Сумський державний університет

Взаємодія світла з речовиною. Ефект Доплера

Практичне заняття № 10

Повторення теоретичного матеріалу

8. *Закон Брюстера*: Світло, відбите від границі двох діелектриків, повністю лінійно поляризоване при куті падіння, тангенс якого дорівнює відносному показнику заломлення середовищ.

$$\mathrm{tg}\alpha_{Б} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}, \qquad (4.13)$$

де $\alpha_{Б}$ – кут падіння, при якому відбита світлова хвиля повністю поляризована (кут Брюстера);

n_{21} – показник заломлення другого середовища відносно першого.

Повторення теоретичного матеріалу

9. *Закон Малюса*: Інтенсивність поляризованого світла, що пройшло через аналізатор, пропорційна квадрату косинуса кута φ між площиною коливань поляризованого світла і головною площиною аналізатора.

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \tag{4.14}$$

де I_0 – інтенсивність поляризованого світла, що падає на аналізатор;

I – інтенсивність світла, що пройшло через аналізатор;

У реальних умовах необхідно враховувати, що електромагнітні хвилі відбиваються і поглинаються, тобто для реальних умов закон Малюса буде виглядати наступним чином:

$$I = I_0 (1 - k) \cos^2 \varphi, \tag{4.15}$$

де k – коефіцієнт, який показує, яка частина енергії відбивається і поглинається.

Повторення теоретичного матеріалу

10. Ступінь поляризації світла:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \qquad (4.16)$$

де $I_{\max}$ і $I_{\min}$ – максимальна і мінімальна інтенсивності світла, що відповідають двом взаємно перпендикулярним напрямам світлових коливань в промені.

11. Кут φ повороту площини поляризації оптично активними рідинами:

$$\varphi = [a] l c, \qquad (4.17)$$

де l – товщина шару рідини;

c – концентрація розчину;

$[a]$ – питома постійна обертання, що залежить від природи речовини.

Кут повороту площини поляризації кристалічними речовинами:

$$\varphi = a l, \qquad (4.18)$$

де l – шлях, пройдений променем у кристалі;

a – постійна обертання, що залежить від довжини хвилі і природи речовини.

Активація Windo

Алгоритми розв`язання задач та методичні поради

- Задачі, в яких розглядається поляризація світла при відбитті від межі двох діелектриків, розв’язують за допомогою **закону Брюстера**.
- ***Зверніть увагу!*** У формулі (4.13) n_{21} – відносний показник заломлення двох діелектриків, на межі яких відбувається відбивання світла.
- Використовуючи **закон Малюса** у вигляді формул (4.14) або (4.15), враховуйте наступне. Головною площиною поляризатора називають площину, в якій відбуваються коливання світлових векторів у плоскополяризованому промені, що вийшов з приладу.
- Аналізатор - той самий прилад, що і поляризатор, але використовується для аналізу поляризованого світла. Його також характеризують головною площиною. Тому кут φ у формулах (4.14) і (4.15) одночасно є кутом між головними площинами поляризатора і аналізатора і кутом між площинами, в яких коливаються світлові вектори двох плоскополяризованих променів: падаючого на аналізатор і того, що виходить з нього.

1. Кут Брюстера $\theta_Б$ при падінні світла з повітря на кристал кам'яної солі дорівнює 57^0. Визначити швидкість світла в цьому кристалі.

$v_2 - ?$

$\theta_Б = 57°$

$n_1 = 1$

$n_2 = 1{,}54$?

$v_1 = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$

$$tg\theta_Б = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$tg\theta_Б = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{tg\theta_Б}$$

$$tg57° = \frac{0{,}48}{1{,}54}$$

$$v_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{\frac{0{,}48}{1{,}54}} = \cancel{6{,}25 \cdot 10^8}$$

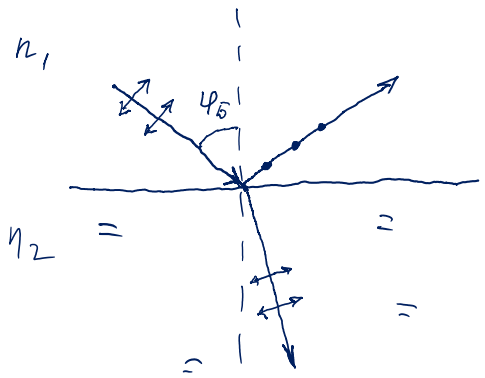
$1{,}95 \cdot 10^8 \left(\frac{м}{с}\right)$

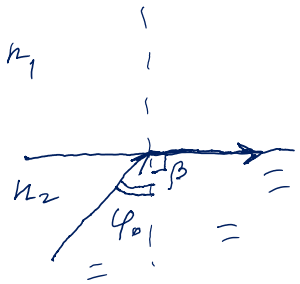
2. Граничний кут повного внутрішнього відбиття пучка світла на межі розділу рідини з повітрям дорівнює $\varphi_0=45^o$. Визначити кут повної поляризації $\varphi_Б$ для падіння променя з повітря на поверхню цієї рідини.

$\varphi_Б - ?$

$\varphi_0 = 45^\circ$

$n_1 = 1$





$\beta = 90^\circ$

$$\frac{\sin\varphi_0}{\underbrace{\sin\beta}_{=1}} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{\sin\varphi_0}$$

$$tg\,\varphi_Б = \frac{n_2}{n_1}$$

$$tg\,\varphi_Б = \frac{1}{\sin\varphi_0}$$

$$\sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\varphi_Б = arctg\,\frac{1}{\sin\varphi_0}$$

$$\varphi_Б = arctg\,\frac{1}{1/\sqrt{2}} = arctg\,\sqrt{2} = 54{,}7^\circ.$$

3. Ступінь поляризації *P* частково поляризованого світла дорівнює 0,5. У скільки разів відрізняється максимальна інтенсивність світла, що проходить через аналізатор, від мінімальної?

Розвязання

$\frac{I_{max}}{I_{min}} - ?$

$P = 0{,}5$

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}.$$

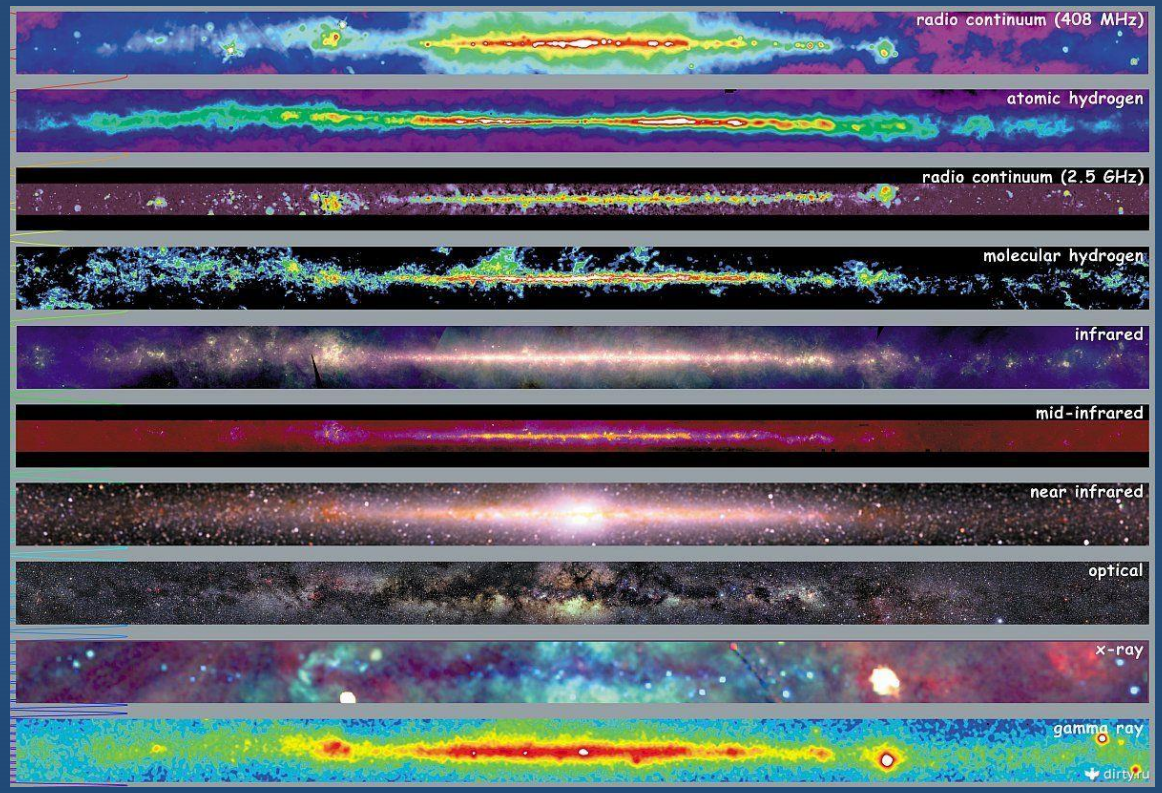
$$P(I_{max} + I_{min}) = I_{max} - I_{min}$$

$$0{,}5 I_{max} + 0{,}5 I_{min} = I_{max} - I_{min}$$

$$1{,}5 I_{min} = 0{,}5 I_{max} \quad | : (I_{min} \cdot 0{,}5)$$

$$\frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{1{,}5}{0{,}5} = 3.$$

Спектри галактик



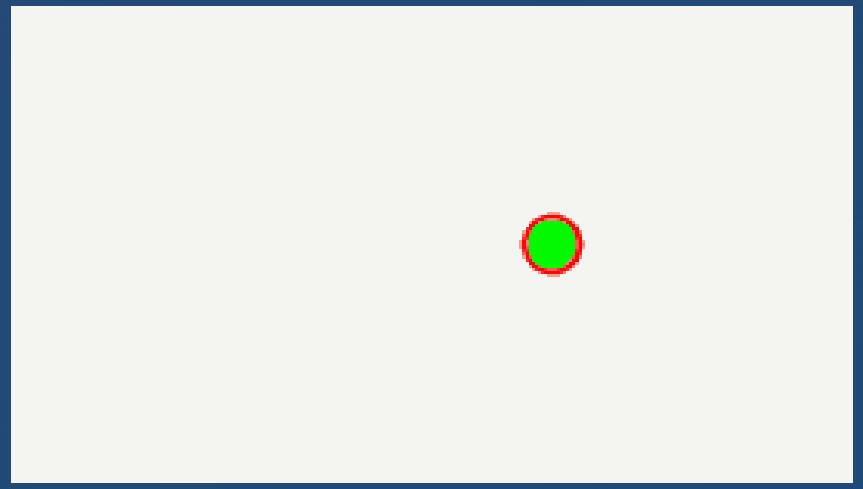
Спектр галактик складаються з випромінювання всіх складових їх об'єктів. Спектр середньостатистичної галактики має два локальних максимуму.

Основне джерело випромінювання - це зірки, максимум інтенсивності випромінювання більшості з них знаходиться в оптичному діапазоні

Ефект Доплера.
Променева швидкість. Закон Габбла.

У 1929 році американський астроном Едвін Габбл встановив, що лінії спектрів усіх галактик, за винятком декількох найближчих до нас, зміщені в сторону ***більш довгих хвиль*** і це зміщення ("червоне зміщення") є тим більшим, чим далі знаходиться галактика.

Єдиним поясненням цього явища є ***ефект Доплера***.



Якщо джерело світла рухається уздовж лінії спостереження зі швидкістю v_r, яка називається *променевою швидкістю*, то замість довжини хвилі λ_0, яку випромінює джерело, спостерігач фіксує хвилю довжиною λ.

Ефект Доплера.
Променева швидкість. Закон Габбла.

Ефект Доплера:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{V_r}{c}.$$

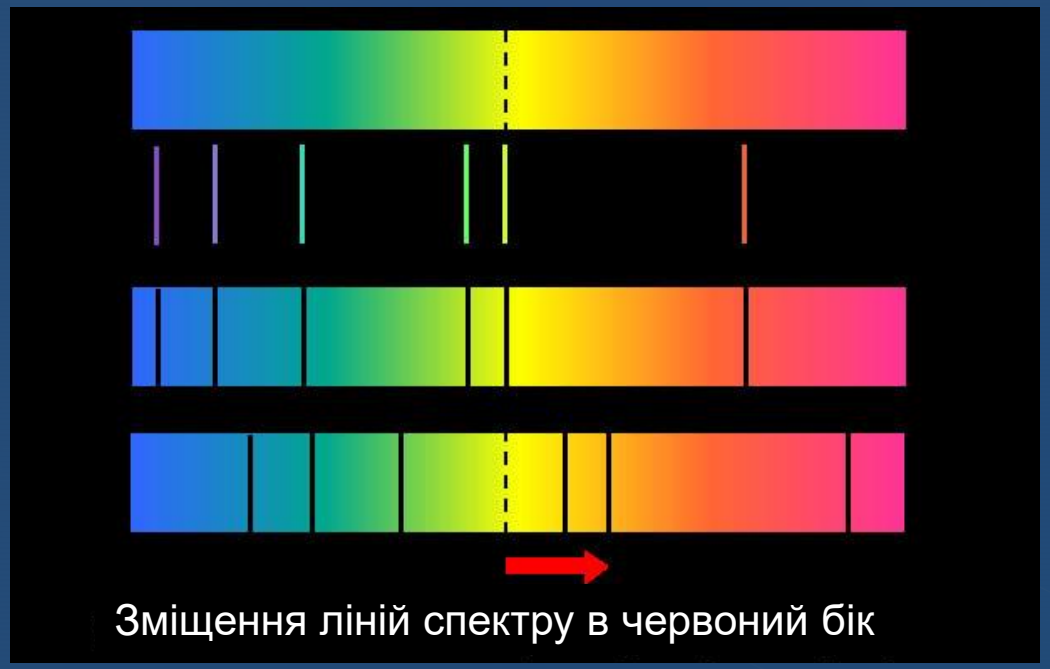
Променева швидкість v_r ***додатна*** при русі джерела світла ***від спостерігача***: $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 > 0$

червоне зміщення

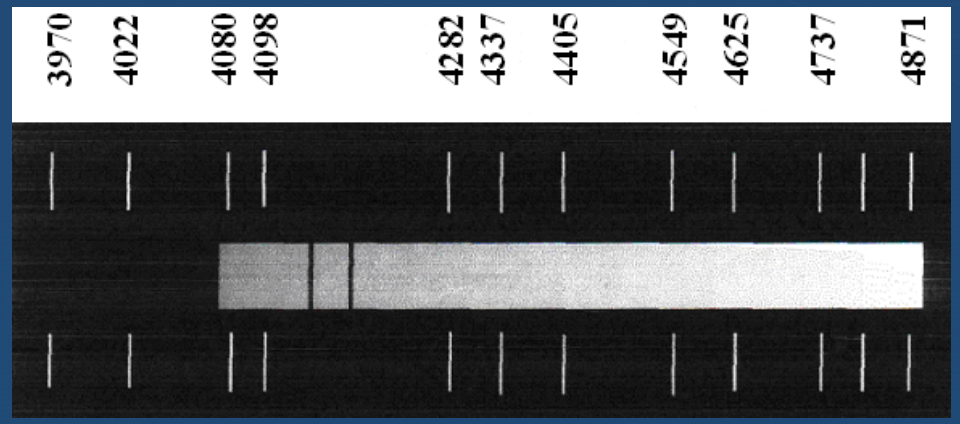
Променева швидкість v_r ***від'ємна***, якщо джерело ***наближається*** до спостерігача: $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 < 0$.

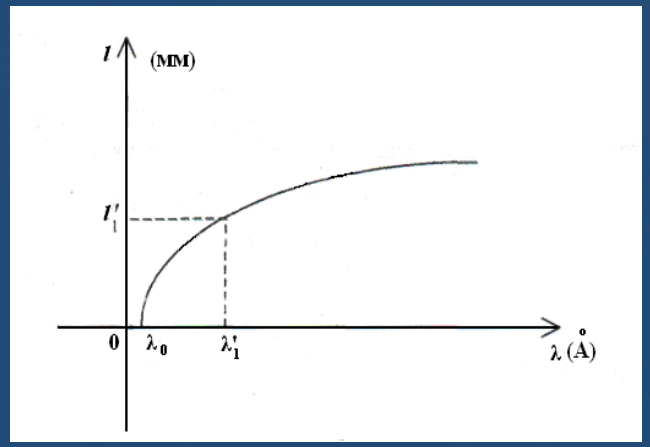
фіолетове зміщення

Ефект Доплера.
Променева швидкість. Закон Габбла.



Маючи спектрограму світила, над нею друкують спектр порівняння від земного джерела випромінювання. Спектр порівняння для нас нерухомий, і відносно нього можна визначати зміщення ліній спектра зорі на спектрограмі





Ефект Доплера.
Променева швидкість. Закон Габбла.

Досить часто у завданнях на застосування ефекту Доплера вимагається, знаючи червоне зміщення у спектрі досліджуваного космічного об’єкту, розрахувати відстань до нього.

У такому випадку варто скористатися законом Габбла, який характеризує космологічне розширення Всесвіту:

$$\boxed{\vartheta = H \cdot r}$$

де v – швидкість віддалення галактики, r – віддаль до галактики в ***мегапарсеках***, (1 Мпс = 10^6 пс, 1 пс = 3,08 10^{13} км), H – коефіцієнт пропорційності, який носить назву сталої Хаббла.

На даний час вважають: ***H = 75 (км/с)/Мпс***

Лінія Гідрогену H_α у спектрі далекої галактики має довжину хвилі $\lambda = 7350$ ангстрем $= 735$ нм. Видимі кутові розміри галактики дорівнюють 8". З якою швидкістю і куди рухається ця галактика? На якій відстані від нас вона знаходиться?

v_r – ? r – ?

$\lambda = 7{,}35 \cdot 10^{-7}$ м

$\lambda_0 = 6{,}563 \cdot 10^{-7}$ м

$r = 8''$

$c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$

$H = 75 \frac{км}{с \cdot Мпк}$

1)

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c}$$

$$v_r = \frac{(\lambda - \lambda_0)c}{\lambda_0}$$

$$v_r = \frac{(7{,}35 \cdot 10^{-7} - 6{,}563 \cdot 10^{-7}) \cdot 3 \cdot 10^8}{6{,}563 \cdot 10^{-7}} = 0{,}36 \cdot 10^8 = 3{,}6 \cdot 10^7 \left(\frac{м}{с}\right) =$$

$0{,}787 \cdot 10^{-7}$

$$= 36000 \left(\frac{км}{с}\right)$$

2)

$$v_r = H \cdot r$$

$$r = \frac{v_r}{H}.$$

Задача для самостійного розв’язування

Пучок природного світла, який розповсюджується у воді, відбивається від грані алмаза, зануреного у воду. При якому куті падіння відбите світло повністю поляризоване?

$n_в \approx 1,33$

Алмаз	2,419