**8. Интерференция в тонких пленках. Полосы равного наклона и полосы равной толщины**

 Интерференцию света по *методу деления амплитуды* во многих отношениях наблюдать проще, чем в опытах с *делением волнового фронта*. Один из способов, использующих такой метод, – ***опыт Поля***.

      В опыте Поля свет от источника S отражается двумя поверхностями тонкой прозрачной плоскопараллельной пластинки (рис. 1).

      В любую точку *P*, находящуюся с той же стороны от пластинки, что и источник, приходят два луча. Эти лучи образуют интерференционную картину.

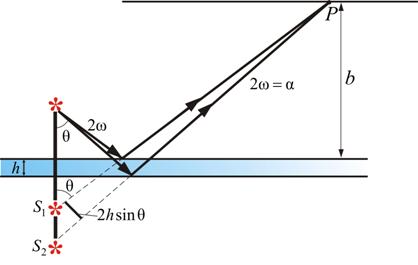


Рис. 1

      Для определения вида полос можно представить себе, что лучи выходят из мнимых изображений *S*1 и *S*2 источника *S*, создаваемых поверхностями пластинки. На удаленном экране, расположенном параллельно пластинке, интерференционные полосы имеют вид концентрических колец с центрами на перпендикуляре к пластинке, проходящем через источник *S*. Этот опыт предъявляет менее жесткие требования к размерам источника *S*, чем рассмотренные выше опыты. Поэтому можно в качестве *S* применить ртутную лампу без вспомогательного экрана с малым отверстием, что обеспечивает значительный световой поток. С помощью листочка слюды (толщиной 0,03 – 0,05 мм) можно получить яркую интерференционную картину прямо на потолке и на стенах аудитории. Чем тоньше пластинка, тем крупнее масштаб интерференционной картины, т.е. больше расстояние между полосами.

***Полосы равного наклона***

      Особенно важен частный случай интерференции света, отраженного двумя поверхностями плоскопараллельной пластинки, когда точка наблюдения *P* находится в бесконечности, т.е. наблюдение ведется либо глазом, аккомодированным на бесконечность, либо на экране, расположенном в фокальной плоскости собирающей линзы (рис. 2).

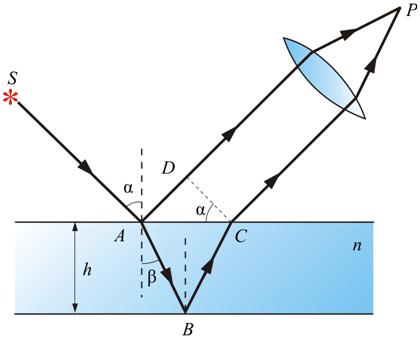


Рис. 2

      В этом случае оба луча, идущие от *S* к *P*, порождены одним падающим лучом и после отражения от передней и задней поверхностей пластинки параллельны друг другу. Оптическая разность хода между ними в точке *P* такая же, как на линии *DC*:

http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1624.png.

      Здесь *n* – показатель преломления материала пластинки. Предполагается, что над пластинкой находится воздух, т.е. http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1626.png. Так как http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1628.png, http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1630.png (*h* – толщина пластинки, http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1632.png и http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1634.png – углы падения и преломления на верхней грани; http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1636.png), то для разности хода получаем

http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1638.png.

      Следует также учесть, что при отражении волны от верхней поверхности пластинки в соответствии с формулами Френеля ее фаза изменяется на π. Поэтому разность фаз δ складываемых волн в точке *P* равна:

http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1640.png,

      где http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1079.png – длина волны в вакууме.

      В соответствии с последней формулой светлые полосы расположены в местах, для которых http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1643.png, где *m* – *порядок интерференции*. Полоса, соответствующая данному порядку интерференции, обусловлена светом, падающим на пластинку под вполне определенным углом α. Поэтому такие полосы называют *интерференционными* ***полосами равного наклона.*** Если ось объектива расположена перпендикулярно пластинке, полосы имеют вид концентрических колец с центром в фокусе, причем в центре картины порядок интерференции максимален.

      Полосы равного наклона можно получить не только в отраженном свете, но и в свете, прошедшем сквозь пластинку. В этом случае один из лучей проходит прямо, а другой – после двух отражений на внутренней стороне пластинки. Однако видимость полос при этом низкая.

      Для наблюдения полос равного наклона вместо плоскопараллельной пластинки удобно использовать ***интерферометр Майкельсона*** (рис. 3). Рассмотрим схему интерферометра Майкельсона: з1 и з2 – зеркала. Полупрозрачное зеркало http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1645.png посеребрено и делит луч на две части – луч 1 и 2. Луч 1, отражаясь от з1 и проходя http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1645.png, дает http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1648.png, а луч 2, отражаясь от з2 и далее от http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1645.png, дает http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1651.png. Пластинки http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1645.png и http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1654.png одинаковы по размерам. http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1654.png ставится для компенсации разности хода второго луча. Лучи http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1648.png и http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1651.png когерентны и интерферируют.

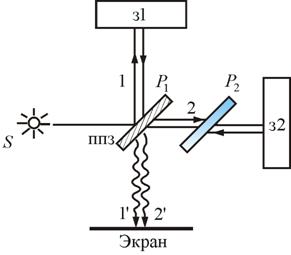


Рис. 3

***Интерференция от клина. Полосы равной толщины***

      Мы рассмотрели интерференционные опыты, в которых деление амплитуды световой волны от источника происходило в результате частичного отражения на поверхностях плоскопараллельной пластинки. Локализованные полосы при протяженном источнике можно наблюдать и в других условиях. Оказывается, что для достаточно тонкой пластинки или пленки (поверхности которой не обязательно должны быть параллельными и вообще плоскими) можно наблюдать интерференционную картину, локализованную вблизи отражающей поверхности. Возникающие при этих условиях полосы называют ***полосами равной толщины***. В белом свете интерференционные полосы окрашены. Поэтому такое явление называют *цветами тонких пленок*. Его легко наблюдать на мыльных пузырях, на тонких пленках масла или бензина, плавающих на поверхности воды, на пленках окислов, возникающих на поверхности металлов при закалке, и т.п.

      Рассмотрим интерференционную картину, получаемую от пластинок переменной толщины (от клина).

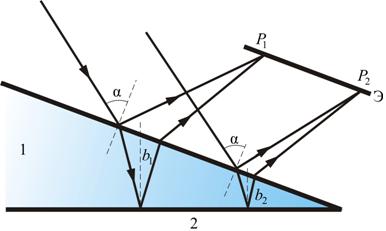


Рис. 4

      Направления распространения световой волны, отраженной от верхней и нижней границы клина, не совпадают. Отраженные и преломленные лучи встречаются, поэтому интерференционную картину при отражении от клина можно наблюдать и без использования линзы, если поместить экран в плоскость точек пересечения лучей (хрусталик глаза помещают в нужную плоскость).

      Интерференция будет наблюдаться только во 2-й области клина, так как в 1-й области оптическая разность хода будет больше длины когерентности.

      Результат интерференции в точках http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1645.png и http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1654.png экрана определяется по известной формуле http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1665.png, подставляя в неё толщину пленки в месте падения луча ( http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1667.png или http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1669.png). Свет обязательно должен быть параллельным ( http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1671.png): если одновременно будут изменяться два параметра *b* и α, то устойчивой интерференционной картины не будет.

      Поскольку разность хода лучей, отразившихся от различных участков клина, будет неодинаковой, освещенность экрана будет неравномерной, на экране будут темные и светлые полосы (или цветные при освещении белым светом, как показано на рис. 5). Каждая из таких полос возникает в результате отражения от участков клина с одинаковой толщиной, поэтому их называют ***полосами равной толщины***.

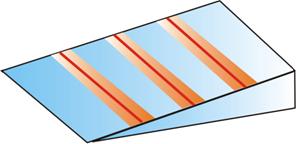


Рис. 5

***Кольца Ньютона***

      На рис. 8.12 изображена оправа, в которой зажаты две стеклянные пластины. Одна из них слегка выпуклая, так что пластины касаются друг друга в какой-то точке. И в этой точке наблюдается нечто странное: вокруг нее возникают кольца. В центре они почти не окрашены, чуть дальше переливаются всеми цветами радуги, а к краю теряют насыщенность цветов, блекнут и исчезают.

      Так выглядит эксперимент, в XVII веке положивший начало современной оптике. Ньютон  подробно исследовал это явление, обнаружил закономерности в расположении и окраске колец, а также объяснил их на основе корпускулярной теории света.

*Кольцевые* ***полосы равной толщины****, наблюдаемые в воздушном зазоре между соприкасающимися выпуклой сферической поверхностью линзы малой кривизны и плоской поверхностью стекла* (рис. 8.13), *называют* ***кольцами Ньютона****.*

|  |  |
| --- | --- |
| [Кольца Ньютона](http://phys.web.ru/db/msg/1185434/newton_rings.jpg.html)  Рис. 8.12 | http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1677.jpg  Рис. 8.13 |

      Общий центр колец расположен в точке касания. В отраженном свете центр темный, так как при толщине воздушной прослойки, на много меньшей, чем длина волны http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1077.png, разность фаз интерферирующих волн обусловлена различием в условиях отражения на двух поверхностях и близка к π. Толщина *h* воздушного зазора связана с расстоянием *r* до точки касания (рис. 8.13):

http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1680.png.

      Здесь использовано условие http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1682.png. При наблюдении по нормали темные полосы, как уже отмечалось, соответствуют толщине http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1684.png, поэтому для радиуса http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1686.png *m*-го темного кольца получаем

http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1688.png    (*m* = 0, 1, 2, …).

      Если линзу постепенно отодвигать от поверхности стекла, то интерференционные кольца будут стягиваться к центру. При увеличении расстояния на http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1257.png картина принимает прежний вид, так как место каждого кольца будет занято кольцом следующего порядка. С помощью колец Ньютона, как и в опыте Юнга, можно сравнительно простыми средствами приближенно определить длину волны света.

      Полосы равной толщины можно наблюдать и с помощью интерферометра Майкельсона, если одно из зеркал з1 или з2 (рис. 3) отклонить на небольшой угол.

*Итак,* ***полосы равного наклона*** *получаются при освещении пластинки постоянной толщины* ( http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1691.png) *рассеянным светом*, *в котором содержатся лучи разных направлений.* ***Полосы равной толщины*** *наблюдаются при освещении пластинки переменной толщины* (клина) ( http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%CA%EE%EB%E5%E1%E0%ED%E8%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%FB.%20%C3%E5%EE%EC%E5%F2%F0%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%E8%20%E2%EE%EB%ED%EE%E2%E0%FF%20%EE%EF%F2%E8%EA%E0/ima/image1693.png) *параллельным пучком света*. *Полосы равной толщины локализованы вблизи пластинки.*