

# МЕТОДЫКА ВЫКЛАДАННЯ

## МЕТОДЫКА ВЫКЛАДАННЯ ФІЗИКІ

УДК 53(07):514

*В.А. Бондар, кандыдат фізіка-матэматычных навук,  
прафесар кафедры агульнай і тэарэтычнай фізікі БДПУ*

### РАШЭННЕ ФІЗІЧНЫХ ЗАДАЧ СРОДКАМІ ГЕАМЕТРЫЧНАЙ СІМЕТРЫІ

Сіметрыя (гр. *symmetria* – суразмернасць) у шырокім сэнсе – інварыянтнасць (нязменнасць) структуры, уласцівасцей, формы (напрамак у геаметрыі) матэрыяльнага аб'екта адносна яго пераўтварэнняў (змяненняў шэрагу фізічных уласцівасцей) [1].

Прынцыпы сіметрыі цесна звязаны з законамi захавання фізічных велічынь. Законы захавання можна класіфікаваць у залежнасці ад віда сіметрыі, паколькі паміж захаваннем і сіметрыяй існуе фундаментальная сувязь. Вядома, што сіметрыя пераўтварэння часу адпавядае закон захавання энергіі. Сіметрычнае пераўтварэнне прасторы адпавядае закону захавання імпульса, ізатропнасць прасторы – захаванню моманту імпульсу [2–7].

Існуюць дзве групы сіметрыі. Да першай групы адносіцца сіметрыя становішчаў, форм, структур. Гэта сіметрыя, якую можна непасрэдна бачыць. Яна можа быць названа геаметрычнай сіметрыяй.

Аднак паняцце сіметрыі можна пашырыць, калі ўключыць у яго больш абстрактныя паняцці, ніяк не звязаныя з геаметрыяй. Другая група характарызуе сіметрыю фізічных з'яў і законаў прыроды. Гэта сіметрыя ляжыць у самой аснове прыродазнаўчай карціны свету: яе можна назваць фізічнай сіметрыяй. Напрыклад, адна з сіметрыі звязана з работай, якая выконваецца пры пад'ёме цела. Затрачаная пры гэтым энергія залежыць ад рознасці вышынь, якую патрабуецца пераадолець пры гэтым. Але энергія не залежыць ад абсалютнай вышыні, вымяраюцца вышыні ад узроўню мора ці ад узроўню сушы – важная толькі рознасць вышынь. Гэты прыклад – ілюстрацыя таго, што фізікі называюць калібравачнымі сіметрыямі, звязанымі са змяненнямі маштабу.

Усе сіметрыі, якія звязаны з законамi мікрасвету, з'яўляюцца калібравачнымі.

Сіметрыя ў фізіцы – гэта ўласцівасць фізічных велічынь, якія дэтальна апісваюць паводзіны сістэм, заставацца нязменнымі (інварыянтнымі) пры пэўных пераўтварэннях, якія могуць быць зроблены над велічынямі [8,9].

Слова «сіметрыя» мае два значэнні. У адным сэнсе сіметрычнае азначае нешта вельмі прапарцыянальнае, збалансаванае; сіметрыя паказвае той спосаб узгаднення многіх частак, пры дапамозе якога яны аб'ядноўваюцца ў цэлае. Другі сэнс гэтага слова – раўнавага. Яшчэ Арыстоцель гаварыў аб сіметрыі як аб стане, які характарызуецца суадносінамі крайнасцей.

Характэрна, што да найбольш цікавых вынікаў навука прыходзіла менавіта тады, калі выяўляла факты парушэння сіметрыі. Высновы, што выцякаюць з прынцыпу сіметрыі, інтэнсіўна распрацоўваліся фізікамі і прывялі да шэрагу важных вынікаў [10–11].

У многіх выпадках сіметрыя з'яўляецца дастаткова відавочным фактам. Напрыклад, для пэўных геаметрычных фігур няцяжка ўбачыць гэту сіметрыю і паказаць яе шляхам адпаведных пераўтварэнняў, у выніку якіх фігура не зменіць свайго выгляду [12].

Аднак у агульным сэнсе паняцце сіметрыі больш шырокае: яе можна разумець як нязменнасць (інварыянтнасць) якіх-небудзь уласцівасцей аб'екта ў адносінах да пераўтварэнняў, аперацый, што выконваюцца над гэтым аб'ектам. Прычым гэта можа быць не толькі матэрыяльны аб'ект, але і закон, матэматычная формула ці ураўненні, у тым ліку і нелінейныя.

Сіметрыя мае важнае значэнне пры даследаванні фізікі мікрасвету. Фізік-тэарэтык А. Мігдал лічыў, што галоўнымі напрамкамі

фізиці XX ст. були пошуки симетрії і адзінства карціны свету [13].

«Принцип симметрии в XX веке охватывает все новые области. Из области кристаллографии, физики твердого тела он вошел в область химии, в область молекулярных процессов и в физику атома. Нет сомнения, что его проявления мы найдем в еще более далеком от окружающих нас комплексов мире электрона и ему подчинены будут явления квантов» [14].

Разгледзім розныя прыклады праяўлення прынцыпу сіметрыі ў аптыцы і выкарыстання яго пры рашэнні задач. Як вядома, раздзел «Оптыка» вывучае даволі складаную фізічную з'яву – святло. Ужо пры абгрунтаванні прыроды святла закладзена пэўная сіметрыя: існуюць два, здавалася б, процілеглыя пункты гледжання на прыроду святла: хвалевае і карпускулярнае. Гэта палажэнне, якое атрымала назву *дуалізм хвалі і часціц*, з'яўляецца адлюстраваннем наяўнасці сіметрыі і асіметрыі.

Вядомы такі від прасторавай сіметрыі, як *люстравая сіметрыя*, ці, як яго часам называюць, *сіметрыя левага і правага*. Ужо сама назва гэтага віду сіметрыі гаворыць аб тым, што яна бярэ свой пачатак у раздзеле геаметрычнай аптыкі і звязана са з'явай люстравога адбіцця святла, асноўны закон якога сцвярджае, што вугал падзення праменя  $\alpha$  роўны вуглу адбіцця  $\beta$  (рысунк 1).

**Задача 1.** Пункт  $A_1$  з'яўляецца відарысам кропкавай крыніцы  $A$  ў сферычным люстры, аптычная вось якога  $N_1N_2$  (рысунк 2а). Вызначыць пабудовай становішча сферычнага люстра, яго тып, аптычны цэнтр і фокус.

Пры вызначэнні становішча люстра выкарыстоўваецца прыём, заснаваны на пабудове пункта  $A_2$ , сіметрычнага пункту  $A_1$  адносна

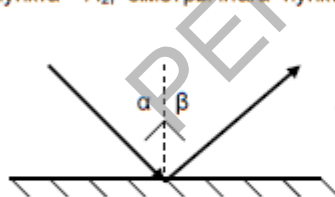
аптычнай восі  $N_1N_2$  (рысунк 2б). На падставе закону адбіцця святла можна зрабіць вывад, што пункт  $S$  з'яўляецца полюсам увагнутага сферычнага люстра.

**Задача 2.** Вызначыць вугал адхілення  $\delta$  прамяня пры ўмове мінімальнага адхілення яго ў прызме з праламляльным вуглом  $A$  і паказчыкам праламлення  $n$  (рысунк 3).

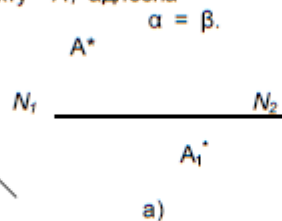
Пры рашэнні задачы неабходна ўлічыць, што мінімальнае адхіленне будзе, калі  $|\alpha_1| = |\alpha_2|$  – уваходны і выхадны прамені сіметрычныя. Та-

$$\text{ды } n = \frac{\sin\left(\frac{\delta+A}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}, \text{ а значыць, вугал } \delta = A(n-1).$$

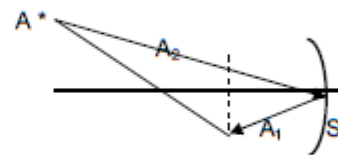
Вядома, што існуюць некаторыя крышталічныя рэчывы, якія называюцца ў аптыцы аптычна актыўнымі, выяўляюць унутраную асіметрыю сваёй будовы, паварочваючы плоскасць палярызацыі святла, якое праходзіць праз іх ўлева ці ўправа. Зыходзячы з гэтага, рэчывы падзяляюць на ўлеваварчальныя і ўправаварчальныя сістэмы. Аптычна актыўнае асяроддзе павінна мець ўлеваварчальную асіметрыю, якая і вызначае варчэнне плоскасці палярызацыі ў пэўны бок. Прыкладам аптычна актыўнага асяроддзя з'яўляецца крышталічная кварца, аптычная актыўнасць якога звязана з ўлева-правай асіметрыяй яго крышталічнай рашоткі. Калі ж крышталічная кварца растварыць у вадкасці, то варчэнне плоскасці палярызацыі святла не назіраецца. На першы погляд, здаецца, што наяўнасць крышталічнай структуры з улева-правай асіметрыяй ёсць неабходная ўмова назірання



Рысунк 1

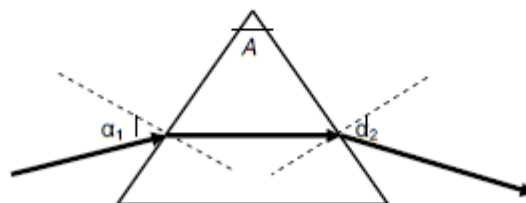


а)



б)

Рысунк 2



Рысунк 3



вярчэння плоскасці палярызацыі святла. Але, як паказалі даследаванні, улева-правая асіметрыя можа быць звязана не толькі са структурай асяроддзя як цэлага, але і са структурай малекул асяроддзя. У сувязі з гэтым з'явіўся тэрмін «правыя» і «левыя» малекулы.

**Задача 3.** У кварцавых спектрографіх прызма выражаецца так, каб святло ў ёй распаўсюджвалася ўздоўж аптычнай восі (рысунак 4а). Пры гэтым усё ж назіраецца невялікае раздзяненне спектральных ліній. Якім чынам можна ліквідаваць гэты недахоп?

Звычайна на практыцы для яго ліквідацыі выкарыстоўваюць прызму Карню, складзеную з дзвюх частак, з правага ( $D$ ) і левага ( $G$ ) кварцу (рысунак 4 б).

У тэорыі сіметрыі ёсць адзін агульны прынцып, згодна з якім: «Калі ўмовы, што адназначна вызначаюць які-небудзь эфект, валодаюць некаторай сіметрыяй, то і вынік іх дзеяння выяўляе тую ж сіметрыю». У оптыцы маецца шэраг прыкладаў, якія з'яўляюцца асобным выпадкам гэтага агульнага прынцыпу сіметрыі. Напрыклад, нягледзячы на ўсе скажэнні ў рэнтгенаўскіх відарысах (на так званых лаўэграмах), сіметрыя крышталю аднаўляецца правільна. Пры назіранні шчыліны, шырыня якой усяго ў некалькі разоў большая за даўжыню светлавой хвалі, мы атрымліваем скажоны відарыс гэтай шчыліны, які складаецца з інтэрферэнцыйных палос.

Аналагічнае праяўленне гэтага агульнага прынцыпу мае месца і пры дыфракцыі светлавых прамянёў на сукупнасці шчылін (на дыфракцыйных рашотках). Калі пры нанясенні штыроў рашоткі строга вытрымана паралельнасць іх, то размеркаванне інтэнсіўнасці святла пасля праходжання праз рашотку строга сіметрычна адносна нулявога максімуму.

**Задача 4.** На дыфракцыйную рашотку, якая мае  $N = 500$  штыроў на 1 мм, падае мо-

нахраматычнае выпраменьванне з даўжынёй хвалі  $\lambda = 550$  нм. Якую колькасць дыфракцыйных максімумаў можна назіраць пры нармальным падзенні выпраменьвання на рашотку?

Каб даць адказ на пастаўленае пытанне, неабходна знайсці магчымыя максімальны парадак спектра. У дадзеным выпадку  $k_{\max} = 3$ . З улікам сіметрычнага размяшчэння галоўных максімумаў адносна нулявога, адказам на пытанне задачы будзе лічба 7.

Пры тэарэтычным апісанні шматлікіх аптычных з'яў выкарыстоўваюцца рознага кшталту інварыянты, якія маюць непасрэднае дачыненне да прынцыпу сіметрыі. Так, напрыклад, пры атрыманні тэарэтычных заканамернасцей, што апісваюць фарміраванне відарысаў прадметаў многімі праламляльнымі сферычнымі паверхнямі, выкарыстоўваюць інварыянт Лагранжа–Гельмгольца, а пры атрыманні агульнай формулы праламляльнай сферычнай паверхні – нулявы і варыянт Аббе.

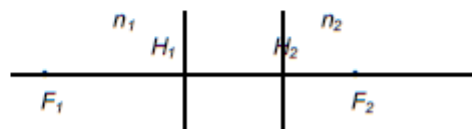
**Задача 5.** Вызначыць папярочнае павелічэнне  $V$  аптычнай сістэмы, зададзенай сваімі галоўнымі пунктамі  $H_1$  і  $H_2$  і галоўнымі плоскасцямі (рысунак 5).

Пры вызначэнні папярочнага павелічэння  $V$  выкарыстоўваюць суадносіны Лагранжа – Гельмгольца  $n_1 u_1 y_1 = n_2 u_2 y_2$ .

Можна яшчэ прывесці шэраг прыкладаў праяўлення сіметрыі і асіметрыі ў оптыцы. Калі светлавы прамень наіраваць на аптычна анізатропнае асяроддзе, то назіраецца падвойнае праменепраламленне. Пры гэтым мае месца праяўленне сіметрыі і асіметрыі, узнікаюць два прамені: звычайны і незвычайны. Прыкладам сіметрычнасці і асіметрычнасці ў оптыцы з'яўляецца існаванне такіх двух раздзелаў оптыкі, як лінейная і нелінейная оптыка. Катэгорыі сіметрыя і асіметрыя не існуюць у прыродзе адна без другой, яны існуюць толькі разам, як парныя процілеглыя, але ўзаемадапаўняльныя катэгорыі развіцця.



Рысунак 4



Рысунак 5

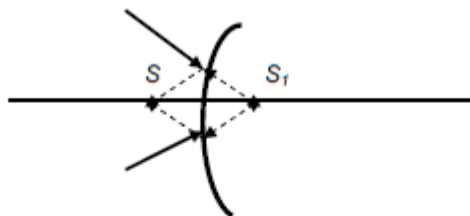


Рисунок 6

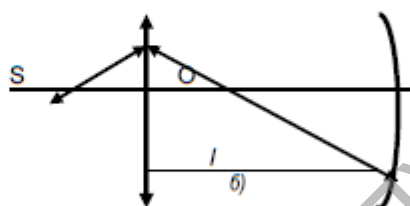
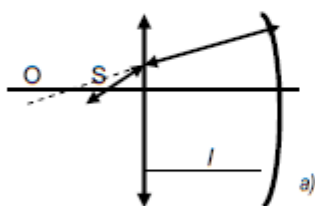


Рисунок 7

У оптиці широко вядомы прынцып адваротнасці светлавых праменяў, які можа служыць прыкладам прасторава-часавай сіметрыі і які даволі часта выкарыстоўваецца пры рашэнні задач. Згодна з гэтым прынцыпам, калі насустрач праменю, які зведаў шэраг адбіццяў і праламленняў, пусціць другі прамень, то ён пойдзе па тым жа шляху, што і першы прамень, але ў адваротным напрамку. Прыкладам праяўлення прасторава-часавай сіметрыі ў оптицы можа служыць спосаб атрымання галаграфічных відарысаў і інш.

Прыкладамі адпаведных задач на выкарыстанне ўгаданага прынцыпу могуць быць наступныя.

**Задача 6.** Зьхоронныя прамені падаюць на выпуклае сферычнае люстра з радыусам крывізны  $R = 0,4$  м так, што іх працягі перасякаюцца на аптычнай восі люстра на адлегласці  $f = 0,7$  м за люстрам (рысунак 6). На якой адлегласці ад люстра сыйдуцца гэтыя прамені пасля адбіцця?

На падставе прынцыпу адваротнасці можна лічыць пункт  $S$  крыніцай, а пункт  $S_1$  – яе відарысам і, выкарыстаўшы агульную формулу сферычнага люстра, знайсці адлегласць  $d$ .

**Задача 7.** Збіральная лінза з фокуснай адлегласцю  $F$  размешчана на адлегласці  $l$  перад увагнутым сферычным люстрам, радыус крывізны якога  $R$ . На якой адлегласці  $d$  перад лінзай неабходна размясціць кропкавую крыніцу святла, каб прамені, якія прайшлі праз лінзу, адбіліся ад люстра і зноў прайшлі праз лінзу, збіраючыся ў тым жа пункце, дзе размешчана крыніца?

Пры рашэнні неабходна разгледзець два выпадкі:

- 1)  $l < R$  (рысунак 7 а);
- 2)  $l > R$  (рысунак 7 б). На падставе прынцыпу адваротнасці, як паказана на рысунку 7а, прамень адбіваецца ад увагнутага люстра ў напрамку на аптычны цэнтр  $O$  і пасля праламлення ў лінзе прыходзіць у пункт  $S$  ( $l < R$ ). У другім выпадку ( $l > R$ , рысунак 7б) прамень пасля адбіцця ад увагнутага люстра праходзіць праз аптычны цэнтр  $O$  і пасля праламлення ў лінзе прыйдзе ў пункт  $S$ .

Разгледжаныя намі прыклады нельга лічыць поўным пералікам праяўлення прынцыпу сіметрыі ў оптицы, аднаго з глабальных прынцыпаў, якому падпарадкоўваюцца ўсе з'явы і які даволі часта выкарыстоўваецца пры рашэнні фізічных задач.

#### ЛІТАРАТУРА

1. Миздал А.Б. Энциклопедический словарь юного физика / А.Б. Миздал, Л.Г. Асламазов. – М.: Педагогика, 1984.
2. Карненков, С.Х. Основные концепции естествознания / С.Х. Карненков. – М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1998.
3. Миронов, А.В. Концепции современного естествознания / А.В. Миронов. – ПЗ Пресс, 2003.
4. Самыгин, С.Н. Концепции современного естествознания / С.Н. Самыгин. – Ростов н/Д: Феникс, 2003.
5. Свиридов, В.В. Концепции современного естествознания / В.В. Свиридов. – СПб.: Питер, 2005.
6. Урманцев, Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии / Ю.А. Урманцев. – Москва: Мысль, 1974.
7. Хоромавина, С.Г. Концепции современного естествознания / С.Г. Хоромавина. – Ростов н/Д: Феникс, 2003.
8. Карасев, В.П. Симметрия в физике / В.П. Карасев. – М.: Знание, 1978. – 63 с.
9. Гильде, В. Зеркальный мир / В. Гильде. – М.: Мир, 1982.

10. Девис, П. Суперсила (поиски единой теории природы) / П. Девис. – М., 1989. – 123 с.
11. Трофимов, В. Введение в геометрическое многообразие с симметриями / В. Трофимов. – М.: МГУ, 1989.
12. Готт, В.С. Удивительный неисчерпаемый познаваемый мир / В.С. Готт. – М.: Знание, 1974. – 224 с.
13. Карасев, В.П. Симметрия в физике / В.П. Карасев. М.: Знание, 1978. – 63 с.
14. Хохлтрассер, Р. Молекулярные аспекты симметрии: пер. с англ. / Р. Хохлтрассер. М., 1968.

#### SUMMARY

*The article examines the possibilities of geometric symmetry means application for physical problems solving on «Optics» section example.*

Поступил в редакцию 07.04.2011.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ