

О БИПОЛЯРИЗАТОРЕ [11]

ОПИСАНИЕ

Спроектированный мной «двойной поляризатор», или «биполяризатор», имеет форму прямой призмы с шестиугольным основанием, вырезанной из кристалла известкового (исландского) шпата и притом так, чтобы высота этой призмы была параллельна оптической оси кристалла.

Форма основания призмы показана на рис. 1; ось кристалла перпендикулярна к рисунку. Грани ab и de , а также грани cd и fa соответственно параллельны друг другу, а нормали к этим граням AON и A_1ON_1 составляют между собой угол 45° и с диагональю ad угол $22\frac{1}{2}^\circ$.

Отшлифованная указанным образом призма разрезается диагональной плоскостью ad на две равные половины, которые затем вновь склеиваются тонким слоем выбеленного и высушенного льняного масла.

Показатели преломления (для линии D) известкового шпата, как известно, равны: для обыкновенного луча 1,658 и для необыкновенного луча 1,486; показатель преломления льняного масла очень близок к

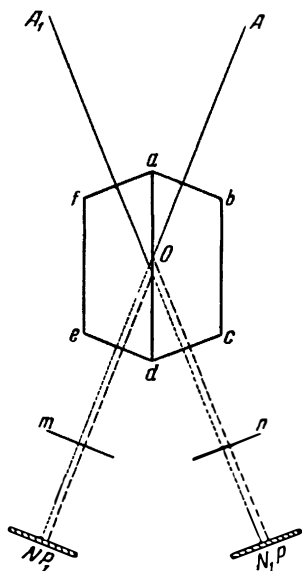


Рис. 1.

показателю преломления необыкновенного луча, поэтому предельный угол полного внутреннего отражения обыкновенного луча на границе соприкосновения известкового шпата со

слоем льняного масла определится из условия

$$\sin \alpha = \frac{1,486}{1,658} = 0,896, \quad \alpha = 63^{\circ}40'.$$

Пусть на призму падает луч света AO нормально к плоскости ab .

Войдя в кристалл, этот луч разложится на два поляризованных луча, идущих по одному и тому же направлению, но у слоя льняного масла оба луча разойдутся: необыкновенный луч, колебания которого перпендикулярны к рисунку (параллельны оси кристалла), а показатели преломления в известковом шпате и в льняном масле одинаковы, пройдет сквозь призму без преломления и без отражения по линии ON , тогда как обыкновенный луч, колебания которого параллельны плоскости рисунка, подойдя к границе под углом в $67 \frac{1}{2}^{\circ}$, т. е. под углом, бóльшим предельного угла α , претерпит полное внутреннее отражение и пойдет по пути OP .

Таким образом, при помощи биполяризатора мы можем получить из одного естественного луча AO два луча ON и OP почти одинаковой силы и поляризованные взаимно перпендикулярно друг к другу.

Тот же самый результат может быть достигнут, как известно, при помощи двупреломляющих призм Сенармона, Волластона, Рошона и др.; однако биполяризатор имеет то важное преимущество, что в нем оба луча ахроматизованы, тогда как во всех поименованных призмах один из лучей окрашен вследствие дисперсии. Кроме того, ни в одной из поименованных призм нельзя получить такого большого угла расхождения двух лучей, как 45° , а это иногда представляется очень желательным.

Далее, легко видеть, что части $acdf$ или $abde$ биполяризатора представляют собой не что иное, как обыкновенный поляризатор С. Томсона, и потому биполяризатор может служить для тех же целей. Однако, как увидим ниже, биполяризатор может служить в поляризационном приборе одновременно и поляризатором и анализатором, т. е. заменять собой два николя, почему я и назвал спроектированную мной призму «двойным поляризатором», или «биполяризатором».

ПРИМЕНЕНИЯ

Укажу на некоторые применения биполяризатора.

1) Биполяризатор можно применять во всех случаях, где необходимо поляризовать или анализировать свет, причем луч света можно пускать по направлению AN или по направлению A_1N_1 (рис. 1).

2) Если желательно иметь оба взаимно перпендикулярно поляризованных луча не под углом в 45° , а параллельно друг к другу, то к биполяризатору приставляется стеклянная призма полного внутреннего отражения $cdgh$ (рис. 2)

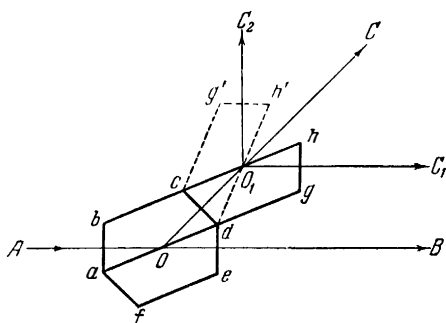


Рис. 2.

совершенно такой же формы, как и призмы $abcd$ или $defa$, и луч света, вместо того чтобы пойти по OC , пойдет по OO_1C_1 .

Оба полученных таким образом параллельных луча OB и O_1C_1 можно рассматривать в одну трубу. Такое расположение может быть полезным при изучении дихроизма и т. п. явлений.

Расстояние между лучами OB и O_1C_1 может быть при желании увеличено отодвиганием призмы $cdgh$ от $abcd$ по линии OO_1 . Если же стеклянную призму $cdgh$ повернуть вокруг линии OO_1 на 180° в положение $dcg'h'$, то получим два луча OB и O_1C_2 , которых и направления и плоскости поляризации взаимно перпендикулярны.

3) В фотометрах, а также в спектрофотометрах употребляются двупреломляющие призмы Рошона или Волластона,

для того чтобы получить от сравниваемых источников лучи, поляризованные взаимно перпендикулярно. Весьма удобно воспользоваться для этого биполяризатором.

Пусть два сравниваемых источника света A и A_1 (см. рис. 1) посылают свои лучи сквозь коллиматоры, установленные по AO и A_1O ; луч AO раздвоится в биполяризаторе по ON и OP , луч же A_1O раздвоится по ON_1 и OP_1 ; поставив трубу с анализатором по направлению ONP_1 или, если это почему-либо удобнее, по направлению ON_1P , мы можем сравнивать силу света или освещения A и A_1 , поворачивая соответственным образом анализатор для выравнивания полей N и P_1 (или N_1 и P).

Очевидно, что по ONP_1 или ON_1P можно поставить обычные приспособления и для спектрофотометрирования.

Благодаря тому, что щели двух коллиматоров A и A_1 находятся далеко друг от друга, у нас получается возможность сравнивать поглощение различных тел при значительно различающихся температурах. Но если почему-либо желательно иметь щели коллиматоров совсем рядом, как это имеет место в некоторых современных спектрофотометрах, то этого можно достичь, приставив к биполяризатору ту же стеклянную призму $cdgh$, которая показана на рис. 2, причем ход лучей будет обратный тому, который показан на этом рисунке, а именно: B и C_1 будут две щели, а в A будет поставлена труба с анализатором-фотометром.

4) Биполяризатор может служить одновременно и поляризатором и анализатором, которых плоскости поляризации взаимно перпендикулярны (как в скрещенных николях). Действительно, пусть из источника A (рис. 1) идут лучи AON и AOP , и в N и P поставлены плоские зеркала перпендикулярно к соответствующим лучам; тогда свет, отразившись от зеркал, пойдет обратно по тому же направлению к источнику света A , а в трубе A_1 мы увидим темное поле. Если же между O и N поставить кристаллическую пластинку m , то, вообще говоря, она разложит луч ON , колеблющийся в плоскости, перпендикулярной к рисунку, на два луча с колебаниями в других плоскостях, а потому, когда эти последние лучи, отразившись от зеркала N , войдут снова в биполяризатор, у них окажется составляющая колебания в плоскости рисунка, которая и пойдет по OA_1 ;

вследствие этого в трубе A_1 мы увидим теперь свет.

Все явление происходит совершенно так, как будто $abde$ и $adef$ были два скрещенных николя, между которыми поместили кристаллическую пластинку m . Другими словами, мы получаем обыкновенный поляризационный прибор, в котором биполяризатор играет роль и поляризатора ($abde$) и анализатора ($adef$) одновременно.

Конечно, такой же результат мы получим, поместив кристаллическую пластинку n между O и P , с той только разницей, что в трубе A_1 мы теперь получим свет от POA_1 , колеблющийся перпендикулярно к плоскости рисунка, тогда как от кристаллической пластинки m мы в трубе A_1 получили свет, колебания которого — в плоскости рисунка.

Можно одновременно поместить кристаллические пластинки и в m и в n и наблюдать их в трубу A_1 как бы рядом лежащими. Таким образом, можно сравнивать или степень двойного преломления пластинок, или их толщину, или, наконец, поглощение света (плеохроизм) в этих двух пластинках.

При этом надо только принимать во внимание следующее: а) что лучи поляризованного света проходят каждую пластинку дважды (туда и обратно), а потому с оптической точки зрения эти пластинки имеют двойную толщину, и б) что оба луча mOA_1 и nOA_1 , видные в трубу A_1 , поляризованы перпендикулярно друг к другу. Это обстоятельство дает возможность сравнивать оба луча при помощи какого-либо анализатора.

В последнем разобранным нами случае биполяризатор обслуживает сразу два поляризационных прибора, т. е. заменяет собой четыре николя.

5) Можно воспользоваться раздвоением лучей в биполяризаторе для устройства «поляризационного интерферометра» (рис. 3).

Луч света AO проходит сначала через коллиматор с обыкновенным поляризатором P_1 , плоскость поляризации которого поставлена под углом 45° к плоскости рисунка. В биполяризаторе P_2 луч раздваивается, причем обе части его OK_1O_1 и OK_2O_1 при помощи стеклянных призм K_1 и K_2 снова сводятся вместе в биполяризаторе P_3 и затем попадают в обыкновенный анализатор P_4 , плоскость которого

перпендикулярна к P_1 . Таким образом, P_1 и P_4 представляют собой обыкновенный поляризационный прибор, между скрещенными николями которого помещен двупреломляющий кристалл известкового шпата P_2P_3 . Ось кристалла поставлена под углом 45° к плоскостям николей P_1 и P_4 , толщина кристалла равна сумме длин обоих биполяризаторов. Следовательно, в анализаторе P_4 мы увидим свет. Наша система призм $P_2K_1K_2P_3$ представляет собой как бы двупреломляющее тело с той лишь разницей, что оба поляризованных взаимно перпендикулярно луча OK_2 и K_1O_1 не идут вместе,

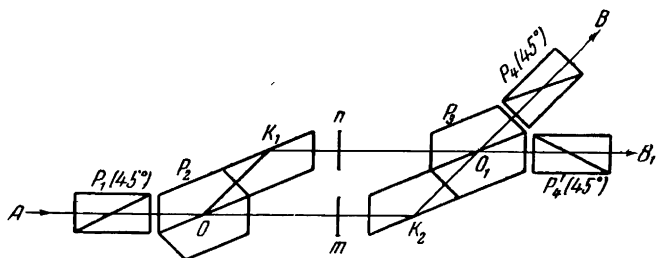


Рис. 3.

а разъединены; этим можно воспользоваться для измерения показателя преломления и поглощения не только кристаллических, но и аморфных тел.

Действие двойного преломления шпата мы можем компенсировать, поместив на пути OK_2 стеклянную пластинку m соответственной толщины.

Если длина биполяризаторов $2l$, а показатель преломления стекла 1,51, то толщина d стеклянной пластинки m определится из уравнения

$$d = 2l \frac{1,66 - 1,49}{1,51} = 0,23l.$$

Конечно, нельзя точно сделать пластинку требуемой толщины, а потому при установке пластинки m на место придется для достижения полной компенсации наклонить немного плоскость пластинки m к лучу OK_2 .

Впрочем, на самом деле вследствие несовершенного параллелизма лучей OK_2 и K_1O_1 мы увидим в B не однородно

освещенное поле, а целый ряд интерференционных полос¹⁾. Если теперь «оптические пути» лучей OK_2 и K_1O_1 от каких-либо причин изменятся относительно друг друга, то интерференционные полосы сместятся, и по величине этого смещения мы можем судить о получившейся в нашем опыте разности ходов лучей OK_2 и K_1O_1 .

Таким образом, можно сравнивать показатели преломления веществ, помещенных на пути лучей OK_2 и K_1O_1 , как в интерферометре Жамена.

Посредством стеклянных призм K_1 и K_2 мы можем, если понадобится, увеличить расстояние между лучами OK_2 и K_1O_1 , поэтому наш прибор имеет те же преимущества перед жаменовским, как приборы Цендера и Маха. Но, кроме того, у нас лучи OK_2 и K_1O_1 поляризованы взаимно перпендикулярно, и это может в некоторых случаях оказаться очень кстати, например, при исследовании двойного преломления в электрическом поле (явление Керра) и т. п.

Конечно, нет надобности непременно наблюдать интерференционные полосы; можно получить и однородное поле в анализаторе точной установкой всего прибора, а для определения разности хода лучей OK_2 и K_1O_1 применить другой способ, например, способ компенсации²⁾.

б) Как выше указано, в только что описанном расположении опыта лучи AOK_2O_1B и AOK_1O_1B находятся в неодинаковых условиях по отношению к оптической длине проходимого пути, но, кроме того, необходимо еще добавить, что вследствие полного внутреннего отражения этих лучей в точках O , K_1 , O_1 , K_2 они получают добавочную разность фаз; действительно, один луч OK_2O_1B имеет колебания перпендикулярно к плоскости падения и претерпевает одно полное внутреннее отражение у K_2 , тогда как луч OK_1O_1B имеет

1) Поляризатор P_1 необходим, иначе оба луча, даже и сведенные в одну плоскость анализатором P_4 , интерферировать не будут. Это замечание относится и к ниже описанным расположениям опыта.

2) Поле получается только приблизительно однородным, так как с уничтожением интерференционных полос, происходящих от неодинаковой толщины пластинки, появляются в бесконечности интерференционные полосы от лучей неодинакового наклона к пластинке.

колебания в плоскости падения и претерпевает три полных внутренних отражения в O , K_1 и O_1 .

Можно поставить оба луча в совершенно одинаковые условия, если на пути этих лучей поместить по кристаллической пластинке в полволны; пластинки повернут плоскость колебания каждого луча на 90° , а потому оба они выйдут не по направлению O_1B , а по направлению O_1B_1 . Легко видеть, что теперь оптические пути AOK_1B_1 и $AK_2O_1B_1$ совершенно одинаковы и что, кроме того, полное внутреннее

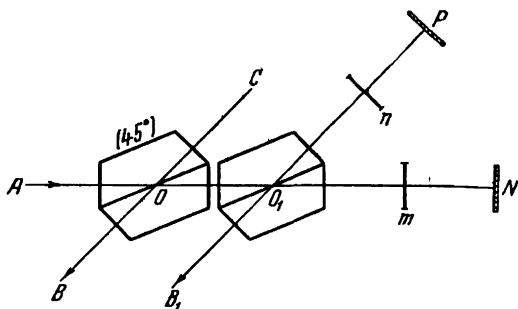


Рис. 4.

отражение претерпевается каждым лучом по два раза и притом тогда, когда его колебания совпадают с плоскостью падения.

7) Описанный только что прибор можно значительно упростить, применив плоские зеркала (рис. 4). Тогда обыкновенные поляризаторы P_1 и P_4 , а также стеклянные призмы K_1 и K_2 оказываются излишними.

Луч света из коллиматора A входит в биполяризатор O , поставленный под углом 45° к плоскости рисунка, и поляризованный в этой плоскости луч OO_1 (луч OC остается без употребления) раздваивается вторым биполяризатором O_1 на два луча O_1N и O_1P ; эти лучи, отразившись от плоских зеркал N и P , идут снова по обратному пути в A . В трубе B , ось которой лежит в плоскости AOB , составляющей с плоскостью рисунка угол 45° , мы увидим интерференционные полосы, как и в предыдущем приборе.

Здесь также можно применить кристаллические пластинки m и n , для того чтобы повернуть плоскость поляризации

каждого луча на 90° ; только теперь вследствие того, что каждый луч пройдет пластинку два раза (туда и обратно), достаточно применить две пластинки в «четверть волны». Поставив такие пластинки в m и n , мы получим луч, выходящий из прибора по направлению O_1B_1 . В этом случае биполяризатор O становится излишним и заменяется простым поляризатором;

в B ставится простой анализатор (45°) с каким-нибудь приспособлением для наблюдения разности хода лучей O_1N и O_1P , поляризованных перпендикулярно друг к другу.

8) На рис. 5 показан еще один случай применения биполяризатора; ход лучей не требует объяснений. Здесь по ONN_1O и OPP_1O идут лучи взаимно противоположных направлений, а потому такое расположение может служить, например, для измерения изменения скорости света в движущихся жидкостях (опыт Физо).

В OB и OB_1 оба луча—одного направления, но плоскости колебания у них перпендикулярны друг к другу.

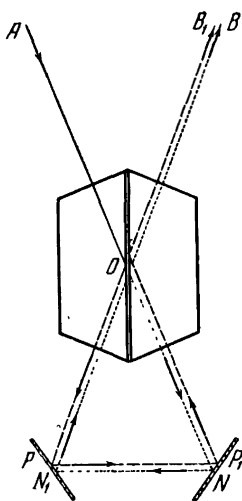


Рис. 5.

В заключение могу сообщить, что два биполяризатора с отверстиями в один квадратный сантиметр были исполнены по моему заказу известной фирмой Цейсс в Иене еще в 1905 г.; описанные мной приборы в схематическом виде были изготовлены в мастерской физической лаборатории Инженерного училища.

Все сказанное выше мной проверено на опыте, но, к сожалению, мои служебные обязанности не позволили мне до сих пор сделать достаточное количество опытов для определения того, какой степени точности позволяет достичь применение биполяризатора при различного рода исследованиях.

