

**Министерство общего и профессионального  
образования Российской Федерации  
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ВРАЩЕНИЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ**

**Методические рекомендации**

**Иркутск 1998**

## Цель работы

1. Изучение вопросов поляризации света и вращения плоскости поляризации различными веществами.
2. Освоение метода поляриметрии.
3. Знакомство с веществами, обладающими способностью вращения плоскости поляризации световых волн.

Представлены основные положения теории поляризации световых волн. Проанализировано вращение плоскости поляризации различными веществами. Описан метод поляриметрии для определения оптических характеристик вещества. Предлагается определить оптическую активность кварцевой пластинки и растворов сахара различной концентрации.

Предназначены для студентов 1 и 2 курсов естественных факультетов.

Библиогр. 4 назв. Ил. 7.

Составители: к. ф.-м. н., доц. Л. И. Алексеева,  
к. х. н., доц. Т. Э. Московская,  
инженер В. А. Кузнецова,  
(каф. общей и космической физики)

Рецензент к. ф.-м. н., доц. Л.А. Скоробогатова

## Основные приборы и принадлежности

Поляриметр, три прямоугольные кюветы для растворов сахара различной концентрации, набор жидких и твердых оптически активных веществ.

### 1. Поляризация света

По современным представлениям свет - это сложный электромагнитный процесс, изменяющийся во времени и в пространстве, и обладающий одновременно волновыми и квантовыми свойствами. В таких явлениях, как дифракция, интерференция, дисперсия, поляризация проявляются волновые свойства света. При поглощении и излучении света атомами или молекулами вещества проявляются его квантовые свойства. Это наблюдается, например, при фотоэффекте, люминесценции, вынужденном (лазерном) или тепловом излучении.

В соответствии с максвелловской теорией электромагнитного поля электромагнитная волна представляет собой периодическое изменение электрического и магнитного полей в пространстве и во времени, распространяющееся во все стороны из той области, где происходят электромагнитные колебания. Распространяясь в пространстве волна несет поток электромагнитной энергии, тем больший, чем больше величины напряженности электрического поля  $\vec{E}$  и индукции магнитного поля  $\vec{B}$ , характеризующие поле. Бегущая плоская поперечная электромагнитная волна может быть представлена совокупностью изменяющихся и создающих друг друга электрического и магнитного полей. Векторы напряжен-

ности электрического поля  $\vec{E}$  и индукции магнитного поля  $\vec{B}$  в любой момент времени взаимно перпендикулярны в каждой точке волны и лежат в плоскости, перпендикулярной вектору скорости распространения волны  $\vec{V}$ . Вектора  $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$  и  $\vec{V}$  образуют право-винтовую систему (рис.1). Колебания  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  происходят в одинаковой фазе и описываются уравнениями:

$$\begin{aligned} E &= E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0) \\ B &= B_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E_0$  и  $B_0$  - амплитуды напряженности электрического и индукции магнитного полей,

$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$  - круговая частота,

$\nu = \frac{1}{T}$  - частота и период,

$k = \frac{\omega}{V} = \frac{2\pi}{TV} = \frac{2\pi}{\lambda}$  - волновое число,

$\lambda$  - длина волны,

$\varphi_0$  - начальная фаза в точке с координатой  $x = 0$ .

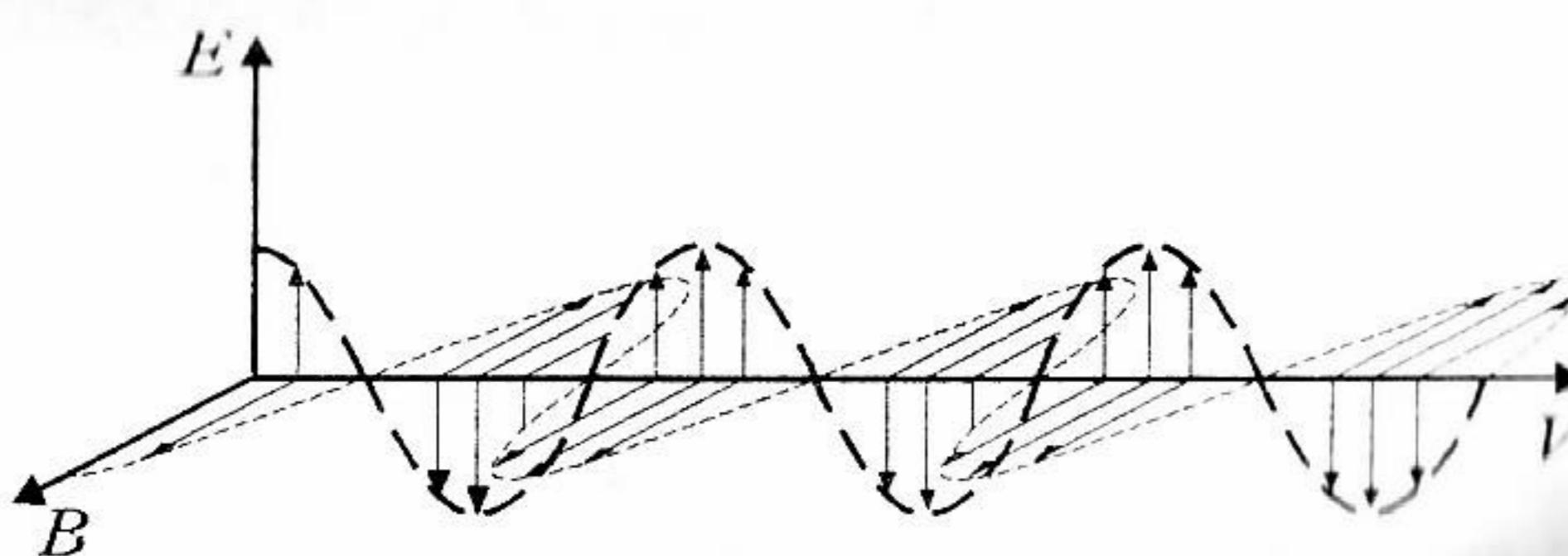


Рис. 1. Бегущая плоская электромагнитная волна

Эксперимент и теория показывают, что физическое, химическое, физиологическое и другие виды взаимодействия света с ве-

ществом обусловлены, главным образом, изменением вектора  $\vec{E}$  электромагнитной волны, колебания вектора  $\vec{B}$  можно при этом не учитывать. Поэтому световой луч можно описывать изменением вектора  $\vec{E}$ , помня о существовании перпендикулярного ему вектора  $\vec{B}$ . Электромагнитная волна, изображенная на рис. 1, неполяризована, так как колебания вектора  $\vec{E}$  происходят в одной плоскости - плоскости чертежа.

Естественные и искусственные макроскопические источники света, такие, как лампы накаливания, газоразрядные лампы, Солнце и т.д., представляют собой совокупность множества атомных излучателей, которые испускают кванты света независимо друг от друга. Пространственная ориентация векторов  $\vec{E}$  и моменты актов испускания отдельными частицами распределены хаотически. Поэтому световая волна, излучаемая источником, характеризуется быстро изменяющимися колебаниями векторов  $\vec{E}$ , плоскости которых ориентированы с равной вероятностью во всех возможных направлениях, перпендикулярных направлению распространения светового луча. Такой свет называется естественным (неполяризованным) и может быть изображен совокупностью векторов  $\vec{E}$ , расположенных хаотично в сечении, перпендикулярном распространению луча (рис. 2а). Свет, в котором колебания вектора  $\vec{E}$  каким-либо образом упорядочены, называется поляризованным. Так, если в результате некоторых воздействий появляется преимущественное (но не исключительное) направление колебаний вектора  $\vec{E}$ , то свет становится частично поляризованным (рис. 2б). Если вектор  $\vec{E}$  (а, следовательно, и  $\vec{B}$ ) колеблется в определенной плоскости, то свет называется линейно поляризованным. Проекция такого вектора на плоскость, перпендикулярную направлению распространения светового луча, может быть произвольной и определяется углом  $\varphi$ , который называется азимутом поляризации (рис. 2д).

Свет, излучаемый каким-либо отдельно взятым элементарным излучателем (атомом, молекулой), в каждом акте излучения

всегда поляризован. Особенности элементарного акта излучения света, а также множество физических процессов, нарушающих осевую симметрию естественного света, приводят к тому, что свет всегда частично поляризован. Поляризация света может происходить при отражении и преломлении на границе раздела двух сред, а также при прохождении через неоднородную (анизотропную) среду либо вследствие двойного лучепреломления, либо из-за различия коэффициентов поглощения световых колебаний в разных кристаллографических направлениях.

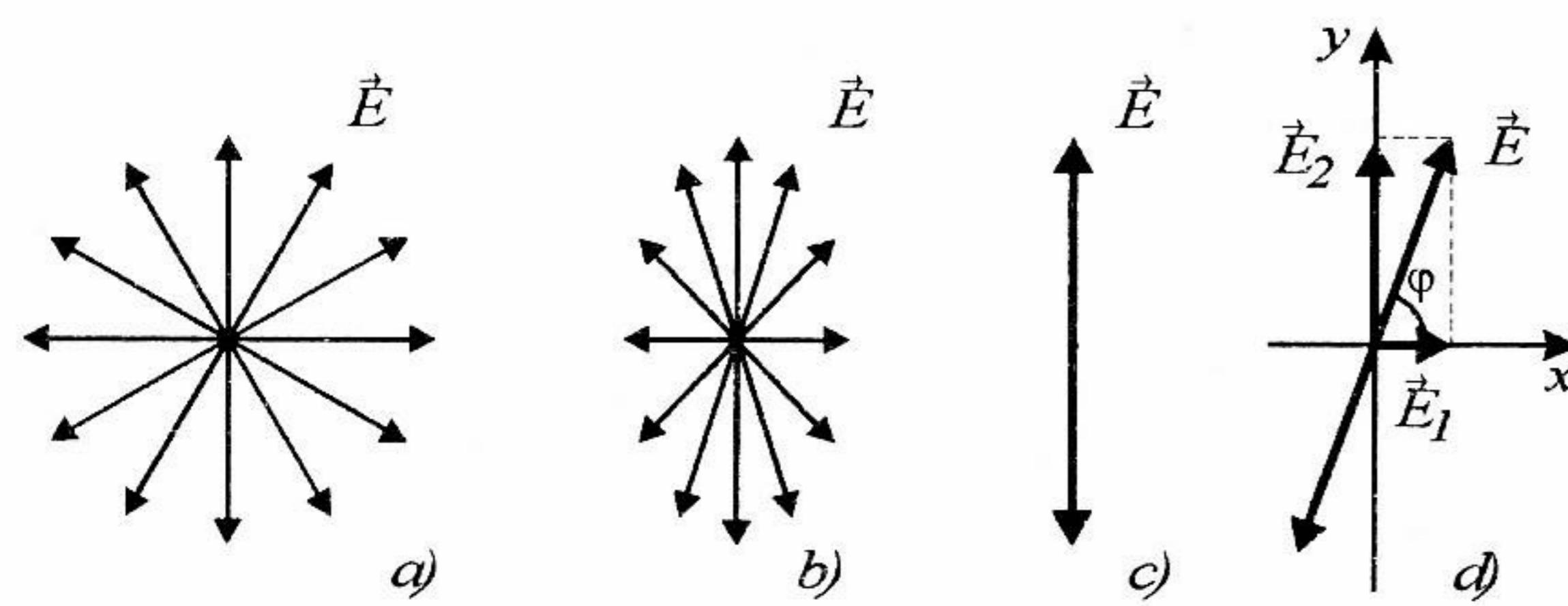


Рис. 2. Проекционная картина естественного (а), частично (б) и линейно (с, д) поляризованного света.  $\phi$  - азимут поляризации

Линейно поляризованный свет можно получить из естественного с помощью приборов, называемых поляризаторами. Поляризаторы представляют собой пластинку, вырезанную из анизотропных кристаллов так, чтобы оптическая ось кристалла совпадала с плоскостью пластиинки. Оптическая ось - это такое направление в кристалле, проходя вдоль которого свет не поляризуется. При прохождении света поляризатор полностью пропускает колебания, параллельные оптической оси кристалла, и полностью или частично задерживает колебания, перпендикулярные этой оси.

### 1.1. Пространственно-геометрические представления поляризованного света

Рассмотрим пространственно-геометрические представления о возможности получения линейной, круговой и эллиптической поляризации света. Вид поляризации зависит от разности фаз взаимодействующих электромагнитных волн. Так, линейно поляризованный свет может быть получен при сложении двух взаимно перпендикулярных волн с векторами  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$ . Если амплитуды этих волн равны ( $E_1 = E_2$ ) и колебания совпадают по фазе, результирующая волна будет линейно поляризована с азимутом  $\varphi = +45^\circ$  (рис. 3). Если разность фаз окажется равной  $\pi$ , то азимут результирующей волны будет равен  $\varphi = -45^\circ$ .

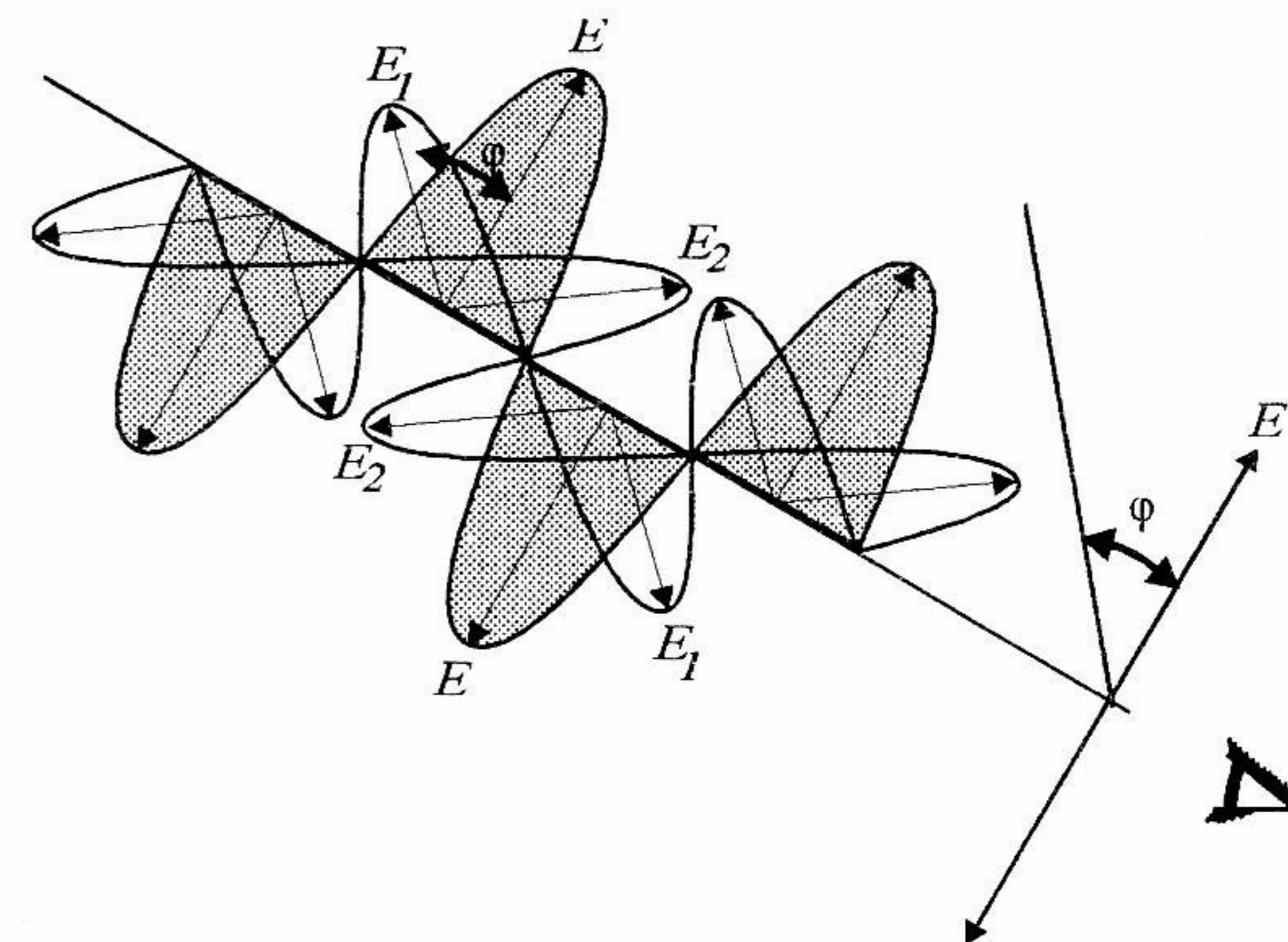


Рис. 3. Сложение взаимно перпендикулярных поляризованных волн, совпадающих по фазе. Результирующая волна заштрихована

Если амплитуды двух волн равны ( $E_1 = E_2$ ), но разность фаз окажется равной  $\frac{\pi}{2}$  (разность хода  $\Delta = \frac{\lambda}{4}$ ), то при отставании

первой волны по фазе вектор напряженности  $\vec{E}$  результирующей волны будет описывать правовинтовую линию по поверхности кругового цилиндра, а при опережении - левовинтовую.

В более сложном случае, когда  $E_1 \neq E_2$ , проекционная картина представляет собой эллипс правого или левого вращения.

Итак, очевидно, что возникновение линейной или круговой поляризации определяется разностью фаз двух волн. Если же разность фаз окажется переменной величиной, то возникает неполяризованная волна - естественный свет. Линейная, круговая и эллиптическая поляризация - три основных типа поляризации света. При этом эллиптическая поляризация включает два других типа, как более простые случаи. Если при наблюдении навстречу лучу движение вектора  $\vec{E}$  происходит по часовой стрелке, то поляризация называется правой, в противном случае - левой.

Необходимо отметить, что приведенные рассуждения о получении поляризованного света при сложении двух волн имеют очень важный обратный результат, суть которого состоит в следующем.

Всякая линейно поляризованная волна с вектором напряженности  $\vec{E}$ , изменяющимся по гармоническому закону, может быть разложена на две компоненты с правой ( $\vec{E}_1$ ) и левой ( $\vec{E}_2$ ) круговой поляризацией. Из-за сложности пространственного изображения на чертеже компонент с правым и левым винтовым вращением ограничимся проекционной картиной. На рис. 4 векторами со штрихами ( $E'$ ,  $E'_1$ ,  $E'_2$ ,  $E''_1$ ,  $E''_2$  и т.д.) обозначено положение векторов  $\vec{E}$ ,  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  в различные моменты времени. За время равное половине периода  $\frac{T}{2}$  вектора  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  описывают половину окружности, перемещаясь, первый - по часовой стрелке, а второй - против нее.

Если амплитуды двух волн равны ( $E_1 = E_2$ ), но разность фаз окажется равной  $\frac{\pi}{2}$  (разность хода  $\Delta = \frac{\lambda}{4}$ ), то при отставании

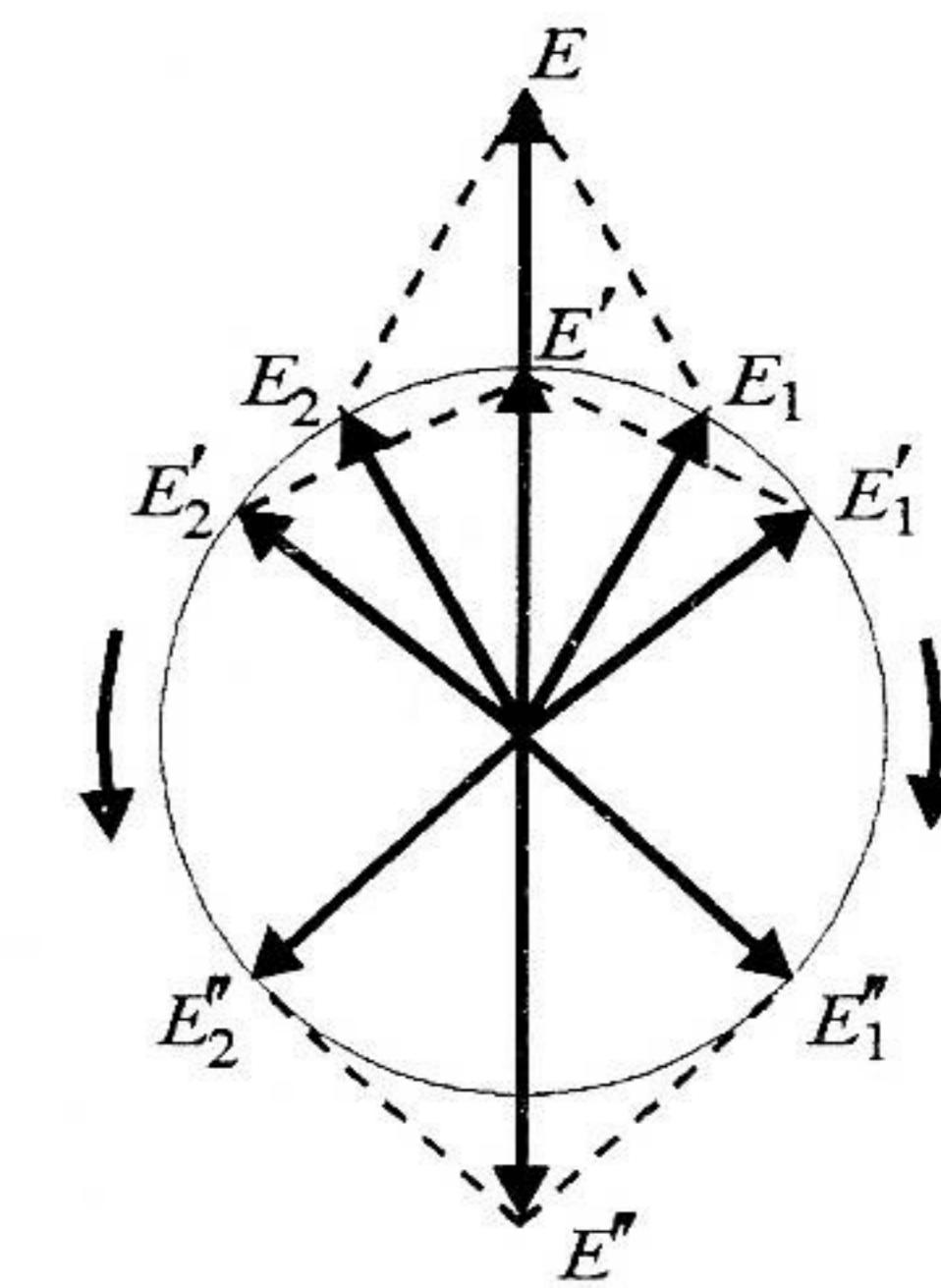


Рис. 4. Проекционная картина разложения линейно поляризованной электромагнитной волны с вектором напряженности  $\vec{E}$  на две компоненты с правой ( $\vec{E}_1$ ) и левой ( $\vec{E}_2$ ) круговой поляризацией

Описанное разложение линейно поляризованного света на две составляющих с правой и левой круговой поляризацией является чрезвычайно важным для понимания сути явления вращения плоскости поляризации света.

## 1.2. Вращение плоскости поляризации

Вращение плоскости поляризации было открыто Араго в 1811 г. при изучении оптических свойств кварца. Хотя в настоящее время известны вещества, вращающая способность которых в несколько раз больше, чем у кварца (например, киноварь), тем не менее кварц до настоящего времени остается классическим объектом для демонстрации данного явления и, более того, используется во многих приборах. Заметим, что плавленный (аморфный) кварц вращательной способностью не обладает.

Кварц является одноосным кристаллом, так что при пропускании света вдоль оптической оси он должен был бы вести себя как изотропное тело. Однако это не так. При прохождении линейно поляризованного света через кварц его плоскость поляризации поворачивается на некоторый угол  $\theta$ . Эксперимент показывает, что этот угол поворота  $\theta$  зависит от длины волны  $\lambda$  поляризованного света и от толщины кристалла  $l$ :

$$\theta = \alpha l \quad (2)$$

Коэффициент  $\alpha$  характеризует оптическую активность кварца (вращательную способность), которая зависит от длины волны. Так пластина кварца толщиной 1 мм вращает плоскость поляризации красного света на  $15^\circ$ , зеленого - на  $27^\circ$ , фиолетового - на  $51^\circ$ . Для желтой линии паров натрия

$$\lambda = 589 \text{ нм}, \alpha = 21,7 \text{ град/мм} \quad (3)$$

При наблюдении вращения плоскости поляризации в кварце обнаружено, что в природе существует два вида кристаллов кварца: правовращающие (или положительные (+)) и левовращающие (или отрицательные (-)). Величина вращательной способности в обоих случаях одинакова  $\alpha_+ = \alpha_-$ , т.е., если поляризованный свет, прошедший через кристалл, отразится от зеркала и вторично пройдет через тот же кристалл, то направление плоскости поляризации восстановится.

Применение чувствительных методов исследования показало, что явление вращения плоскости поляризации весьма распространено и проявляется в большей или меньшей степени очень многими и некристаллическими веществами. К их числу принадлежат чистые жидкости (например, скпицдар) и растворы многих веществ в неактивных растворителях (например, водные растворы сахара). В настоящее время известны тысячи активных веществ, обладающих весьма различной вращательной способностью от едва заметной до очень большой. Так, например, никотин в слое толщиной 10 см поворачивает плоскость поляризации желтых лучей на  $164^\circ$ .

В 1831 г. Ж. Б. Био экспериментально установил для раство-

ров, что угол поворота плоскости поляризации  $\theta$  прямо пропорционален толщине слоя раствора и концентрации  $C$  активного вещества:

$$\theta = [\alpha] l C \quad (4)$$

Коэффициент пропорциональности  $[\alpha]$ , аналогично коэффициенту  $\alpha$  для кристаллов, характеризует природу вещества и называется удельным вращением. Величина удельного вращения  $[\alpha]$  зависит от длины волны падающего света и окружающей температуры, и может меняться при изменении растворителя.

Закон Био (4) показывает, что для растворенных веществ способность вращения плоскости поляризации обусловлена свойствами молекул вещества. Величина угла поворота возрастает пропорционально числу молекул на пути луча света, т.е. пропорционально толщине слоя и концентрации вещества. В соответствии с этим наблюдается вращение и в аморфных веществах, состоящих из тех же молекул (например, сахарные леденцы), и в парах скпицдара или камфоры. Таким образом, в отличие от кристаллических веществ вращательная способность таких веществ не зависит от агрегатного состояния.

### 1.3. Теория вращения плоскости поляризации

В основе теории вращения плоскости поляризации лежит гипотеза, согласно которой скорость распространения света в активных веществах различна для лучей, поляризованных по правому и левому кругу. Это означает, что линейно поляризованный луч с вектором  $\vec{E}$  в веществе разлагается на две компоненты с правой (+) и левой (-) круговой поляризацией, которые проходят по кристаллу с разной скоростью. Так, например, для правовращающего кварца:

$$V_+ > V_-, \quad n_+ < n_- \quad (5)$$

где  $V$  - скорость света, поляризованного по кругу,  $n$  - соответствующие показатели преломления, которые связывают скорос-

ти света в веществе и в вакууме  $n = \frac{c}{V}$ . Так как левая волна распространяется с меньшей скоростью, то на выходе из кристалла она окажется отстающей по фазе относительно правой волны. Результирующий вектор напряженности окажется повернутым на некоторый угол  $\theta$ , который будет зависеть от структуры вещества, длины пути света в веществе  $l$  и длины волны падающего света  $\lambda_0$ , но не будет зависеть от интенсивности света:

$$\theta = \frac{\pi l}{\lambda_0} (n_- - n_+) \quad (6)$$

Вывод формулы (6) приведен в приложении.

## 2. Оптически активные вещества

Оптически активные вещества подразделяются на два вида. К первому относятся вещества оптически активные в любом агрегатном состоянии, как молекулярном (растворы), так и кристаллическом. К ним относятся сахар, камфора, винная кислота. Ко второму типу относятся вещества, которые оптически активны только в кристаллическом состоянии (кварц, киноварь).

Вращать плоскость поляризации способны только асимметричные среды. Асимметрией среды называется способность вещества (молекул, кристаллов) существовать в двух формах, правой и левой - зеркальными отражениями друг друга (подобно правой и левой рукам). Винтообразность, спиральность структуры внутренне присуща асимметричным веществам. Асимметричные молекулы не имеют плоскости и центра симметрии.

Подавляющая часть асимметричных молекул органических веществ содержит асимметричный элемент структуры - атом углерода, связанный четырьмя валентными связями с различными атомами (рис. 5а). Пространственная структура этой группы является тетраэдроподобной. Ее можно считать как бы элементарной ячейкой винтовой структуры. Простейшая молекула метана  $\text{CH}_4$  является тетраэдром, в центре которого расположен атом углерода, а в вершинах - атомы водорода. Такая симметричная структура не обладает вращательной способностью.

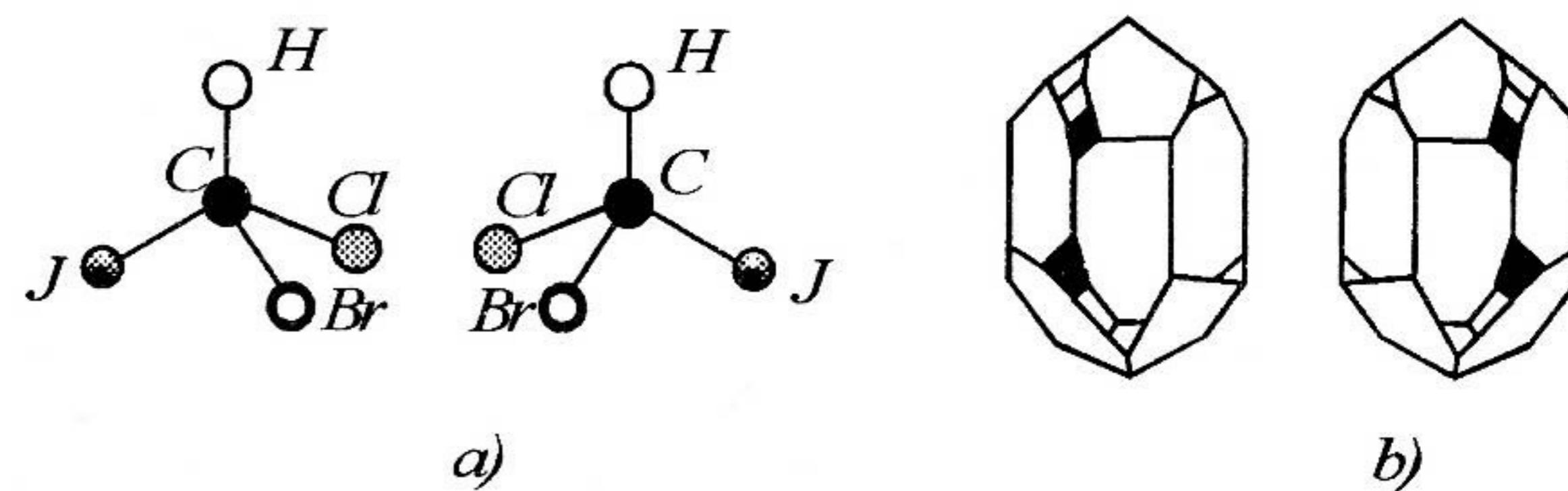


Рис. 5. Зеркальные изомеры: а) асимметричная молекула, б) энантиоморфные кристаллы кварца

Кристаллы, состоящие из асимметричных молекул, как правило, обладают оптической активностью (например, сахара).

В то же время кристаллы, построенные из неактивных молекул, также могут обладать вращательной способностью (кварц). В этом случае винтовые структуры образуются в решетке кристалла, это его коллективное свойство. При растворении или плавлении такого кристалла оптическая активность утрачивается. Кристаллы, способные вращать плоскость поляризации обязательно энантиоморфны, т.е. существуют в виде правых и левых форм. Они совершенно одинаковы, но геометрически могут быть совмещены только путем зеркального отражения (рис. 5б).

Зеркальные изомеры - вещества, имеющие, как правило, одинаковые химические и физические свойства: плотность, температуру плавления, показатели преломления и т.д. Основное их специфическое свойство - оптическая активность, причем левые и правые формы вращают плоскость поляризации в разных направлениях. Исследование этого свойства - единственный надежный и точный метод изучения разных форм асимметричных веществ.

В неживой природе в обычных химических реакциях правые и левые молекулы всегда образуются поровну. Такая смесь называется рацемат. Рацематы не вращают плоскость поляризации света. Физические свойства рацемата могут отличаться от свойств чистых оптических изомеров. Так, например, температура плавления рацемата несколько ниже. В химических реакциях с участием

чистого изомера или асимметричного катализатора (агента) получаются чистые изомеры.

Иная картина наблюдается в живой природе. Важнейшие биологические вещества - аминокислоты, белки, нуклеиновые кислоты, углеводы - присутствуют во всех живых организмах в виде чистых изомеров, а не рацематов. Оказалось, что в биологических процессах участвуют асимметричные агенты. Это связано со специфическим и не нашедшим пока удовлетворительного объяснения свойством живой природы строить белки из левых оптически активных изомеров аминокислот (19 из 20 жизненно важных аминокислот оказались оптически активными). Физиологическое и биохимическое действие оптически активных изомеров часто совершенно различно. Например, белки, синтезированные искусственным путем из правых аминокислот, не усваиваются организмом; бактерии способны подвергать брожению лишь один из изомеров, не затрагивая другой; левый никотин в несколько раз ядовитее правого.

Эти свойства живой природы открыты уже давно, что несомненно имеет большое общебиологическое значение, но суть этого открытия до сих пор не вполне ясна. Очевидно, что асимметрия по каким-то причинам необходима для жизни. Поэтому, раз возникнув, это свойство закрепилось в процессе эволюции. Интересно, что вещества менее важные для жизни - продукты частичной и полной переработки, резервные вещества и т.д. - встречаются в виде обоих антиподов и даже частично в виде рацематов. Другой факт - это обнаруженный процесс рацемизации при старении живого вещества. Биологами получены данные о преимуществах оптически активных живых систем по сравнению с рацемическими в таких важнейших биологических процессах, как явление роста.

Исследование оптической активности позволило решить вопрос о теории происхождения нефти. Существуют две теории - неорганическая и органическая. Обнаруженная экспериментально оптическая активность нефти и ее продуктов является важным свидетельством в пользу ее органического происхождения из остатков растений и животных, существовавших на Земле очень давно. Если бы нефть образовалась в результате обычных хими-

ческих реакций при высокой температуре и давлении на большой глубине, то она бы представляла собой рацемат и не обладала бы способностью вращать плоскость поляризации светового луча.

Возникает вопрос, каким же образом при происхождении жизни впервые выделились чистые изомеры одного типа. По этому поводу существует несколько гипотез. Для нас представляется интерес следующая гипотеза. Экспериментально установлено, что свет, поляризованный по кругу, действует на рацематы избирательно. Он может сильнее разлагать левые антиподы и способствовать синтезу одних форм больше, чем других. Поляризация солнечного света происходит при рассеянии в земной атмосфере, а также при косом падении на границу раздела воздух-морская вода. Все это и могло способствовать образованию чистых изомеров.

Удивительный феномен преимущественной роли только одной из форм оптически активных изомеров в биологических процессах может иметь фундаментальное значение для выяснения путей зарождения и эволюции жизни на Земле.

### 3. Схема эксперимента

Поляриметром называется прибор для измерения угла поворота плоскости поляризации монохроматического света оптически активными кристаллами, прозрачными однородными жидкостями и растворами. Поляриметры применяются в медицине, пищевой и химико-фармацевтической промышленности, в научных лабораториях.

Поляриметр построен по схеме полутеневых приборов. Измерение сводится к визуальному уравниванию яркостей двух половин поля зрения прибора и последующему считыванию показаний по шкале вращений, снабженной нониусом. Принципиальная оптическая схема полутеневого поляриметра представлена на рис.6.

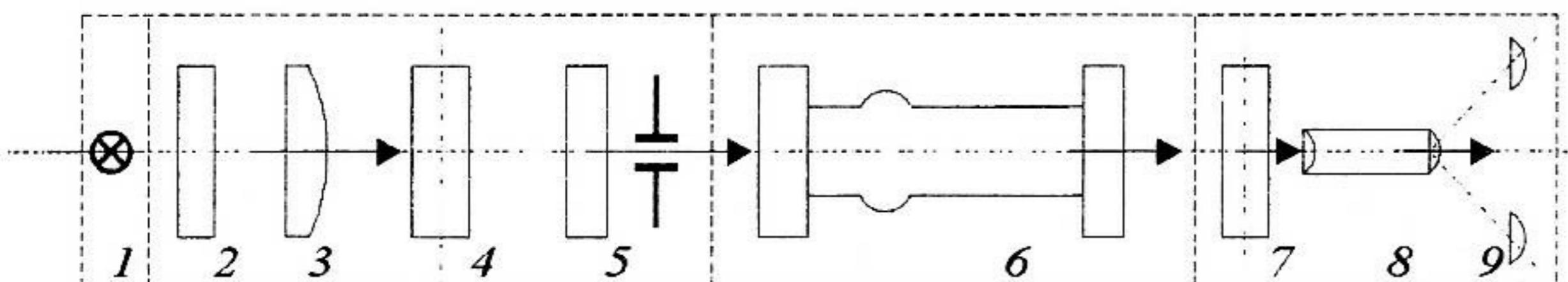


Рис. 6. Принципиальная схема полутеневого поляриметра.  
1 - источник света, 2 - светофильтр, выделяющий длину волны 589 нм, 3 - конденсор, собирающий световые лучи, 4 - поляризатор, 5 - хроматическая фазовая пластинка, 6 - кювета с раствором, 7 - анализатор, 8 - объектив и окуляр с отсчетным устройством, 9 - две лупы

Свет от лампы 1 проходит через светофильтр 2, конденсор 3 и поляризатор 4. При этом получается два луча. Один из них идет через хроматическую фазовую пластинку 5, кювету 6 и анализатор 7. Другой, минуя фазовую пластинку, проходит через кювету и анализатор. Вид поля зрения представлен на рис. 7.

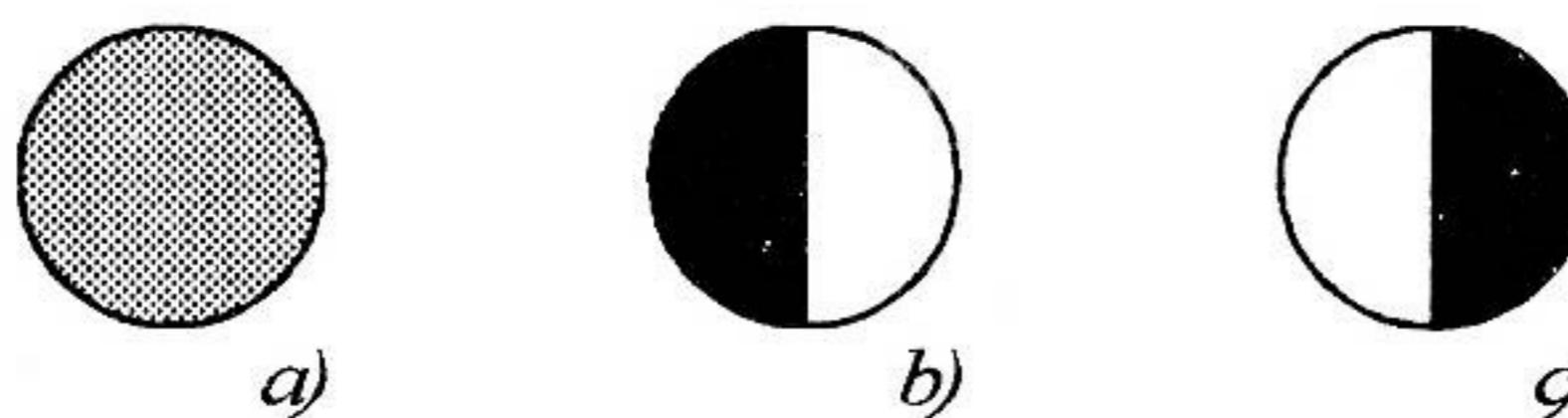


Рис. 7. Вид поля зрения поляриметра: а) обе половинки поля имеют одинаковую освещенность, б) и в) при малейшем повороте анализатора относительная освещенность резко меняется

Уравнивание яркостей полей сравнения осуществляется путем вращения анализатора. Измерения производятся, когда поля сравнения уравнены при меньших яркостях, а незначительный поворот анализатора вызывает резкое нарушение равенства яркос-

тей двух половин поля зрения. Если между поляризатором и анализатором ввести кювету с оптически активным раствором, то равенство яркостей полей сравнения нарушается. Его можно восстановить поворотом анализатора на некоторый угол, который оказывается равным углу поворота плоскости поляризации исследуемым раствором.

При измерении угла вращения плоскости поляризации правовращающими оптически активными растворами отсчеты по шкале первого отсчетного устройства и по лимбу будут в пределах от 0 до  $35^{\circ}$ ; левовращающими растворами - от  $360$  до  $325^{\circ}$ . Разностью двух отсчетов, соответствующих равенству яркостей полей сравнения в присутствии оптически активного раствора и без него, определяется угол вращения плоскости поляризации данным раствором.

#### 4. Порядок выполнения работы

Внимание! Торцевые грани кювет необходиомо протереть ваткой, чтобы на них не оставалось следов воды и отпечатков пальцев. С кюветой следует обращаться осторожно, держать за ребра.

##### 1. Подготовка к работе.

1.1. Включить поляриметр в сеть, а затем щелкнуть тумблером на корпусе. Измерения следует начинать через 5-10 минут после включения лампы поляриметра.

1.2. Освоить процесс уравновешивания полей сравнения. Для этого, не вставляя в прибор кювету, втулкой, расположенной перед окуляром, установить резкое изображение линии раздела полей сравнения. Вращением лимба добиться при меньшей яркости одинаковой полутеневой освещенности обеих половинок поля зрения до полного исчезновения границ их раздела (на сером фоне). Полученный результат должен находиться вблизи совпадения нулевого отсчета шкалы и лимба.

1.3. Для установления нулевого отсчета прибора кювету длиной 5 см на  $\frac{2}{3}$  наполнить дистиллированной водой и вставить

в кюветное отделение поляриметра до упора вблизи источника света. Закрыть крышку прибора. Установить равномерную яркость полей сравнения и снять отсчеты по шкале лимба и отсчетного устройства. Процесс выравнивания яркостей повторить трижды и вычислить среднее арифметическое значение отсчетов. Полученный результат будет нулевым отсчетом поляриметра.

## 2. Определение величины удельного вращения $[\alpha]$ раствора сахара в воде.

2.1. Вылить воду из кюветы и наполнить ее раствором сахара с наименьшей концентрацией. Вставить кювету в поляриметр и вновь уравновесить яркости полей сравнения. Оценить угол поворота плоскости вращения  $\theta$ . Для этого определить на сколько градусов относительно нулевого отсчета лимба повернется шкала, а затем по штрихам лимба, лучше всего совпадающим с любым делением круговой шкалы, отсчитать доли градуса. Цена деления отсчетного устройства  $0.02^\circ$ . Измерение угла поворота  $\theta$  выполнить не менее трех раз и среднее арифметическое значение  $\theta$  записать в таблицу.

Вылить содержимое кюветы в соответствующий по концентрации сосуд.

2.2. Последовательно увеличивая концентрацию раствора сахара, провести измерения угла поворота  $\theta$  для всех имеющихся в наборе растворов. Результаты измерений записать в таблицу.

Таблица

$l$	$C, \%$	$\theta$	$[\alpha]$

2.3. Построить градуировочный график зависимости угла поворота  $\theta$  от концентрации раствора  $C$ . По наклону кривой

графика определить величину удельного вращения  $[\alpha]$  (в град/мм).

2.4. Для каждой концентрации раствора вычислить по формуле (4) и занести в таблицу величину удельного вращения  $[\alpha]$ . Найти среднее арифметическое значение  $[\alpha]$  и абсолютную погрешность измерения. Сравнить величины  $[\alpha]$ , определенные двумя способами.

## 3. Определение неизвестной концентрации раствора сахара $C_x$ .

3.1. Заполнить кювету на  $\frac{2}{3}$  длины раствором сахара неизвестной концентрации. Выполнить измерение угла поворота  $\theta_x$ .

3.2. По градуировочному графику определить неизвестную концентрацию раствора  $C_x$ .

## 4. Изучение зависимости угла вращения плоскости поляризации раствора сахара от размеров кюветы (т.е. от длины пути, проходимого светом в активном веществе).

4.1. Взять раствор сахара с произвольной концентрацией. Последовательно наполнить раствором кюветы различной длины ( $l = 1 \text{ см}, 3 \text{ см}, 5 \text{ см}$ ). Выполнить измерения угла поворота плоскости поляризации  $\theta$  с учетом нулевого отсчета. Результаты измерений представить в виде таблицы.

4.2. Построить график зависимости  $\theta$  от  $l$ . Убедиться в справедливости формулы (4).

## 5. Определение угла вращения плоскости поляризации активной жидкости в круглой кювете.

5.1. Установить кювету с жидкостью в поляриметр. Проделите, чтобы пузырек воздуха оказался в изгибе кюветы и находился дальше от источника света. Определите угол вращения плоскости поляризации  $\theta$ .

5.2. Вычислите вращательную способность единицы дли-

ны активной жидкости  $\alpha = \frac{\theta}{l}$ . Длина  $l$  указана на кювете.

### 6. Изучение вращения плоскости поляризации пластинкой кристалла кварца.

- 6.1. Установите держатель с пластинкой в поляриметр.
- 6.2. Измерьте величину угла поворота плоскости поляризации  $\theta$ .
- 6.3. Оцените толщину пластиинки кварца  $l$  в месте прохождения луча поляриметра, используя полученные результаты и формулы (2) и (3).

### Контрольные вопросы

1. Что такое свет по современным представлениям? Дайте определение, напишите формулы, изобразите на чертеже электромагнитную волну.
2. Поляризация света. Как получить поляризованный свет?
3. Линейная, круговая и эллиптическая поляризации света.
4. Вращение плоскости поляризации света твердыми веществами и растворами. Как можно объяснить это явление?
5. Расскажите о молекулярных и кристаллических оптически активных веществах. Почему они обладают способностью вращения плоскости поляризации?
6. В чем заключается суть метода поляриметрии?

### Список литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978.- 480 с.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979.- 944 с.
3. Жевандров Н.Д. Анизотропия и оптика.- М.: Наука, 1974.- 348 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов .- М.: Высш. шк., 1994.- 542 с.

### Приложение

Пусть свет проходит в веществе некоторый путь  $x$ . Результирующий вектор напряженности  $\vec{E}$  повернется на некоторый угол  $\theta$ , который зависит от разности фаз двух волн с правой и левой круговой поляризацией:

$$\theta = \frac{\varphi_+ - \varphi_-}{2} \quad (1.1)$$

здесь  $\varphi_+$  и  $\varphi_-$  - фазы волн с соответствующей поляризацией. В соответствии с формулой (1) и выражением для волнового числа  $k = \frac{\omega}{V}$  можно записать

$$\varphi_+ = \omega t - k x_+ = \omega t - \frac{\omega}{V_+} x_+ = \omega \left( t - \frac{x_+}{V_+} \right) \quad (1.2)$$

$$\varphi_- = \omega \left( t - \frac{x_-}{V_-} \right)$$

Приняв, что  $x_+ = x_- = l$ , где  $l$  - длина пути света в веществе, подставим выражения для  $\varphi_+$  и  $\varphi_-$  из (1.2) в формулу (1.1). При этом учтем, что  $V = \frac{c}{n}$  и  $\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{Tc} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ , где  $\lambda_0$  - длина волны в вакууме. В результате получим

$$\theta = \frac{\varphi_+ - \varphi_-}{2} = \frac{\omega l}{2c} (n_- - n_+) = \frac{\pi l}{\lambda_0} (n_- - n_+) \quad (1.3)$$

Формула (1.3) показывает, что для веществ, у которых  $n_- > n_+$ , плоскость поляризации поворачивается вправо:  $\theta > 0$ . Если  $n_+ > n_-$ , плоскость поляризации поворачивается влево:  $\theta < 0$ .

*Алексеева Лариса Ивановна  
Московская Татьяна Эдуардовна  
Кузнецова Валентина Александровна*

**Вращение плоскости поляризации**

Методические рекомендации

ЛР № 020592 от 09.07.97  
План 1998 г. Поз. 25.

Подписано в печать 12.02.98. Формат 60x90 1/16.  
Бумага писчая. Печать офсетная. Гарнитура Times.  
Тираж 50 экз. Уч.-изд. л. 1,3. Зак.