

**Вариант на задача за лабораторна работа в 7. клас****Христо ПОПОВ**Софийски университет Св. Климент Охридски, Физически факултет,  
София 1164, бул. Джеймс Баучер 5

Учебната програма по физика и астрономия за 7. клас [1], по която се провежда обучението от есента на 2018 г. предвижда изпълнение на задължителна лабораторна работа “Наблюдаване и изследване на отражение и пречупване на светлината”. Непознаването на тригонометричните функции и на закона на Снелиус–Декарт силно ограничават възможността за **изследване** на пречупването на светлината, без обаче да я изключват. По-долу е показано, че при едно ефективно използване на междупредметната връзка с математиката в лабораторната работа може да се изпълни задача, която има съвсем определен изследователски елемент, като резултатът, първо, разширява знанията за разпространението на светлината и, второ – пътят към него илюстрира един типичен начин за постигане на научно познание.

Възможността за осъществяване на подобна задача се гарантира от включените в учебната програма по математика [2] знания и умения на учениците. Според тази програма още в Тема 3 се изучават “3.3. Ъгли, получени от пресичането на две прави с трета” и ученикът трябва да “познава видовете ъгли, получени при пресичането на прави в равнината, знае твърдения, свързани с тях, и умее да ги прилага;”. В списъка на изучаваните нови понятия са включени необходимите за изпълнение на лабораторната работа понятия *кръстни ъгли, прилежащи ъгли и съответни ъгли*.

Според годишното тематично разпределение (вж. напр. [3]) в часовете по физика въпросната лабораторна работа трябва да се проведе най-рано в края на първия учебен срок (а при вариант първи срок 1 час седмично, втори срок – 2 часа седмично, примерно месец след началото на втория срок). Необходимите знания от математиката също се изучават в края на първия срок, така че и при двата варианта междупредметната връзка е съгласувана по време.

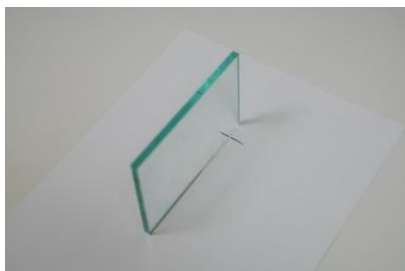
Задачата може да замести задача 2 от лабораторната работа, включена в [4], поради което и представянето ѝ по-долу следва възприетия там модел.

## Цел

Проверете опитно твърдението, че *след преминаване през плоскопаралелна пластинка лъчите запазват посоката на разпространението си*.

Какво ви е необходимо?

Лазерна показалка, снопче хартия за принтер, тиксо, пластилин, правоъгълна стъклена плочка с размери дължина поне 10 cm, широчина 8 cm и дебелина 5 mm (фиг. 1), милиметрова линейка, транспортир, молив.

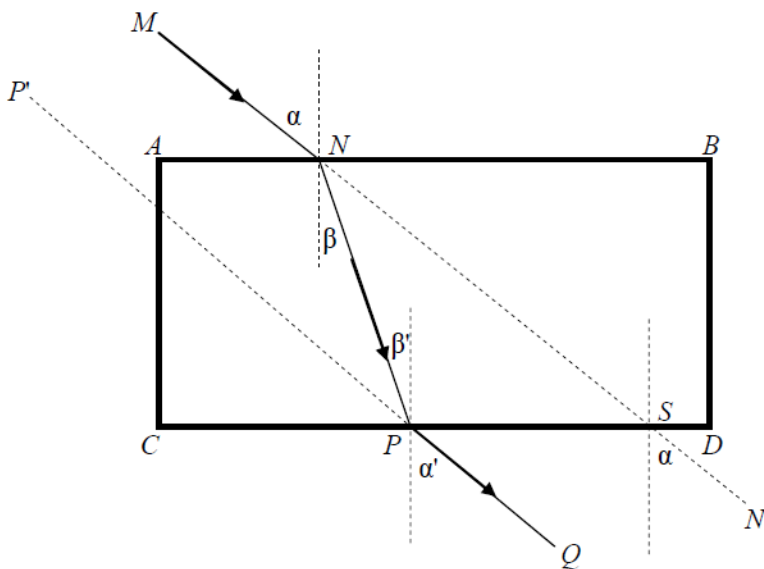


Фиг. 1.

## Задача: Изследване пречупването на лъч през плоскопаралелна пластинка

Ход на работата

1. Залепете пластилина върху масата, включете бутона на показалката и го фиксирайте с тиксото, за да свети тя непрекъснато. Закрепете показалката върху пластилина така, че лъчът да бъде хоризонтален.
2. До показалката поставете снопче хартия, като подберете дебелината му така, че лъчът от показалката да се хлъзга по най-горния лист. Отбележете с молив върху листа т.  $M$  – положението на източника на светлина.
3. Поставете пластинката **легнала** върху белия лист и с молива фиксирайте положението ѝ, като начертаете успоредните отсечки и  $D$ , определящи нейните граници (фиг. 2).
4. Насочете лъча към стената на пластинката. След пречупване в т.  $N$  и в т. той излиза през другата стена.
5. Фиксирайте с молив върху листа положението на т.  $N$ , т.  $P$ , както и на т.  $Q$ , която определя посоката на разпространение на лъча след пластинката.



Фиг. 2.

6. Отстранете пластинката и работете върху чертежа:

- А) начертайте перпендикулярите към ръбовете на пластинката в т.  $N$  и т.  $P$  и означете с  $\alpha$  и  $\alpha'$  съответно първия ъгъл на падане и последния ъгъл на пречупване;
  - Б) измерете с транспортира ъглите  $\alpha$  и  $\alpha'$  и запишете в тетрадката получените стойности;
  - В) сравнете ъглите  $\alpha$  и  $\alpha'$  и запишете в тетрадките резултата от сравнението.
7. Използвайте получената връзка между  $\alpha$  и  $\alpha'$  и знанията си по геометрия и покажете, че след излизане от пластинката пречупеният лъч се разпространява в посоката, в която се разпространява и падащият лъч.

Последната точка от този план е най-трудна, между другото и затова, че пътят до желания извод не е единствен. При всички варианти сложността на разсъжденията изисква активната роля на учителя. По-долу е предложен вариант, който не претендира да бъде най-директен, но показва характера на тези разсъждения.

И така, ние разполагаме с експерименталния резултат, постигнат при изпълнение на т. 6 от плана – това е равенството  $\alpha' = \alpha$ . Той е основа на разсъжденията, които водят до желаното заключение.

За целта първо чертам продължението  $NN'$  на падащия лъч и неговата пресечна точка с ръба  $CD$  бележим с  $S$ , след което през т.  $S$  прекарваме перпендикуляр към  $CD$  (вж. фиг. 2).

Двете успоредни отсечки  $MS$  и  $CSN'$  са пресечени с правата  $MNSN'$  и в съответствие с един от признаците за успоредност на две прави **външните кръстни ъгли**  $\angle MN$  и  $\angle CSN'$  са равни (вж. напр. [5], с.58). Тъй като ъгълът на падане  $\alpha = \angle MN - 90^\circ$ , а ъгълът с връх в т.  $S$  между продължението на падащия лъч и перпендикуляра е  $\angle CSN' - 90^\circ$ , от равенството на тези кръстни ъгли следва, че последният ъгъл е равен на ъгъла на падане – затова на чертежа е означен с  $\alpha$ .

Ако към двете страни на равенството  $\alpha' = \alpha$  добавим по  $90^\circ$ , получаваме равенство на ъглите  $\angle CPQ = \angle CSN'$ . А тъй като те са **съответни ъгли**, получени от пресичането на правите  $P'Q$  и  $MN'$  с отсечката  $CD$ , от тяхното равенство следва успоредност на тези прави.

И така, наистина след като напусне плоскопаралелната пластинка пречупеният лъч само се отмества, оставайки успореден на падащия лъч.

Не бива обаче да създаваме впечатление, че сме **доказали** това свойство на пречупените лъчи! Ние не можем да изключим възможността равенството  $\alpha' = \alpha$  да е валидно само за конкретния ъгъл на падане, при който сме провели експеримента. За да елиминираме тази възможност можем да повторим опита при друг ъгъл на падане, да направим измервания при много и различни ъгли на падане – резултатът ще бъде все същият. Ние не можем обаче да направим необходимите измервания при **всички** възможни стойности на ъгъла на падане, които са безкрайно много.

Въпреки това, въз основа на резултатите от един или няколко опита, ние формулираме някакъв извод (че пречупеният през плоскопаралелна пластинка лъч **винаги** е успореден на падащия), а по-нататък всички измервания ще бъдат само **проверка** на този извод. И ако се окаже, че съществува дори само един ъгъл на падане, при който пречупеният лъч не е успореден на падащия, това ще бъде доказателство, че изводът ни не е верен.

Пълното доказателство на въпросното свойство, разбира се, е възможно след изучаване на закона на Снелиус – Декарт.

Разбира се, нито е възможно, нито целесъобразно тези разсъждения да се правят пред учениците – в седми клас мисленето им все още не е развито до степен, която позволява да вникнат в техния смисъл. Необходимо е обаче ясно да разграничаваме отделните етапи на разсъжденията, както и основанията и пътя, въз основа на които изказваме ня-

кое твърдение (опитен резултат + познато от математиката свойство → разсъждения → заключение).

Този начин за достигане до научно познание ще бъде следван многократно в по-нататък в училище при изучаване на физичните закони.

Полученият резултат може да се използва за разширяване на знанията в още една посока: щом приемаме за *доказана* успоредността между падащия и пречупения лъч, лесно достигаме до свойството, което понякога се нарича *обратимост на лъчите*.

Наистина, да разгледаме двата перпендикуляра, прекарани към ръбовете на пластинката в т. и в т.  $N$ . Те са успоредни помежду си, а разпространяващият се вътре в стъклото лъч ги пресича (вж. фиг. 2). Тъй като ъглите  $\beta$  и  $\beta'$  са **вътрешни кръстни ъгли**, от успоредността на перпендикулярите следва равенство  $\beta = \beta'$ .

Ситуацията допуска следното тълкувание. Върху границата  $\alpha$  е ъгъл на падане, а  $\beta$  – ъгъл на пречупване. Върху другата граница –  $CD$ , ъгъл на падане е  $\beta'$ , а ъгъл на пречупване –  $\alpha'$ . От вече доказаните равенства  $\alpha' = \alpha$  и  $\beta' = \beta$  можем да направим следното заключение. Тъй като двете граници са равноправни, каквото наблюдаваме върху едната ( $CD$ ), същото бихме наблюдавали и върху другата ( $\alpha$ ). Това значава, че, ако някъде вътре в стъклото сменим посоката на лъча на обратната, той ще срещне границата при ъгъл на падане  $\beta$ , ще се пречупи и ъгълът на пречупване при излизане във въздуха ще бъде точно  $\alpha$ , т.е. ще напусне пластинката в същото направление, от което е попаднал върху нея.

Този извод може да се провери опитно, като в постановката от фиг. 2 в мястото на т.  $Q$  поставим плоско огледало, перпендикулярно на пречупения лъч. Ще наблюдаваме, че начупената линия на отразения лъч повтаря точно траекторията, по която лъчът е стигнал до огледалото.

Оказва се, че направеният извод е валиден не само за конкретния случай на плоскопаралелни пластинки, а за всички случаи на пречупване и отражение на светлината, включително и в най-сложните оптични системи, като и той може да се докаже чрез законите за разпространението на светлината. Именно това твърдение понякога се нарича принцип на обратимост на лъчите.

Вижда се, че разгледаната експериментална задача наистина съдържа сериозен изследователски елемент – може би не точно в смисъла, който са имали предвид авторите на учебната програма, когато са озаглавили лабораторната работа “Наблюдаване и изследване на ...”, но все пак – изследователски. Нейната експериментална част не е сложна и би могла да се изпълни от всички ученици. Както бе установено, характерът на разсъжденията в т. 7 от плана за изпълнение на задачата изисква относи-

телно добре развито абстрактно мислене и затова, ако реши да постави задачата, за изпълнение на последната ѝ част учителят може да се ограничи само с онази част от учениците, която проявява по-голям интерес към изучаване на физичните явления<sup>1</sup>.

## Литература

- [1] Приложение № 28 към т. 28 Учебна програма по физика и астрономия за VII клас (общообразователна подготовка); <https://www.mon.bg/bg/1690>.
- [2] Приложение № 23 към т. 23 Учебна програма по математика за VII клас (общообразователна подготовка); <https://www.mon.bg/bg/1690>.
- [3] Ст. Станев и др. (2018) Книга за учителя по физика и астрономия за 7. клас, София: Просвета – Азбуки.
- [4] Хр. Попов и др. (2018) Физика и астрономия за 7. клас, София: Просвета – Азбуки.
- [5] Здр. Паскалева и др. (2014) Математика за 7. клас, София: Архимед.

---

<sup>1</sup>Ръкописът на тази работа бе депозиран в редакцията на списанието на 09.05.2018 г. На 2. юни във Физическия факултет на Софийския университет се проведе организиран от Софийския клон на Съюза на физиците в България конкурс за разработени от ученици постановки за експерименти по физика. Разглеждайки постановките, с изненада открих точно копие на описаното в настоящата статия. Автор на постановката бе македонският седмокласник Марио Мисовски от ООУ “Йосип Броз Тито” в Струга. Постановката е предназначена за лабораторно упражнение “Определяне на скоростта на светлината в стъкло” и е разработена под ръководството на учителя по физика Драган Келешовски. Единствената разлика от описаната в статията постановка е, че Марио фиксира положението на падащия и пречупения лъч с карфици, а не с молив.

Искам да отбележа обаче, че македонските ни колеги не се колебаят като нас, когато трябва да използват нещо, което още не е учено по математика. Затова те са придали чисто количествен характер на лабораторната работа. Те смело използват закона на Снелиус – Декарт и не се смущават от факта, че учениците не знаят какво е синус, аргументирайки се с факта, че калкулаторът “знае”. Затова залагат формулата в калкулатора, измерват ъглите на падане и на пречупване, вкарват получените стойности в калкулатора и ... той им показва колко е скоростта на светлината в стъклото!

Освен, че ме изненада, направеното по време на конкурса откритие ме и зарадва – то ме убеди в реалността на опита, който описах от чисто умозрителни съображения (признавам – опити не мога да правя).