

За принципа на действие и приложенията на ъгловите отражатели

Наблюдавали ли сте някога игра на скуош? Всъщност, за сега този въпрос звучи почти риторично, защото тази игра е все още слабо позната у нас – положение, което сигурно бързо ще се промени, тъй като според изследванията, измежду всички игри тя била най-здравословната. И въпреки, че не е позната, благодарение на интернет вие имате възможност да я наблюдавате: напишете във вашата търсачка “скуош” и тя ще ви посочи адреси, на които можете да гледате клипове с тази игра.

Накратко, при скуош двама играчи са затворени в игрище, което представлява “стая” с прозрачни стени и форма на правоъгълен паралелепипед, като ту единият, ту другият удрят срещу една от стените топка, прилична на топка за тенис, с ракети, подобни на ракети за тенис. Ударите са еластични, така че преди да бъде пресрещната от ракета, топката претърпява или един удар в стена, или два удара (в стена и под или в две стени), или три удара (в две стени и под) и т.н. Какво точно ще се случи, зависи от това, в коя точка от първата стена и под какъв ъгъл попада топката. При всеки удар се спазва законът за отражение: ъгълът на отражение лежи в равнината на падане и е равен на ъгъла на падане¹. С други думи, при всеки удар тангенциалната скорост на топката се запазва, а *нормалната сменя знака си*. Доколкото размерите на игрището не са големи (от порядъка на няколко метра), а скоростта на топката – значителна, влиянието на гравитацията се пренебрегва, така че между два последователни удара от играч траекторията представлява начупена линия, състояща се от отделни отсечки.

Можете ли да предскажете в каква посока ще се движи топката, ако играчът я насочи под произволен ъгъл в точка, близка до ъгъла, в който се събират три стени на игрището? (Представяме си общия случай, когато началната скорост не е успоредна на нито една от стените.) За да отговорите по-лесно си представете, че ъгълът, към който е насочена топката, е начало O на координатна система, а трите ръба на стаята, които се събират в ъгъла, са съответно координатните оси Ox , Oy и Oz . Ако първият удар на топката е в координатната равнина yOz , след удара ще се промени само знакът на x -тата компонента на скоростта, като другите две компоненти се запазват. Ако след стената yOz топката се удари в пода (равнината xOy), след този втори удар ще се смени само z -тата компонента на скоростта и ще последва удар в стената xOz , който предизвиква смяна на знака на y -тата компонента на скоростта.

Разсъждавайки по такъв начин, стигаме до заключение, че в каквото и ред да са ударите в трите стени, в края на краищата се сменят знаците на трите компоненти на скоростта, а това означава, че просто топката се връща в същото направление, от което е попаднала върху първата от стените.

Тук у вас вероятно възниква въпросът: защо се занимаваме с някаква почти непозната у нас игра, след като, поне съдейки по заглавието, трябваше да става дума за нещо, свързано с оптиката. Отговорът е прост: поради това, че законът за отражение на светлинен лъч е същият, като закона за отскачане на топка след еластичен удар. С други думи, ако трите стени бяха огледални и насочим към тях не топка, а светлинен лъч, с него ще се случи същото, като с топката: той ще се върне в направлението, от което е дошъл, а това е точно принципът, на който се основава действието на ъгловите отражатели, които често се споменават в учебниците по физика като едно от приложенията на плоските огледала. По-горе за обясняване на тяхното действие използвахме механичната аналогия, тъй като ако подходим към проблема със средствата на стереометрията, доказателството, че лъчът се връща обратно, би било много, много по-сложно. (Това е впечатляващ пример за това, как един и същи проблем може да се атакува от различни страни. В случая векторният апарат предлага решение

¹ Припомняме: равнината на всеки от двата ъгъла се определя от нормалата (перпендикуляра) към стената в точката на падане и посоката на скоростта съответно на падащата или на отразената топка.

на проблема, несравнимо по елегантност с решението, което може да се намери със стандартния подход на стереометрията.)

И така, ъгловият отражател се състои от три пресичащи се под прави ъгли плоски огледала. Неговото **основно свойство** се изразява в това, че от което и направление в него да попадне светлинен лъч, лъчът се връща обратно в същото направление.

Масовите приложения на ъгловите отражатели във всекидневното са свързани с транспорта. Най-често сочен пример са поставяните по крайпътните мантинели и в задната част на велосипедите кръгли червени отражатели. Ако се вгледате в такъв отражател, ще забележите, че той се състои от голям брой равностранны триъгълници, всеки от които е разделен от ъглополовящите на ъглите си на три еднакви равнобедрени триъгълника. Всъщност тази картина е плоска проекция на множество ъглови отражатели: всеки равнострани триъгълник представлява основа на триъгълна пирамида, чиито отразяващи стени две по две се пресичат под прав ъгъл, така че образуват ъглов отражател. Тези отражатели нощем дават възможност на шофьора на един автомобил по-лесно да следи границите на пътното платно, както и навреме да забележи движещ се отпред велосипедист.

Задавали ли сте си обаче следния прост въпрос: върху всеки от малките отражатели падат лъчи, идващи от фаровете на автомобила и, според цитираното **основно свойство**, трябва да се върнат в тях. Очите на шофьора обаче не се намират във фаровете, а значително по-високо и встрани! Защо шофьорът все пак вижда отражателите? Отговорът е до известна степен неочакван: заради тяхното несъвършенство – технологично не е възможно отражателните стени да бъдат идеално плоски и да се пресичат под ъгли, точно равни на 90° . Ето защо част от светлината се разсейва в направления, близки до направлението, от което попада в отражателя и така попада в очите на шофьора.

Втори пример за приложение на ъгловите отражатели, който обикновено се споменава в училище, е доставеният през 1971 г. на Луната от съветския “Луноход-1” френски ъглов отражател. Независимо от коя точка от земната повърхност към него се изпраща лазерен лъч, лъчът се връща към източника. С помощта на отражателя е уточнен характерът на движение на Луната и са решени редица геодезични задачи.

Фактът, че енергията на отразените лъчи не се разсейва в различни посоки, е в основа на многобройните приложения на ъгловите отражатели в радиолокацията, защото той дава възможност да се регистрират отразени от огромни разстояния сигнали на сравнително маломощни източници. По този начин например може да се следи движението на космическите кораби. Във военното дело ъглови отражатели се използват и за борба с противниковите радиолокационни системи: ако един самолет хвърли във въздуха като лъжлива цел ъглов отражател, отразеният от него сигнал е по-силен от сигнала, отразен от самия самолет и радарите на противника започват автоматично да следят отражателя, а не самолета.

Съществува любопитна идея за осъществяване на космическа връзка с помощта ъглови отражатели, чиито стени са тънки еластични огледала. Изпратеният от Земята лазерен лъч попада през прозорче в космическия кораб и се връща обратно в източника. Ако намиращият се в кораба космонавт говори пред отражателя като пред микрофон, налягането на звуковите вълни ще деформира незабележимо еластичните огледала, част от светлината ще се разсее и в детектора на Земята ще се върне сигнал, амплитудно модулиран със звуковите вълни. Демодулацията му е проблем, решен още с появата на звуковото кино. Любопитното в тази идея за получаване на съобщения от космонавта е, че цялата апаратура и източниците за захранването ѝ се намират на Земята.

Същата идея може да се използва и за обратна връзка – за изпращане на звукови съобщения към космонавта. Тук, на Земята, не представлява проблем интензитетът на изпратения към кораба лазерен лъч да се модулира със звука на съобщението. Проблем обаче е как променливото светлинно налягане, което този лъч ще упражни върху еластичните огледала на ъгловия отражател, ще ги разтрепти, защото ефектът от светлинното налягане е много порядъци по-малък от ефекта на звуковото налягане. Това е една основателна причина, поради която идеята за използване на ъгловите отражатели в подобни космически връзки остава неосъществена.