

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФОРМУЛЫ ТОНКОЙ ЛИНЗЫ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15176191>

Abdulla A. Uzoqov¹, Shavqiddin Abdullayev², Xamidabonu Mamatqulova³

¹*Toshkent davlat pedagogika universiteti, Toshkent, O'zbekiston,
Bunyodkor ko'chasi, 27, dotsent, f-m.f.n.*

²*O'zbekiston Respublikasi Jamoat xavfsizligi universiteti, Toshkent viloyati,
Zangiota tumani, Chorsu qo'rg'oni, dotsent, f-m.f.n.*

³*Toshkent davlat pedagogika universiteti, Toshkent, O'zbekiston,
Bunyodkor ko'chasi, 27, IV kurs talabasi
e-mail: uzoqov@gmail.com*

Аннотация

В данной работе рассматривается задача нахождения формулы тонкой линзы, которая связывает фокусное расстояние и оптическую силу тонкой линзы с радиусами кривизны поверхностей ограничивающих эту линзу.

Ключевые слова

тонкая линза, фокус линзы, оптическая сила, радиус кривизны, принцип Ферма, световой луч, показатель преломления.

Abstract

This paper considers the problem of finding the a formula for a thin lens that relates the focal length and optical power of a thin lens to the radii of curvature of the surfaces bounding this lens.

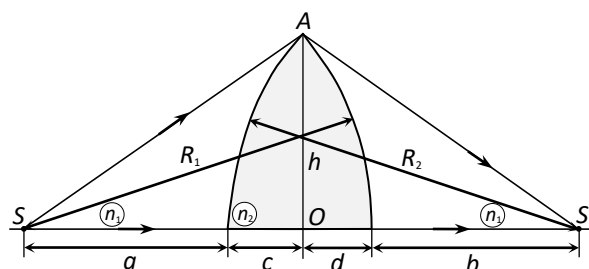
Key words

thin lens, lens focus, optical power, radius of curvature, Fermat principle, light beam, refractive index.

Прозрачные тела ограниченные двумя поверхностями (сферическими или цилиндрическими) называются линзами. Они способны формировать оптические изображения предметов, преломляя световые лучи. Материалом линз могут служить стекло, кристаллы, кварц, пластмассы и.т.п. Тонкими называются линзы, если толщина линз значительно меньше радиусов поверхностей ограничивающих линзу или значительно меньше её фокусного расстояния. Это упрощение позволяет использовать более простые формулы для расчёта параметров изображения.

Выведем формулу тонкой линзы. Эта формула связывает радиусы кривизны R_1 и R_2 поверхностей линзы с расстояниями от предмета до линзы a и от изображения до линзы b . Для вывода формулы тонкой линзы воспользуемся принципом Ферма (принцип наименьшего времени Ферма), согласно которому свет выбирает из множества путей между двумя точками тот путь, который потребует наименьшего времени.

Рассмотрим два световых луча (рис.) – луч, распространяющийся по



главной оптической оси (луч SOS') и луч, проходящий через край линзы (луч SAS'). Воспользуемся условием равенства времени прохождения света вдоль SOS' и SAS' .

Время прохождения света 1 и 1' вдоль главной оптической оси SOS' :

$$t_1 = \frac{a + n_{21}(k + m) + b}{c}, \quad (1)$$

где $n_{21} = n_2/n_1$ относительный показатель преломления, n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления окружающей среды и линзы, k и m – толщина левой и правой части линзы, c – скорость света.

Время прохождения света 2 и 2' вдоль направления SAS' :

$$t_2 = \frac{\sqrt{(a + k)^2 + h^2} + \sqrt{(b + m)^2 + h^2}}{c}. \quad (2)$$

Так как по принципу Ферма эти времена одинаковы, т.е. $t_1 = t_2$, то уравнения (1) и (2) приравняем друг к другу

$$a + n_{21}(k + m) + b = \sqrt{(a + k)^2 + h^2} + \sqrt{(b + m)^2 + h^2}. \quad (3)$$

Разложим корни в правой стороне уравнения (3) в ряд Тейлора. Для того напомним Формулу Тейлора для степенной функции:

$$(1+x)^p = 1 + \frac{px}{1!} + \frac{p(p-1)x^2}{2!} + \dots, \quad (4)$$

Применим (4) формулу к корням в правой части уравнения (3). Воспользуемся только первыми двумя членами ряда, потому что остальные члены очень малы

$$\sqrt{(a+k)^2 + h^2} = (a+k) \sqrt{1 + \frac{h^2}{(a+k)^2}} =$$

$$= (a+k) \left(1 + \frac{1}{2} \frac{h^2}{(a+k)^2}\right) = a+k + \frac{1}{2} \frac{h^2}{a+k}.$$

Точно также для второго корня можем записать следующее выражение:

$$\sqrt{(b+m)^2 + h^2} = b+m + \frac{1}{2} \frac{h^2}{b+m}.$$

Найденные выражения подставим и формулу (3)

$$a+n_{21}(k+m)+b=a+k+\frac{1}{2} \frac{h^2}{a+k}+b+m+\frac{1}{2} \frac{h^2}{b+m}.$$

После сокращений получим следующее выражение

$$(n_{21}-1)(k+m) = \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{a+k} - \frac{1}{b+m} \right). \quad (5)$$

Для случая тонкой линзы, т.е. $k \ll a$ и $m \ll b$ (5) формула приобретет следующий вид:

$$(n_{21}-1)(k+m) = \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right). \quad (6)$$

Из рисунка можно записать следующее выражение

$$k = R_2 - \sqrt{R_2^2 - h^2} = R_2 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{h^2}{R_2^2}}\right). \quad (7)$$

Разложим корень в правой части уравнения (7) в ряд Тейлора

$$\sqrt{1 - \frac{h^2}{R_2^2}} = 1 - \frac{1}{2} \frac{h^2}{R_2^2}.$$

Подставим полученное выражение в уравнение (7)

$$k = R_2 \left(1 - 1 + \frac{1}{2} \frac{h^2}{R_2^2}\right) = \frac{h^2}{2R_2}. \quad (8)$$

Точно также для m можем записать следующее выражение:

$$m = \frac{h^2}{2R_1}. \quad (9)$$

(8) и (9) выражения подставив в (6) формулу получим следующее выражение:

$$(n_{21}-1) \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right). \quad (10)$$

Проведя сокращения, приходим к следующему выражению:

$$(n_{21}-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}. \quad (11)$$

(11) формула является формулой тонкой линзы. Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы считается положительной, а вогнутой поверхности – отрицательной.

Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы считается положительным, вогнутой – отрицательным. Если расстояние от предмета до линзы $a=\infty$, то лучи падают параллельно главной оптической оси и проходя через линзу встретятся в главной оптической оси. Это точка называется **фокусом** линзы. Тогда выражение (11) примет следующий вид:

$$\frac{1}{b} = (n_{21}-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right). \quad (12)$$

В этом случае расстояние от изображения до линзы $b=F$, и называется фокусным расстоянием линзы.

Подставляя вместо b фокусное расстояние F , (12) формулу можно написать в следующем виде:

$$\frac{1}{F} = (n_{21}-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right). \quad (13)$$

Если расстояние от изображения до линзы $b=\infty$, то лучи выходят из линзы и расстояние от предмета до линзы $a=F$. Таким образом, фокусные расстояния линзы, окруженной с обеих сторон одинаковой средой, равны.

Также (13) формулу можно записать в следующем виде:

$$D = \frac{n_1}{F} = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right),$$

или

$$D = \frac{n_c}{F} = (n_{л} - n_c) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right), \quad (14)$$

где D – оптическая сила линзы (дптр), $n_{л}$ – абсолютный показатель преломления линзы, n_c – абсолютный показатель преломления среды.

Линзы с положительной оптической силой ($D>0$) являются собирающими, а с отрицательными оптическими силами ($D<0$) являются рассеивающими.

Таким образом, мы вывели формулу тонкой линзы, а также формулу, связывающую фокусное расстояние, оптическую силу и радиусы кривизны поверхностей линзы.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] Sapaev, U. K., Yusupov, D. B., Sherniyzov, A. A., & Uzakov, A. A. (2012). Theory of backward second-harmonic generation of short laser pulses in periodically and aperiodically poled nonlinear crystals. *Journal of Russian Laser Research*, 33, 196-210.
- [2] Yusupov, D. B., Uzakov, A. A., Sapaev, U. K., & Usmanov, T. B. (2002). Phase-modulated pulses at the transient second harmonic generation in periodic nonlinear mediums. *Uzbekiston Fizika Zhurnali*, 4.
- [3] Yusupov, D. B., Sapaev, U. K., Sherniyozov, A. A., & Uzoqov, A. A. (2014). Pulse shaping via forward second harmonic generation in nonlinear photonic crystals. *Uzbekiston Fizika Zhurnali*, 16.
- [4] Uzoqov A.A., Abdullaev S.U. O'zbekistonda optik aloqa tarmoqlarining qo'llanilishi haqida // ТЕХНИКА. – 2020. – №. 2. – С. 31-32.
- [5] Parsiyev S., Abdullayev S., Uzoqov A. Sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlanish istiqbollari // *Modern Science and Research*. – 2024. – T.3. – №.1. – С. 1-2.
- [6] Uzoqov A.A. Bir tekis zaryadlangan to'g'ri sterjenning nuqtaviy zayadga ta'sir kuchini hisoblash metodikasi // "Fizika, matematika va informatika", Ilmiy-uslubiy jurnal, 6-son, 2024 yil.
- [7] Uzoqov Abdulla Abduraimovich, and Madraimov Xudaybergan Atabek o'g'li. "Yorug'likning yupqa plastinkada sinish va qaytish hodisalariga oid masalalar yechish metodikasi." *American Journal of Multidisciplinary Bulletin* 2.5 (2024): 251-260.
- [8] A.A.Узоков. Тербий ортоалюминати $TbAlO_3$ нинг оптик ва магнитооптик хусусиятлари. Физика-математика фанлари номзоди диссертацияси автореферати, 01.04.05 – Оптика, Тошкент, 2010. – 25 б.
- [9] Хужанов Э.Б. Умумий ўрта таълим мактаб ўқувчиларида физик тушунчаларни статистик метод асосида шакллантириш. Педагогика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати, Тошкент, 2020. – 48 б.
- [10] Khushvaktov U.N. Use of the membership principle in studying solid physics at secondary school // *ACADEMICIA An International Multidisciplinary Research Journal* ISSN: 2249-7137, Vol. 11, | Issue 6 | June 2021. - Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 7.492, P. 526-531.
- [11] Khushvaktov U.N. Interconnected training in laboratory and practical classes in solid state physics // *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal* ISSN: 2249-7137, Vol. 12, Issue 05, May 2022. Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 8.252, P. 134-146.

[12] Xushvaqtoʻv Oʻ.N. Umumiy oʻrta taʼlim maktablarida qattiq jismlar fizikasiga oid amaliy mashgʻulotlarni takomillashtirish // “FIZIKA, MATEMATIKA va INFORMATIKA” ILMIY-USLUBIY JURNAL. 2022 2-son. 01.04.2022-y. 38-44 b. (13.00.00. № 2)

[13] Қаландаров Э.Қ., Хушвақтов Ў.Н. Қаттиқ жисмлар физикасини янги педагогик технологиялар асосида ўқитиш асослари// Муғаллим ҳам узлуксиз билимлендириш илмий-методикалық журналі. – Нукус, 2018. -№ 3-сон. 122-127 б. (13.00.00. № 20)

[14] Xushvaqtoʻv Oʻ.N. Qattiq jismlar fizikasini oʻqitish uchun animatsion aralash reallik modellari // Fizika fanini axborot va innovatsion texnologiyalar muhitida oʻqitishning zamonaviy tendensiyalari: Muammo va yechimlar mavzusidagi. Respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallar toʻplami. Navoiy shahri – 2023. 279-284 bet.

[15] Xushvaqtoʻv Oʻ.N., “Qattiq jismlar fizikasi”ni oʻqitish jarayonida oʻquvchilarning kreativ kompetentligini rivojlantirish// “XALQ TAʼLIMI” Oʻzbekiston Respublikasi Maktabgacha va Maktab Taʼlimi Vazirligining Ilmiy-metodik jurnali. ISSN 2181-7839. 2023 2-son (Mart-Aprel), 67-71 b. (13.00.00. № 17).

[16] Xushvaqtoʻv Oʻ.N. Umumiy oʻrta taʼlim maktablarida qattiq jismlar fizikasining rivojlanish metodologiyasi metodologik asoslari//“OʻzMU XABARLARI” Mirzo Ulugʻbek nomidagi Oʻzbekiston Milliy Universiteti Ilmiy Jurnali. 2024, [1/7/1] ISSN 2181-7324. 218-221 bet.

[17] Хушвақтов Ў.Н., Умумий ўрта таълим мактабларида қаттиқ жисмлар турларини кўргазмалилик тамойилидан фойдаланиб ўрганиш//Ilm sarchashmalari” Urganch davlat universitetining ilmiy-nazary, metodik jurnali. 114-118 bet.