Література до курсу

1. Сивухи Д.В. Общий курс физики, том IY, Оптика
2. Ландсберг Г.С. Оптика
3. Горбань І.С. Оптика
4. Калитеевский Н.И. Волновая оптика
5. Бутиков Е.И. Оптика
6. Білий М.У., Скубенко А.Ф. Загальна фізика. Оптика. К., 1987
7. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальна курс фізики. Оптика. Квантова фізика, К., 1999
8. Годжаев Н.М. Оптика М., 1977
9. Савельев И.В. Курс общей физики, том 3
10. Матвеев А.Н. Оптика М., 1985
11. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика М., 1998
12. Борн М., Вольф Э. Основы оптики
13. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы
14. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики, том 3
15. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики
16. Крауфорд Ф. Волны. Берклеевский курс физики, М., 1974
17. ……

Оптика – розділ фізики, який займається вивченням властивостей, фізичною природою та взаємодією з речовиною електромагн. хвиль опт. діап.

Оптичний діапазон: $\lambda = 1мм \div 120 \mathring{A}$ (12 нм)

$1\mathring{A} = 10^{-4}$ мкм $= 10^{-10}$ м

1) ІЧ: дальній – 1 мм ÷ 25 мкм
середній – 25 мкм ÷ 5 мкм
ближній – 5 мкм ÷ 0.76 мкм

2) Видиме світло: $\lambda = 0.76$ мкм $\div 0.4$ мкм

червоне	0.76-0.63 мкм
оранжеве	0.63 – 0.60
жовте	0.60 – 0.57
зелене	0.57 – 0.50
синьо-зел.	0.50 – 0.45
синє	0.45 – 0.43
фіолетове	0.43 - 0.40

3) УФ: ближній - $(4000 \div 3000)\mathring{A}$
середній – $(3000 \div 2000)\mathring{A}$
вакуумний (далекий) – $< 2000\mathring{A}$
(~ до $1000\mathring{A}$)

Розділи оптики

I Геометрична оптика (побудова зображень в різних опт. системах та опт. елементах)

II Фізична оптика

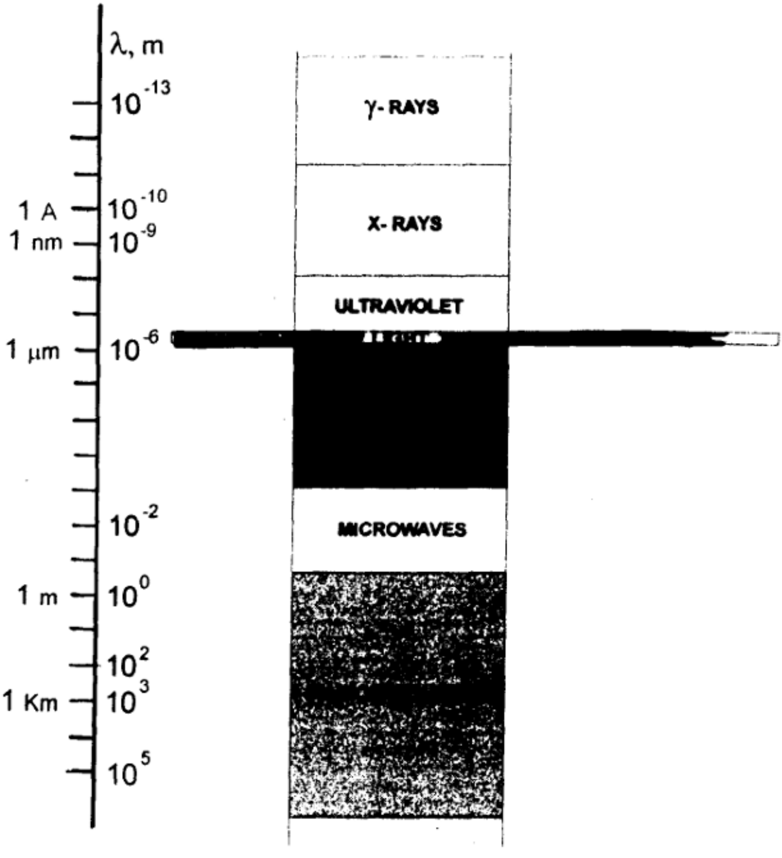
1. Хвильова оптика (інтерференція, дифракція, поляризація, дисперсія, розсіювання, ...)
2. Квантова оптика (враховується корпускул. природа світла $E_ф = h\nu$ – квант світл. енергії).

3. Фізіологічна оптика (оптика зору, око).
<u>СРС</u> Кучерук, ... § 2.9; Ландсберг, ... § 91
Сівухин, ... § 21

<u>Застосування оптичного діапазону</u>

1. Метрологія. Вимірювання l, σ, кутів, темп-ри, ..
2. Спектр. аналіз (визначення структури та складу
3. Опт. запис інформ., передача за допомогою ВОЛЗ, обробка інф. в системах оптоелектроніки тощо
4. Локація
5. ...

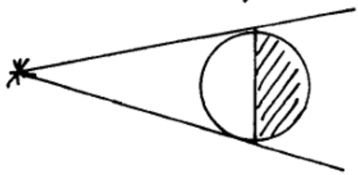
The electromagnetic-photon spectrum



Геометрична оптика

Закони ГО

1. Закон прямолінійного розповсюдження світла



- Джерело точкове (розмір дж. ≪ розмір тіла, відстань до тіл.
- край тіні має диффракц. смуги
- якщо середовище мутне, то відбувається розсіювання у боки

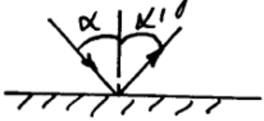
2. Закон незалежності поширення світлових променів

3. Закон суперпозиції

$$\Psi_{1+2} = \Psi_1 + \Psi_2 \quad (E_{1+2} = E_1 + E_2)$$

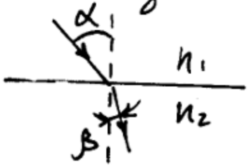
Закон виконується до тих пір, поки не починається інтерференція

4. Закон відбиття



$$\alpha = \alpha'$$

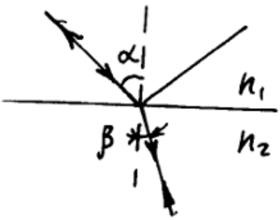
5. Закон заломлення (Закон Снелліуса)



$$n_1 \cdot \sin\alpha = n_2 \cdot \sin\beta$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$ відносний показник заломл.

6. Закон оборотності (або взаємності) опт. променів



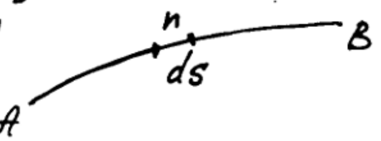
Принцип Ферма   Ландсберг, ... § 69

1679 р. 1) Однорідне середовище ($n = const$)

Опт. довжина шляху $l = n \cdot s$, де s – геометр довж. шляху

2) Неоднорідне середовище

$n \neq const$; $n(\vec{r})$



Шлях розбиваємо на такі малі відрізки ds, що на протязі кожного із них n вважаємо сталим. Тоді $dl = n \cdot ds \Rightarrow l = \int^{B} n \cdot ds$

Принцип Ферма: світло розповсюджується по шляху, оптична довжина якого екстремальна (тобто або max, або min, або стаціонарна). ≡ Необхідно щоб варіація від інтеграла дорівнювала нулю

$\boxed{\delta \int_{A}^{B} n \cdot ds = 0}$ – матем. формулювання принципу Ферма

Приклади: див. Фриш, Тиморева, ... § 253

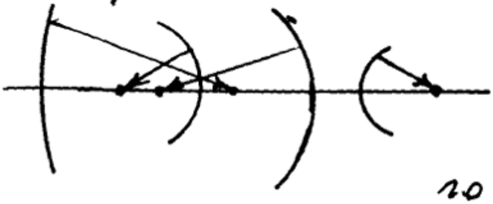
З принципу Ферма витікають такі закони ГО:

1) закон прямолін. розповс. світла в однорідн. серед.
2) закон відбиття; 3) закон заломлення
4) визначення траєкторії (шляху) світла в неоднорідному середовищі; 5) закон оборотності

див. Сивухин ... § 7

Основні поняття оптики

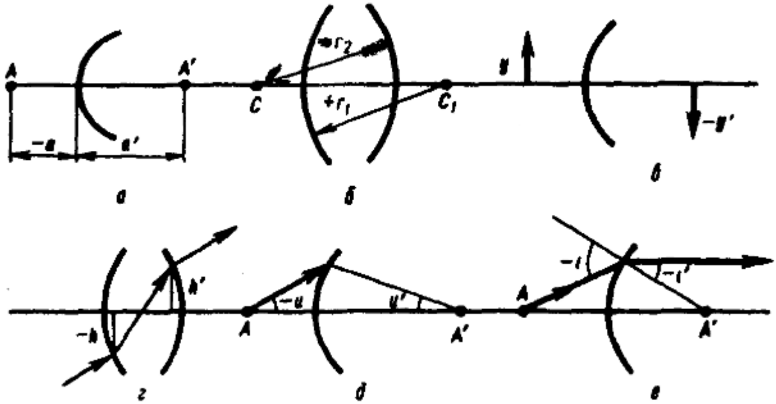
1. Гомоцентричний промінь
2. Стигматичне та астигматичне зображення
3. Спряжені площини і спряжені точки
4. Площина предмета і площина зображення
5. Параксіальні промені
6. Центрована оптична система: два однорідні



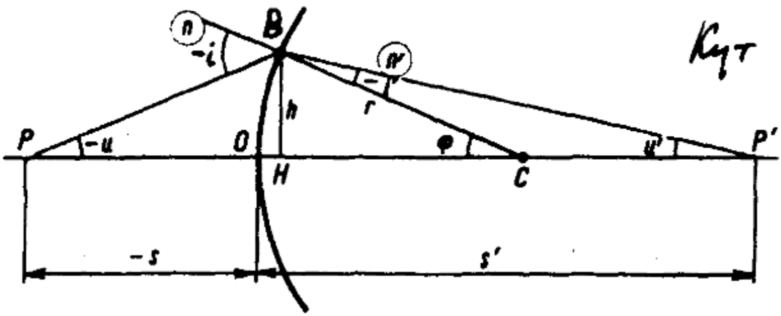
заломлюючі або відбиваючі середовища розділені одне від одного сферичними поверхнями центри яких розташовані на одній прямій, яка наз. головною опт. віссю системи
7. Головна опт. вісь ≡ опт. вісь
8. Уявне та дійсне зображення

Уявне зобр. ⇄ дійсне зображення може бути перетворене за допомогою опт. системи (елементів)
9. Правила знаків:
   - відлік кутів – від опт. осі або від перпендикуляру до дотичної
   - додатні кути – по годин. стрілці; від'ємні кути – проти годин. стрілки
   - світло розповсюдж. зліва направо. Якщо R (радіус заломл. поверхні) співпадає за напрямком промені, то $R > 0$, якщо проти – то $R < 0$
   - розміри предметів і зображень (y та y') – додатні, якщо вони розміщені вище опт. осі

ІЛЮСТРАЦІЇ ДО ПРАВИЛ ЗНАКІВ

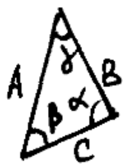


ЗАЛОМЛЕННЯ НА ОДНІЙ СФЕРИЧНІЙ ПОВЕРХНІ



Кут $u < 0$

Кут $u' > 0$



$$Пл.\Delta = \frac{1}{2} A\cdot B\cdot \sin\gamma = \frac{1}{2} A\cdot C \sin\beta$$

$$Пл.\Delta\, PBP' = Пл.\Delta\, PBC + Пл.\Delta\, BCP'$$

$$Пл.\Delta\, PBC = \frac{1}{2}\cdot |PB|\cdot|BC|\cdot \sin(180^\circ - i)$$

$$Пл.\Delta\, PBP' = \frac{1}{2}|PB|\cdot|BP'|\cdot\sin(180 - i + i') =$$

$$= \frac{1}{2}|PB|\cdot|BP'|\cdot\left[-\sin(i - i')\right]$$

$$Пл.\Delta\, BCP' = \frac{1}{2}|BC|\cdot|BP'|\cdot\sin i'$$

$$-|PB|\cdot|BP'|\cdot\sin(i - i') = |PB|\cdot|BC|\cdot\sin i + |BC|\cdot|BP'|\cdot\sin i'$$

$$BC = R$$

$$-|PB|\cdot|BP'|\sin(i - i') = R\,(PB\sin i + BP'\sin i')$$

ξ $\sin(\alpha-\beta) = \sin\alpha\cdot\cos\beta - \cos\alpha\cdot\sin\beta$

$$\frac{\sin i\cdot\cos i' - \cos i\cdot\cos\beta}{R} = \frac{\cancel{PB}\cdot\sin i}{\cancel{PB}\cdot BP'} + \frac{\cancel{BP'}\cdot\sin i'}{PB\cdot\cancel{BP'}}$$

Ліву і праву половину домножимо на $(n/\sin i')$:

$$\frac{\sin i\cdot\cos i'\cdot(n/\sin i') - \cos i\cdot\cancel{\sin i'}\cdot(n/\cancel{\sin i'})}{R} = \frac{\sin i}{BP'}\cdot\frac{n}{\sin i'} +$$

$$+ \frac{\cancel{\sin i'}}{PB}\cdot\frac{n}{\cancel{\sin i'}}.$$ Врахуємо, що $n\cdot\sin i = n'\sin i'$

$$\frac{\cos i'\cdot(\sin i/\sin i')\cdot n - \cos i\cdot n}{R} = \frac{n}{BP'}\cdot\frac{\sin i}{\sin i'} + \frac{n}{PB}$$

$$\frac{n'\cdot\cos i' - n\cdot\cos i}{R} = \frac{n'}{BP'} + \frac{n}{PB}$$

В паракс. наближенні: $BP' \approx S'$; $BP \approx -S$

$\cos i' \approx 1$; $\cos i \approx 1$

$$\boxed{\frac{n'-n}{R} = \frac{n'}{S'} - \frac{n}{S}} \quad (1)$$ Рівняння Аббе

$$\frac{n'}{R} - \frac{n}{R} = \frac{n'}{S'} - \frac{n}{S}$$

$$\boxed{n'\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{S'}\right) = n\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{S}\right)}$$ – інв Аббе

<u>Аналіз</u>: 1) В параксіальному наближенні положення т. A' не залежить від кута i. Всі промені, які виходять з однієї т. A опт. осі, після заломлення на сфер. поверхні, перетнуться в одній точці (т. A'), що теж лежить на опт. осі. Точка A' – зображення т. A. Гомоцентричні промені

2) Назвемо величину $\boxed{\frac{n'-n}{R}=\Phi}$ опт. силою сфер. поверхні

3) Якщо $S\to\infty$, то спряжена точка буде в задньому фокусі і $\Phi=\frac{n'}{S'}$

$$S'=\boxed{f'=\frac{n'}{\Phi}} \qquad (2)$$

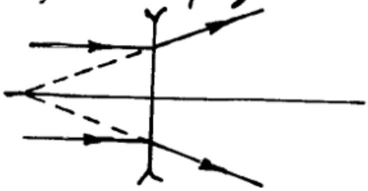
4) Якщо $S'\to\infty$, то передній фокус

$$S=\boxed{f=-\frac{n}{\Phi}} \qquad (3)$$

5) З (2) та (3) $\Longrightarrow$ $\boxed{\frac{f'}{f}=-\frac{n'}{n}}$ (4)

Висновки (1-5) стосувались збираючої лінзи

6) Для розсіючої лінзи: $f'=-\frac{n'}{\Phi}$ і $f=\frac{n}{\Phi}$



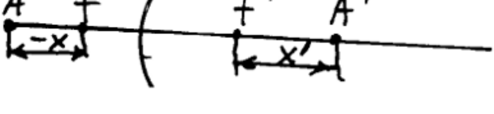
7) З рівняння Аббе $\frac{n'}{S'}-\frac{n}{S}=\frac{n'-n}{R}=\Phi$:
розділимо ліву і праву частину на $\frac{n'-n}{R}$

$$\frac{n'\cdot R}{S'(n'-n)}-\frac{n\cdot R}{S(n'-n)}=1$$

Формула (рівняння) сферичної поверхні

$$\frac{1}{S'}\cdot\frac{n'R}{n'-n}-\frac{1}{S}\,\frac{R\cdot n}{n'-n}=1 \Rightarrow \boxed{\frac{f'}{S'}+\frac{f}{S}=1} \qquad (5)$$

8) Формулу (5) можна представити в іншому вигляді. Для цього введемо відрізки x та x':



$$\left.\begin{aligned}-S&=-f-x\\ S'&=f'+x'\end{aligned}\right\}\rightarrow (5):$$

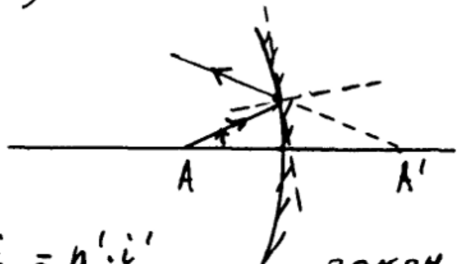
$$\frac{f'}{f'+x'}+\frac{f}{f+x}=1$$

$$f'(f+x)+f(f'+x')=(f'+x')(f+x)$$

(6) $\boxed{x\cdot x'=f\cdot f'}$ Формула Ньютона (5) та (6) еквівал.

9) Повернемось до (2) та (3):

$$\boxed{\Phi=\frac{n'}{f'}=-\frac{n}{f}}$$



Сферичне дзеркало

а) Із закону Снеліуса $n\cdot i=n'\cdot i'$
$n'=-n \Rightarrow n\cdot i=-n\cdot i'' \Rightarrow \boxed{i=-i'}$ закон відбиття

б) з (1), якщо покласти $n'=-n$:

(7) $\boxed{\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{2}{R}}$ Формула сферичного дзеркала

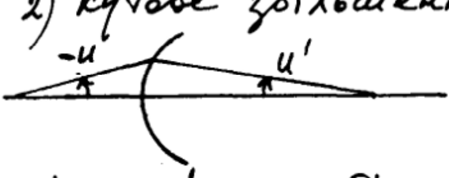
в) $f=f'=\frac{R}{2}$

Збільшення, яке дає одна заломлююча поверхня

Є три характеристики збільшення:

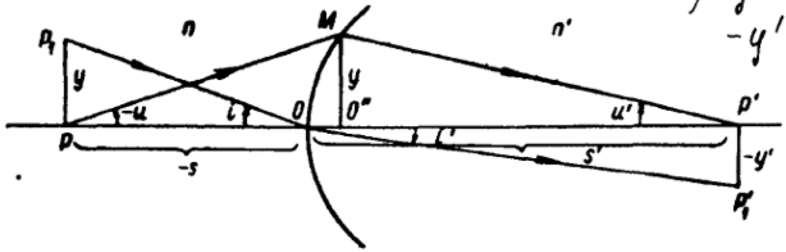
1) лінійне (поперечне) $\beta=\frac{y'}{y}$ y' – розмір зображ. y – розмір предм

2) кутове збільшення



$$\alpha=\frac{tg\,u'}{tg\,u}$$

3) поздовжне збільшення $\gamma=\frac{\Delta x'}{\Delta x}$



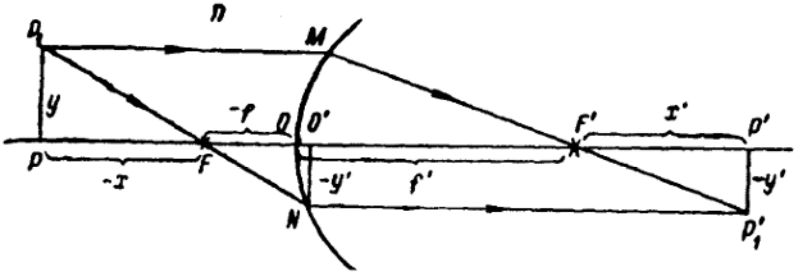
1) $y = (-s)\cdot i$

$-y' = s'\cdot i'$

$\beta = \dfrac{y'}{y} = \dfrac{s'}{s}\cdot\dfrac{i'}{i}$ (A)

2) Із закону заломлення: $n \cdot i = n' \cdot i' \Rightarrow \quad \dfrac{i'}{i} = \dfrac{n}{n'}$ (B)

u – кут під яким об'кт y видно з відстані (-s);
u' – кут під яким об'кт y видно з відстані s



$(B) \rightarrow (A): \quad \beta = \dfrac{n}{n'}\cdot\dfrac{s'}{s}$

З $\Delta\, PP_1F$ та $\Delta\, NO'F$: $\quad \dfrac{-y'}{y} = \dfrac{-f}{-x}$

$\Rightarrow \beta = \dfrac{y'}{y} = \dfrac{f}{x}$ (1)

З формули Ньютона $\quad x\cdot x' = f\cdot f' \Rightarrow \dfrac{f}{x} = \dfrac{x'}{f'}$ (2)

$(2)\rightarrow(1): \quad \beta = -\dfrac{x'}{f'}$ (3)

$\dfrac{\sin i}{\sin i'} = \dfrac{n'}{n} \quad \Rightarrow \quad \dfrac{i}{i'} = \dfrac{n'}{n}$

$y' = s\cdot tg\, i' = s\cdot \sin i'; \qquad y = -s\cdot\sin i$

$\dfrac{y'}{y} = \dfrac{-s'}{s}\cdot\dfrac{\sin i'}{\sin i} = -\dfrac{s'}{s}\cdot\dfrac{n}{n'}$ $\quad \boxed{\beta = -\dfrac{n}{n'}\cdot\dfrac{s'}{s}}$ (4)

В однорідному середовищі $\left(\dfrac{n}{n'} = 1\right)$: $\beta = -s'/s$

$$tg\,u = \frac{y}{s} \Rightarrow u = \frac{y}{s}$$

$$tg\,u' = \frac{y}{s'} \Rightarrow u' = \frac{y}{s'}$$

$$\frac{tg\,u'}{tg\,u} = \frac{u'}{u} = \frac{y}{s'} : \frac{y}{s} = \frac{s}{s'} \quad (5)$$

Для непараксіальних променів:

$$\boxed{n' \cdot y' \cdot \sin u' = n \cdot y \cdot \sin u}$$

умова сінусів Аббе

$$(5) \to (4): \quad \frac{u'}{u} = \frac{ny}{n' \cdot y'} \Rightarrow \boxed{n' y' u' = n \cdot y \cdot u} \quad (6)$$

В паракс. наближенні: Інваріант Лагранжа-Гельмгольца

$$\text{кут. зб } \alpha = \frac{tg\,u'}{tg\,u} \approx \frac{u'}{u} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{y}{y'}$$

В однорідному середовищі ($n = n'$) $\boxed{\alpha = \frac{1}{\beta}}$ (7)

Якщо $x \cdot x' = f \cdot f'$ (ф-ла Ньютона) продифер.:

$$\Delta x \cdot x' + \Delta x' \cdot x = 0$$

$$\frac{\Delta x'}{\Delta x} = -\frac{x'}{x} \frac{f \cdot f'}{f \cdot f'} \underset{(1),(3)}{=} -\frac{f'}{f} \cdot \beta^2 = \beta^2$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{в однорідному} \\ \text{серед. } f = -f' \end{array} \right.$

Поздовжнє збільш.:

$$\boxed{\gamma = \frac{\Delta x'}{\Delta x} = -\frac{x'}{x}} \quad (8)$$ – для будь-якого (в т. ч. неоднорідн.) середовища

$$\boxed{\gamma = \beta^2} \quad (9)$$ – для однорідного середовища ($n = n'$; $f = f'$)

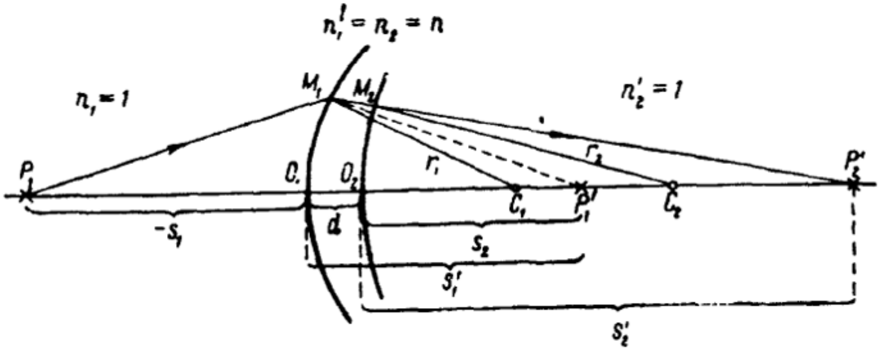
$$(7) \to (9): \quad \gamma = \beta \cdot \frac{1}{\alpha} \qquad \boxed{\gamma \cdot \alpha = \beta} \quad (10)$$

Висновок із (9): $\gamma = \beta^2$ – поздовжнє збільшення пропорційне квадрату поперечного збільшення. Це означає, що жодна, навіть ідеальна, оптична система не дає геометрично подібного просторового зображення об'ємного предмета.

ТОНКА ЛІНЗА

Лінза – тіло, яке виготовлене із однорідного прозорого матеріалу і обмежене поверхнями, принаймні одна з яких має радіус кривизни, відмінними від нуля.

Ми розглядаємо (тут !) сферичні поверхні.



Заломлення на 1-ій поверхні (якщо не було б 2-ої) створило б в суцільній масі (наприклад, скла) з показником заломлення n_2 зображення P_1' на відстані S_1'. Для другої поверхні точка P_1' є начебто вторинним уявним джерелом, зображенням якого є точка P_2', яка знаходиться на відстані S_2' від оптичного центру.

Застосуємо рівняння Аббе до обох поверхонь.

Для 1-ої: $$\frac{n}{S_1'} - \frac{n'}{S_1} = \frac{n - n_1}{R_1} \qquad (1)$$

Для 2-ої поверхні: $$\frac{n_2'}{S_2'} - \frac{n}{S_2} = \frac{n_2' - n}{R_2} \qquad (2)$$

$$S_2 = S_1' - d$$

Для тонкої лінзи $s_2 = s_1'$. Тому із (1):

$$\frac{n}{S_2} = \frac{n}{S_1'} = \frac{n_1}{S_1} + \frac{n - n_1}{R_1} \qquad (3).$$

(3) → (2):

$$\frac{n_2'}{S_2'} - \frac{n_1}{S_1} - \frac{n - n_1}{R_1} = \frac{n_2' - n}{R_2}$$

Врахуємо, що $n_1 = 1$ та $n_2' = 1$, а також те, що відстані до об'єкта та до зображення: S та S'

$$\boxed{\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$$ Формула тонкої лінзи

Аналіз:

1) Треба не забувати враховувати знаки R_1 та R_2!

Для опуклих лінз в повітрі можна записати $\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$ (1)

і користуватись вже без врахування знаків

2) Якщо $s=\infty$, а $s'=f_2$, то

$$\frac{1}{s'}\equiv\frac{1}{f_2}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) \quad (2)$$

3) Якщо $s'=\infty$, а $s=f_1$, то

$$\frac{1}{s}=\frac{1}{f_1}=(n-1)\left(\frac{1}{R_2}-\frac{1}{R_1}\right) \quad (3)$$

4) З (2) та (3) витікає, що, якщо справа і зліва від лінзи середовища однакові, то $f_1=-f_2$ (4)

5) Величину

$$\boxed{\frac{1}{f_2}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)=\Phi}$$

називають оптичною силою лінзи

$[\Phi]=м^{-1} \Rightarrow [\Phi]=$ діоптрія – опт. сила лінзи, фок. відстань якої 1 м