

Лабораторная работа № 4.3

Определение концентрации раствора соли при помощи рефрактометра

- Цель работы :
- а) изучить законы преломления света ;
 - б) ознакомиться с устройством и принципом работы рефрактометра;
 - в) определить концентрацию раствора соли с помощью рефрактометра;

Законы преломления

Абсолютным показателем преломления называют величину, показывающую, во сколько раз фазовая скорость света c в вакууме больше, чем скорость света v в данной среде :

$$n = \frac{c}{v}$$

Если свет падает под углом i на границу раздела двух изотропных сред (рис.1), то относительным показателем преломления n_{21} второй среды относительно первой называют величину :

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{или} \quad n_{21} = \left(\frac{c}{v_2} \right) \left(\frac{v_1}{c} \right) = \frac{n_2}{n_1},$$

где n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления соответственно среды 1 и 2.

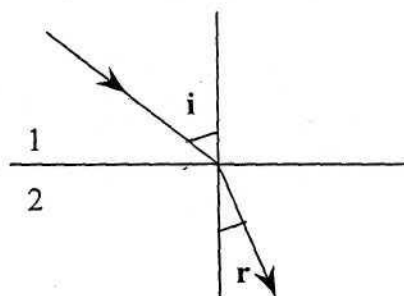


Рис.1.

При этом выполняются законы преломления :

- а) падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр, проведенный к границе раздела сред в точке, падения лежат в одной плоскости ;
- б) отношение синуса угла падения i к синусу угла преломления r равно относительному показателю преломления второй среды относительно первой :

$$n_{21} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

**Явление полного внутреннего отражения.
Предельные углы падения и преломления.**

Световые лучи, переходя из среды с большим показателем преломления (оптически более плотной) в среду с меньшим показателем преломления (оптически менее плотную), удаляются от перпендикуляра, восстановленного в точке падения луча к границе раздела сред (рис.2). Как бы не изменялся при этом угол падения i , угол преломления r в этом случае всегда остаётся большим угла падения ($r > i$). При некотором угле падения $i = i_0$ угол преломления достигает наибольшего значения, т.е. 90° . Преломленный луч при этом скользит вдоль поверхности, разделяющей среды.

Угол падения i_0 , которому соответствует угол преломления $r = 90^\circ$, называется предельным углом падения.

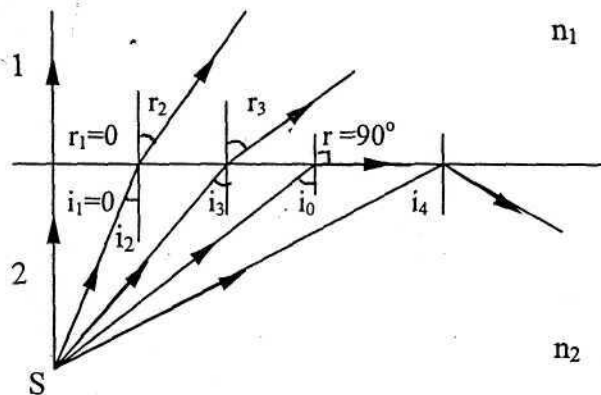


Рис.2.

Все лучи, падающие из среды оптически более плотной под углом, большим предельного угла падения ($i > i_0$), в среду оптически менее плотную не войдут, т.е. будут полностью отражены (рис.2). Это явление называется полным внутренним отражением.

Если же световые лучи переходят из среды с меньшим показателем преломления в среду с большим показателем преломления (рис.3), то угол преломления всегда меньше угла падения ($r < i$).

Угол преломления r_0 , соответствующий углу падения $i = 90^\circ$, называется предельным углом преломления.

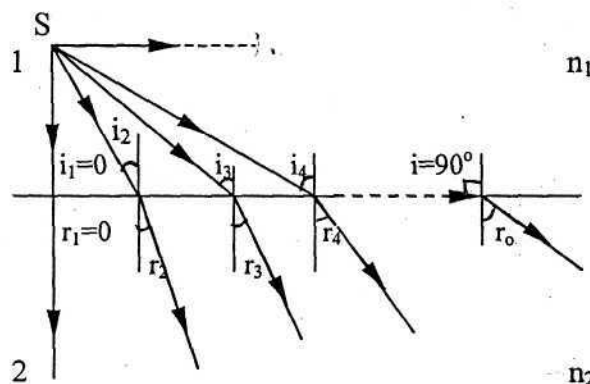


Рис.3.

Значения предельных углов падения и преломления зависят от относительного показателя преломления граничащих сред. Если луч падает под предельным углом падения (рис.2), то закон преломления, записанный для этого случая, примет вид :

$$\frac{\sin i_0}{\sin 90^0} = \frac{n_1}{n_2}, \text{ откуда } \sin i_0 = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

Для луча(рис.3), угол падения которого $i = 90^0$, закон преломления будет иметь вид :

$$\frac{\sin 90^0}{\sin r_0} = \frac{n_2}{n_1}, \text{ откуда } \sin r_0 = \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

Сравнивая (1) и (2), имеем :

$$\sin i_0 = \sin r_0$$

Это означает, что для данных двух сред предельные углы падения и преломления равны. Поэтому говорят просто о предельном угле для двух граничащих сред, величина которого будет тем больше, т.е. угол тем ближе к 90^0 , чем меньше различаются показатели преломления сред, т.е. чем ближе отношение $\frac{n_1}{n_2}$ к единице. Если одна из граничащих сред — вакуум или воздух, тогда $\sin i_0 = \sin r_0 = \frac{1}{n}$, где

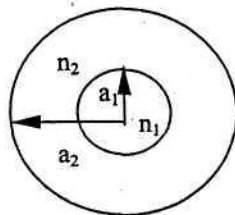
n — абсолютный показатель преломления второй среды.

Зависимость предельного угла от относительного показателя преломления двух сред использована при устройстве рефрактометра.

Рассмотренное нами явление полного внутреннего отражения применяется в световодах.

Световоды (волновод оптический) — закрытые устройства для направленной передачи света. Они позволяют значительно уменьшить потери световой энергии при её передаче на большие расстояния.

Наиболее перспективный и широко применяемый в настоящее время — гибкий диэлектрический волоконный световод. В простейшем варианте он представляет собой длинную гибкую нить из оптически прозрачного материала, сердцевина которой радиуса a_1 имеет показатель преломления n_1 , а оболочка с радиусом a_2 — показатель преломления $n_2 < n_1$.



Поперечное сечение волоконного световода

Поэтому лучи, распространяющиеся под достаточно малыми углами к оси световода испытывают полное внутреннее отражение на поверхности раздела сердцевина-оболочка и распространяются только по сердцевине.

Материал для изготовления волоконных световодов должен обладать способностью вытягиваться в тонкую нить, быть прозрачным и иметь разные показатели преломления сердцевины и оболочки. Эти требования пока в основном ограничивают круг материалов пластмассами и стёклами (они должны иметь высокую степень химической чистоты для очень низких оптических потерь).

Важнейшей характеристикой световодов являются оптические потери, обусловленные поглощением и рассеянием света. В волоконных световодах на основе кварцевого стекла они ~ 1 дБ/км.

Волоконные световоды находят широкое применение в медицине (н-р, эндоскопия), в вычислительной технике, системах оптической связи и т.д.

В 1990 г. в мире произведено свыше 5 млн. километров волоконных световодов для волоконно-оптических систем. В 1988 г. проложена первая подводная волоконно-оптическая система связи между Америкой и Европой, а в 1989 г. – транстихоокеанская волоконно-оптическая система Америка – Гавайские острова – Япония.

Рефрактометр. Ход лучей в рефрактометре

Рефрактометр, применяемый в данной работе, предназначен для определения показателя преломления жидкости.

Тонкий слой исследуемого прозрачного раствора помещается между двумя слоями стекла – призмами, показатель преломления которых ($n_1 = 1,9$) больше, чем у раствора (рис.4)

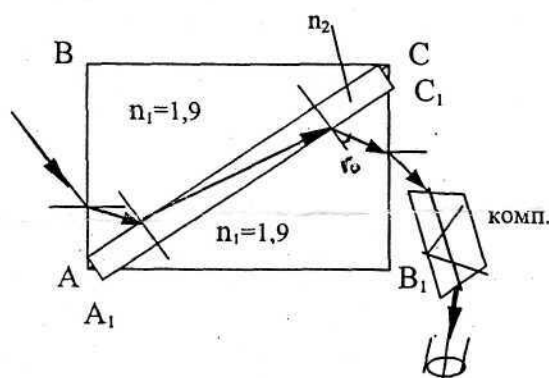


Рис.4.

От источника света лучи направляются в призму ABC (в приборе – верхняя призма). Матовой гипотенузной поверхностью AC этой призмы свет рассеивается, поэтому призму ABC называют осветительной. Затем рассеянные световые лучи, пройдя через слой исследуемой жидкости, падают на гипотенузную поверхность A_1C_1 призмы $A_1B_1C_1$. При этом углы падения лучей на поверхность A_1C_1 могут принимать значения от 0° до 90° , а углы преломления при переходе в призму $A_1B_1C_1$ – от 0° до r_0 , где r_0 – предельный угол преломления сред раствор-стекло, границей раздела которых служит поверхность A_1C_1 . Наибольший угол преломления r_0 при этом будут иметь те лучи, угол падения которых на поверхность A_1C_1 будет равен 90° .

Пройдя сквозь анализаторную призму и преломившись на ее поверхности B_1C_1 , световые лучи проходят затем через компенсаторную призму (комп.), зрительную трубу и попадают в глаз наблюдателя.

Направления лучей в световом потоке, выходящем из анализаторной призмы $A_1B_1C_1$ оказываются ограниченными. Так как лучей, углы преломления которых на этой поверхности были бы больше предельного (то есть r_0) быть не может, то при фокусировании часть поля зрения зрительной трубы, соответствующая этим лучам, окажется затемненной. При этом границу светотени образуют лучи, угол падения которых на поверхность A_1C_1 был равен 90° и угол преломления – r_0 .

Если изменить концентрацию раствора, то значение предельного угла тоже изменится вследствие изменения относительного показателя преломления системы раствор-стекло. Это приведет к соответствующему смещению границы светотени в поле зрения трубы. Наблюдая за смещением границы светотени, можно судить об изменении показателя преломления раствора, а следовательно, также и о концентрации раствора.

Вопросы к зачету

1. Абсолютный и относительный показатели преломления.
2. Законы преломления.
3. Полное внутреннее отражение. Предельные углы падения и преломления.
4. Применение явления полного внутреннего отражения. Световоды.
5. Построить ход лучей в рефрактометре.
6. Объяснить, почему положение границы светотени в рефрактометре зависит от концентрации раствора.

Литература

1. Ландсберг Г.С. "Оптика", М., Гостехтеориздат, §§ 127, 147, 1957.
2. Трофимова Т.И. "Курс физики", М., Высшая школа, § 165, 1990.
3. Фриш С.Э., Тиморева А.В. "Курс общей физики", М., Гостехтеориздат, т.3, §§ 251, 155, 275, 1963.