

“Защо има небесна дъга?”¹

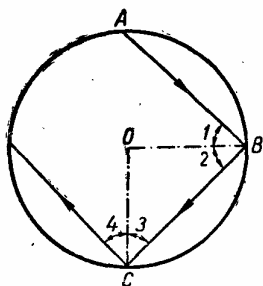
Дори когато четете сериозна книга по физика, човек винаги трябва да е нащрек и да възприема всичко критично – не е изключено и най-ерудитаните автори да направят пропуск или грешка². Ето един пример от цитираната под черта книга, който е от типа “направи си сам парадокс и после си го разрешавай”. Ето как авторът описва парадокса (с малки съкращения):

“При обясняване причините за възникване на небесната дъга *се приема, че попадналият в дъждовната капка лъч изпитва на задната ѝ стена пълно вътрешно отражение* (к.м.), а след това излиза през предната. Всяко преминаване от една среда в друга се придружава с дисперсия, в резултат на което възниква и дъгата.

Лесно е да се покаже обаче, че ако лъчът изпитва едно пълно вътрешно отражение, то той въобще никога няма да може да излезе във въздуха.

Наистина, нека попадналият в капката лъч се разпространява по такава посока AB , че ъгълът на падането 1 върху задната стена на капката, заключен между лъча AB и радиуса OB , е по-голям от граничния ъгъл (фиг.1). В точка B лъчът претърпява пълно вътрешно отражение, след което се насочва в посока BC . Тъй като триъгълникът COB е равнобедрен (страните му CO и BO са равни помежду си като радиуси на окръжността), то ъгъл 3 е равен на ъгъл 2 , който от своя страна по силата на първия закон за отражение е равен на ъгъл 1 . Следователно ако ъгъл 1 е по-голям от граничния ъгъл, по-голям от него е и ъгъл 3 . С други думи и в точка C се наблюдава пълно вътрешно отражение! Тези разсъждения, разбира се, може да се продължат и по-нататък.

Как в такъв случай да обясним появата на дъга?”



Фиг. 1.

В края на книгата, където са поместени решенията, авторът привежда следното обяснение на този парадокс:

“Ние приехме, че повърхността на дъждовните капки има сферична форма. ...

Обаче съпротивлението на въздуха предизвиква отклонение от сферичността и капката приема характерната обтекаема, “капковидна” форма. В резултат условията за отражение в различните точки престават да бъдат еднакви: ако в една точка се получи пълно вътрешно отражение, в друга лъчът може и да излезе навън.

Трябва да се отбележи, че пълно вътрешно отражение в капката *не се наблюдава никога* (к.м.). Във всички случаи част от лъчистата енергия все пак “се промъква” от капката във въздуха.”

Да започнем отзад напред

¹ Слагам заглавието в кавички, защото съм го взел от една чудесна стара книга, която може би все още се намира по прашните рафтове на някои училищни библиотеки или в някой кабинет по физика – книгата на В.Н. Ланге *Физически парадокси, софизми и занимателни задачи*, М., Просвещение, 1967.

² Това, разбира се, в най-голяма степен се отнася и за собствените ми писания, още повече, че съвсем нямам претенциите да принадлежат към авторите, упоменати в изречението.

Според скромното ми мнение, последните две изречения са просто “за заблуда на противника”. От тях не е ясно какво има предвид авторът:

– че и във сферичната, и в деформираната капка никога не се осъществяват условия за пълно вътрешно отражение? А тогава за какво бяха обясненията за деформираните капки? Както ще изясним по-долу, за сферична капка това наистина е така. Но не смятам, че и за деформирана капка може да се твърди подобно нещо, ако не се направи някаква конкретизация за формата ѝ. И ако “*пълно вътрешно отражение в капка не се наблюдава никога*”, то наистина имаме работа с “направи си сам парадокс и после си го разрешавай”.

– че при всяко пълно вътрешно отражение все пак част от енергията преминава в оптически по-рядката среда, но вълната, която я носи, затихва експоненциално и вече на разстояния от порядъка на дължината на вълната се наблюдава трудно? Ако авторът е имал предвид това, то няма нищо общо с проблема за наблюдаването на небесната дъга. Освен това явление е твърде далеч от равнището на училищната физика, така че една ли си е струвало упоменаването му.

Как всъщност стоят нещата

Защо почувствах неудовлетвореност, когато прочетох задачата и решението ѝ? Не бях осъзнавал факта, че ако един лъч претърпи пълно вътрешно отражение вътре в прозрачно кълбо, той не може да излезе от него! Тогава какво става с лъча – продължава да снове в кълбото до безкрайност? Подобно заключение някак си противоречи на физичната интуиция! Причината: има един принцип за обратимост на хода на лъчите. Според него, ако перпендикулярно на посоката на лъча поставим плоско огледалце, той трябва да измине цялата си траектория обратно, т.е. в края на краищата и да излезе от кълбото там, откъдето е влязъл! И така – противоречие: от принципа за обратимост следва, че лъчът трябва да излезе, от закона за отражение – че не може да излезе.

Единственият изход от това противоречие е заключението, че **лъч, който претърпява пълно вътрешно отражение върху вътрешната повърхност на кълбо, не може да е влязъл в кълбото – неговият източник трябва да е вътре в кълбото!** Тогава той наистина е “пленин” завинаги във вътрешността му.

След това, обърнете внимание на фигурата, с която авторът илюстрира “парадокса” – той не е показал посоката, от която лъчът влиза в капката. Това съвсем не е случайно, защото ако един лъч влиза в капката, той не може да претърпи пълно вътрешно отражение, тъй като ъгълът на падането му върху задната стена, ще бъде по-малък от граничния ъгъл. За да се убедите в това прекарайте на фигурата радиуса OA и го продължете извън капката. Начертайте и един падащ лъч, който сключва с радиуса ъгъл α . Отново заради това, че триъгълникът AOB е равнобедрен, ъгълът на пречупване ще е равен на ъгъл I и тогава от закона на Снелиус следва:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \angle I} = n,$$

където n е показателят на пречупване на водата спрямо въздуха. Оттук следва:

$$(1) \quad \sin \angle I = \frac{\sin \alpha}{n}.$$

За да се получи пълно вътрешно отражение в т. B е необходимо ъгъл I да е по-голям от граничния ъгъл $\alpha_{\text{гр}}$, чиито синус е $\sin \alpha_{\text{гр}} = \frac{1}{n}$. Тъй като числителят в дясната страна на

(1) е по-малък от 1, очевидно ъгъл I не може да надминава граничния ъгъл, не може да настъпи и пълно вътрешно отражение.

А откъм практическата страна?

Всъщност в училище като че ли никога не сме се занимавали подробно с хода на лъчите във водните капки при образуване на дъга. Подобни разглеждания се срещат в помощната литература и в учебници, използвани в други страни. Съществено е обаче, че всички обяснения са опират на **сферичността** на капките, защото тъкмо тя осигурява, че всички сини лъчи, които излизат от множеството капки, достигат до околото като паралелен сноп, всички червени лъчи – като друг паралелен сноп и т.н. Несъмнено капките се деформират от съпротивлението на въздуха – въпросът е доколко тази деформация играе роля за обясняване появата на небесната дъга – както излиза от обясненията на автора. Струва ми се, че доколкото капките са с различна големина, то и деформациите им ще бъдат в различна степен (формата на по-малките ще бъде по-близка до сферична). В този случай едва ли излезлите от различни капки сини лъчи ще попадат в околото под един и същ ъгъл и едва ли ще се наблюдава дъга.

Прегледах различните чужди учебници, с които разполагам, и в които се отделя внимание на хода на лъчите във водните капки. **В нито един от тях не се твърди, че върху задната стена на капката лъчът търпи пълно вътрешно отражение.** Очевидно отражението е обикновено, като част от светлината още там напуска капката, но ние не я виждаме и тя не участва в образуването на дъгата.

Така у мен окончателно се утвърждава убеждението, че авторът е напълно наясно с явлениято, но, за да създаде парадокс, още в началото ни подвежда с думите *“...се приема, че попадналият в дъждовната капка лъч изпитва на задната ѝ стена пълно вътрешно отражение...”*. Трябва да отбележа, че този прием се среща не само в тази книга.