

Практичне заняття 4

Інтерференція в тонких плівках. Кільця Ньютона

План:

1. Інтерференція на плоскопаралельній пластинці та плівці.
2. Смуги рівної товщини.
3. Кільця Ньютона у відбитому та прохідному світлі. Застосування кілець Ньютона.

Основні формули:

Оптична різниця ходу для променів, які інтерферують у відбитому світлі:

Умови максимумів та мінімумів у відбитому світлі:

$$\Delta = 2dn \cos \beta + \frac{\lambda}{2}.$$

$$2dn \cdot \cos \beta + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad (\text{max}) \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$2dn \cdot \cos \beta + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (\text{min}) \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Оптична різниця ходу для променів, які інтерферують у прохідному світлі:

$$\Delta = 2dn \cdot \cos \beta.$$

Умови інтерференції у прохідному світлі:

$$2dn \cdot \cos \beta = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad (\text{max}) \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$2dn \cdot \cos \beta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (\text{min}) \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Радіуси темних кілець у відбитому світлі: $r_T = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}}$.

Радіуси світлих кілець у відбитому світлі:

$$r_{CB} = \sqrt{\frac{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}}{n}}.$$

Радіуси темних кілець у прохідному світлі:

$$r_m = \sqrt{\frac{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}}{n}}.$$

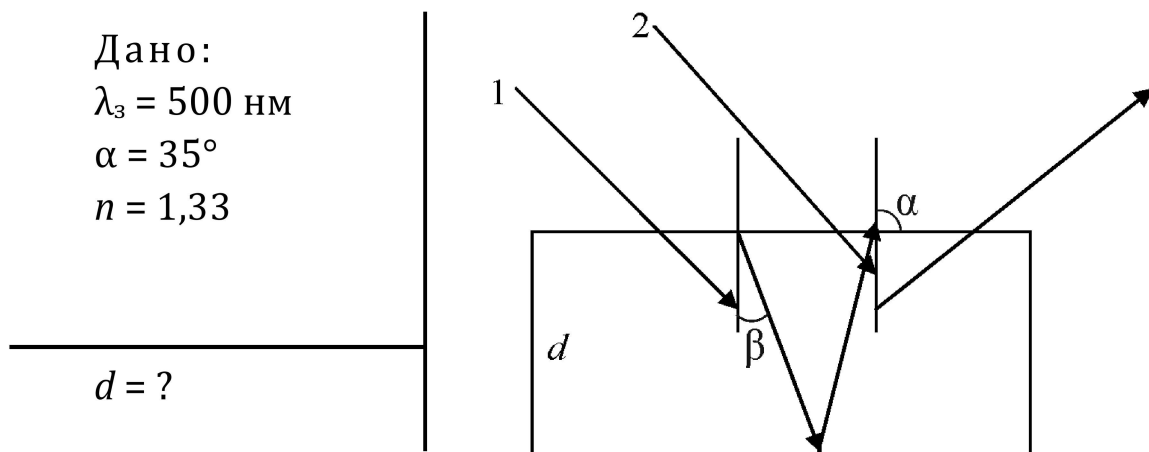
Радіуси світлих кілець у прохідному світлі: $r_{CB} = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}}$.

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Яка товщина мильної плівки, якщо при спостереженні її у відбитому світлі вона виглядає зеленою ($\lambda_3 = 500$ нм), коли кут між нормаллю та променем зору дорівнює 35° ? Показник заломлення мильної води дорівнює 1,33.

Аналіз та розв'язок:

Дано:
 $\lambda_3 = 500$ нм
 $\alpha = 35^\circ$
 $n = 1,33$



$$\begin{aligned} \Delta &= 2dn \cos \beta + \frac{\lambda}{2} = 2dn \sqrt{1 - \sin^2 \beta} + \frac{\lambda}{2} = \\ &= 2d \sqrt{n^2 - \frac{\sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta}{\sin^2 \beta}} = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}. \end{aligned}$$

Запишемо умову максимуму для зеленого світла:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda_3}{2} = k\lambda_3, \text{ або}$$

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = k\lambda_3 - \frac{\lambda_3}{2} = (2k - 1)\frac{\lambda_3}{2}.$$

$$d = \frac{(2k - 1)\frac{\lambda_3}{2}}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}};$$

$(2k - 1)$ позначимо через m , тобто $(2k - 1) = m, k = 1, 2, 3, \dots$

$$d = m \frac{\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = m \frac{500}{4\sqrt{(1,33)^2 - (0,5736)^2}} = m \cdot 104 \text{ нм},$$

тобто теоретично плівка може мати нескінченну кількість товщин, при $k = 1, 2, 3, \dots$, тобто при $m = 1, 3, 5, 7, \dots$

Задача не визначена, плівка може мати товщину $d = m \cdot 104 \text{ нм}$, при $m = 1, 3, 5, 7, \dots$

Задача 2. Знайти радіус r першого темного кільця Ньютона, якщо між лінзою і пластиною налита бензол ($n = 1,5$). Радіус кривизни лінзи $R = 1 \text{ м}$. Показник заломлення скла лінзи і пластини $1,6$. Спостереження ведеться у відбитому натрієвому світлі $\lambda = 5890 \text{ \AA}$.

Аналіз та розв'язок:

Дано:

$$n_6 = 1,5$$

$$n_{\text{пл}} = 1,6$$

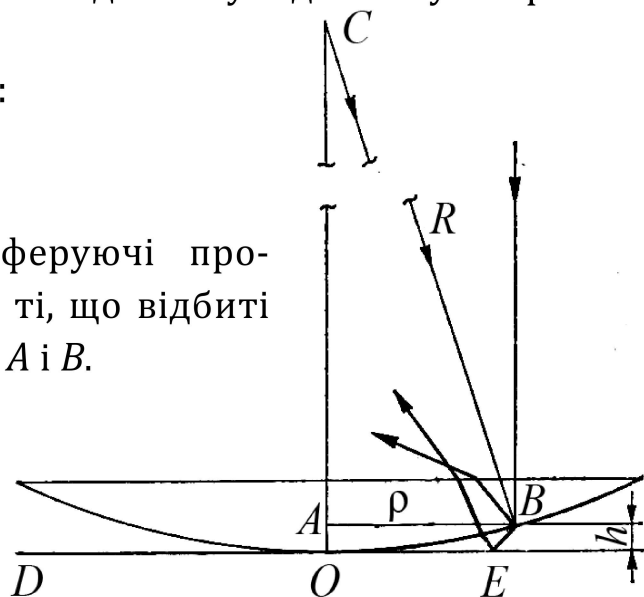
$$n_{\text{л}} = 1,6$$

$$R = 1 \text{ м}$$

$$\lambda = 5890 \text{ \AA}$$

$$\rho = ?$$

Інтерферуючі промені – це ті, що відбиті від точок A і B .



Тому що $n_{ст} > n_б$, то здійснюється втрата півхвилі у точці B , тобто формула для темного кільця у відбитому світлі:

$$r_{1T} = \sqrt{\frac{Rk\lambda}{n_б}},$$

$$r_{1T} = \sqrt{\frac{1 \cdot 1 \cdot 5890 \cdot 10^{-10}}{1,5}} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,63 \text{ мм.}$$

Відповідь: радіус першого темного кільця у відбитому світлі дорівнює 0,63 мм. Як бачимо, радіус лінзи $R \gg r_{\text{кільця}}$.

Задача 3. Чому центр кілець Ньютона, що спостерігаються у відбитому світлі, як правило, темний?

Пояснення:

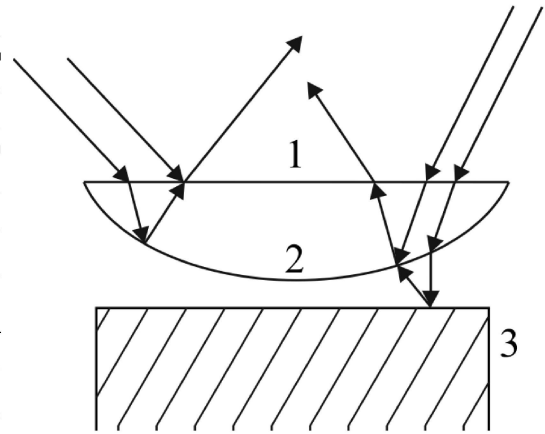
Як правило, спостереження ведеться у повітрі. Між лінзою та пластинкою у центрі немає оптичного контакту, тобто завжди там знаходиться прошарок (дуже малий $d \rightarrow 0$) повітря.

Це призводить до того, що у центрі відбувається втрата півхвилі при відбиванні променя від пластинки, тому різниця ходу між променями буде $\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}$, $d \rightarrow 0$, тобто $\Delta = \frac{\lambda}{2}$, це є умова мінімуму. Тому центр кілець темний.

Задачі для самостійного розв'язування та домашнього завдання

1. На мильну плівку ($n = 1,33$) падає біле світло під кутом 45° . При якій найменшій товщині плівки відбиті промені будуть пофарбовані в жовтий колір $\lambda = 6 \cdot 10^{-5}$ см?
2. Яка товщина мильної плівки, якщо при спостереженні її у відбитому світлі вона здається зеленою ($\lambda = 500$ нм), коли кут між нормаллю та кутом зору дорівнює 35° ? Показник заломлення мильної води вважати рівним 1,33.
3. На рисунку показано розташування лінзи та пластинки в досліді по спостереженню кілець Ньютона у білому світлі.

Світло може відбиватись від таких поверхонь: від верхньої поверхні лінзи (1), від випуклої нижньої поверхні лінзи (2) і від плоскої поверхні темного скла (3). Чому при розрахуванні явища приймається до відома можливість інтерференції променів, які відбуваються від другої і третьої поверхонь, і не обговорюється можливість інтерференції променів, які відбилися від першої та другої поверхонь?



4. Спектр натрію складається з двох ліній з довжинами хвиль 589,00 нм і 589,59 нм. Яке темне кільце Ньютона, для однієї з цих ліній, співпадає з наступним темним кільцем другої лінії? Спостереження ведеться у відбитому світлі.
5. Установа для спостереження кілець Ньютона освітлюється монохроматичним світлом. Спостереження ведеться у відбитому світлі. Радіуси двох сусідніх темних кілець дорівнюють, відповідно, 4 мм і 4,38 мм. Радіус кривизни лінзи дорівнює 6,4 м. Знайти порядкові номери кілець і довжину хвилі світла, що падає.
6. Установа для отримання кілець Ньютона освітлюється білим світлом, яке падає нормально. Знайти радіус четвертого синього кільця $\lambda_1 = 4 \cdot 10^{-5}$ см і радіус третього червоного кільця $\lambda_2 = 6,3 \cdot 10^{-5}$ см. Спостереження ведеться у прохідному світлі. Радіус викривлення дорівнює 5 м.
7. Відстань між п'ятим і двадцять п'ятим світлими кільцями Ньютона дорівнює 9 мм. Радіус викривлення лінзи 15 м. Знайти довжину хвилі монохроматичного світла, яке падає нормально на установку. Спостереження проводиться у відбитому світлі.
8. Знайти відстань між третім і шістнадцятим кільцями Ньютона, якщо відстань між другим і двадцятим темними кільцями дорівнює 4,8 мм. Спостереження ведеться у відбитому світлі.

9. Установка для здійснення кілець Ньютона освітлюється світлом від ртутної лампи, яке падає нормально. Спостереження здійснюється у прохідному світлі. Яке по порядку світле кільце, що відповідає лінії $\lambda_1 = 5791 \text{ \AA}$, збігається з наступним світлим кільцем, яке відповідає лінії $\lambda = 5770 \text{ \AA}$?
10. В установці для спостереження кілець Ньютона простір між лінзою і скляною пластинкою заповнено рідиною. Знайти показник заломлення рідини, коли радіус третього темного кільця дорівнює $3,65 \text{ мм}$. Спостереження ведуться у прохідному світлі. Радіус кривизни лінзи 10 м , довжина хвилі світла $\lambda_1 = 5,89 \cdot 10^{-5} \text{ см}$.
11. Установка для спостереження кілець Ньютона освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі $0,6 \text{ мкм}$, яке падає нормально. Знайти товщину повітряного шару між лінзою та скляною пластинкою у тому місці, де спостерігається четверте темне кільце у відбитому світлі.
12. Установка для спостереження кілець Ньютона у відбитому світлі освітлюється монохроматичним світлом $\lambda = 5 \cdot 10^3 \text{ \AA}$, яке падає нормально. Простір між пластинкою та лінзою заповнений водою. Визначити товщину шару води між лінзою і скляною пластинкою у тому місці, де спостерігається третє світле кільце.
13. Установка для спостереження кілець Ньютона у відбитому світлі освітлюється монохроматичним світлом, яке падає нормально. Після того, як простір між лінзою та скляною пластинкою заповнимо рідиною, радіуси темних кілець зменшилися у $1,25$ раза. Знайти показник заломлення рідини.
14. Ньютонові кільця утворюються між плоским склом та лінзою з радіусом кривизни $8,6 \text{ м}$. Монохроматичне світло падає нормально. Вимірюванням встановлено, що діаметр четвертого темного кільця (враховуючи, що центральна темна пляма – нульова) дорівнює 9 мм . Знайти довжину хвилі падаючого світла.
15. Установка для отримання кілець Ньютона освітлюється білим світлом, що падає нормально. Знайти: 1) радіус чет-

вертого синього кільця ($\lambda = 5630 \text{ \AA}$). Спостереження відбувається в прохідному світлі. Радіус кривизни лінзи дорівнює 5 м.

16. В установці для отримання кілець Ньютона простір між лінзою і скляною пластинкою заповнений рідиною. Визначити показник заломлення рідини, якщо радіус третього світлого кільця дорівнює 3,65 мм. Спостереження ведеться в прохідному світлі. Радіус кривизни лінзи 10 м. Яка довжина хвилі світла?