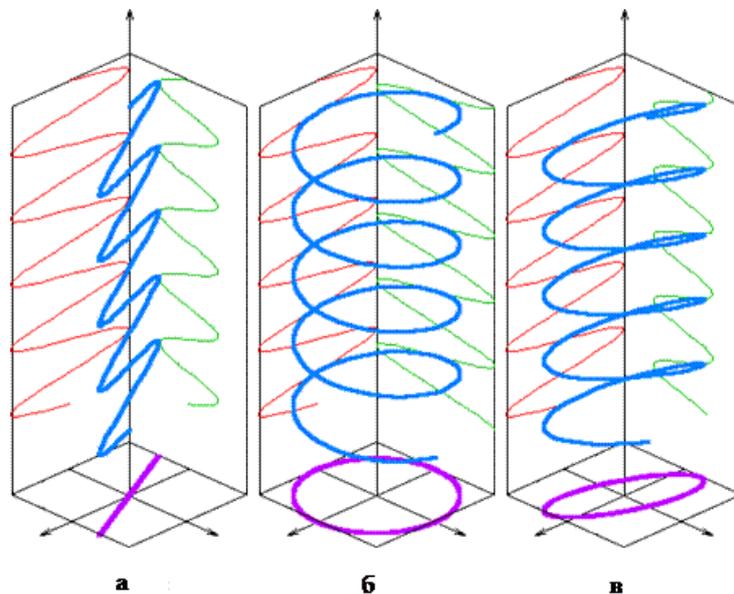


Рис. Траектория конца светового вектора (вектора \vec{E}) волны, поляризованной а) – линейно, б) – по кругу, в) – эллиптически

3. Что такое оптическая анизотропия?

Оптическая анизотропия – явление зависимости свойств среды от направления в кристалле. В частности, от направления в кристалле может зависеть скорость распространения света и показатель преломления, что является следствием

анизотропии электрических свойств – относительной диэлектрической проницаемости и поляризуемости вещества.

4. Какие вещества являются оптически активными?

Оптически активными называют вещества, способные вызывать вращение плоскости поляризации проходящей через них плоско поляризованной волны. К таким веществам относятся некоторые кристаллические тела (например, кварц, киноварь), чистые жидкости (скипидар, никотин) и растворы оптически активных веществ в неактивных растворителях (водные растворы сахара, винной кислоты).

Оптическая активность обуславливается асимметрией молекул вещества.

В зависимости от направления вращения плоскости поляризации все оптически активные вещества подразделяются на право- и левовращающие. Если смотреть навстречу лучу, то в правовращающих веществах плоскость поляризации будет поворачиваться по часовой стрелке, левовращающих – против.

5. С помощью каких устройств и оптических явлений можно преобразовать естественный (неполяризованный) свет в плоско поляризованный?

Преобразование естественного (неполяризованного) света в плоско поляризованный возможно

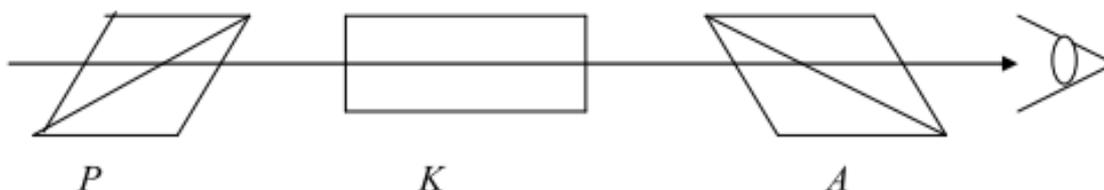
- 1) при двойном лучепреломлении света;
- 2) при отражении и преломлении света на границе раздела двух диэлектриков;
- 3) при прохождении света через некоторые кристаллы, обладающие свойством дихроизма.

Устройство, преобразующее естественный (неполяризованный) свет в плоско поляризованный, называется **поляризатором**.

Поляризаторы, основанные на свойстве дихроизма, называются **поляроидами**.

6. Какие основные оптические элементы содержит сахариметр (поляриметр)? Их назначение.

Сахариметр состоит из двух поляризаторов (Р – поляризатор, А – анализатор), между которыми помещается кювета К с исследуемым веществом.



Поляризатор Р преобразует естественный (неполяризованный) свет в плоско поляризованный. При прохождении плоско поляризованного света через кювету с оптически активным веществом плоскость поляризации поворачивается на некоторый угол. Пропускание анализатора А меняется в соответствии с законом Малюса при изменении угла между плоскостью поляризации анализатора и плоскостью поляризации падающего на него света. Вращая анализатор, можно определить угол поворота плоскости поляризации.

7. Сформулируйте закон Малюса.

Интенсивность линейно поляризованного света после прохождения его через анализатор пропорциональна исходной интенсивности и квадрату косинуса угла между плоскостями поляризации падающего света и анализатора.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi$$

I_1 и I_2 – соответственно интенсивности света, падающего на анализатор и вышедшего из него.