

Úloha VI.P ... paprsky X

4 body; průměr 2,39; řešilo 23 studentů

Při prosvěcování prstů silným světlem je možno vidět jednotlivé cévy, ale zbytek tkáně se zdá homogenní. Vysvětlete, proč cévy vidět jsou, zatímco kosti ne.

Michal zkoumal ledková světla.

Světlo se při průchodu tkání rozptyluje – tedy zhruba řečeno, jeho šíření už si nemůžeme představit jako paprsek. Světlo po střetu s částičkou látky pokračuje s určitou pravděpodobností všemi směry. Pokud je překážka, zde v podobě kosti, dostatečně hluboko pod povrchem, stihne se i do míst, která by byla vyplněna stínem (pokud bychom nesprávně použili paprsky – geometrickou optiku) dostat světlo rozptýlené na tkáních okolo. Z vnějšku pak nepoznáme, jak se světlo materiálem šířilo a přijde nám, že přichází i z míst, kde je ve skutečnosti kost, a vzniká tak zdanlivá průhlednost. Pokud překážka dostatečně hluboko není, světlo už se do prostoru za ní rozptýlí „nestihne“. Proto cévy, které jsou pod povrchem z té strany, kterou pozorujeme, už vidíme.

Nejsou ale paprsky X jako paprsky X – jak to, že na rentgenu kosti vidíme? Rentgenové záření je na rozdíl od světla, což je označení pro elektromagnetické záření ve viditelném oboru lidského oka, velmi pronikavé a jen tak něčeho si nevšímá. Tkáněmi prochází téměř jakoby tam nebyly – nerozptyluje se. Kostí už pro rentgen viditelné jsou a stíní. Tentokrát ale stín není přebit rozptýleným světlem, a proto jsou kosti na rentgenu dobře vidět. To je samozřejmě velmi zjednodušeně řečeno. Existují i sofistikované diagnostické metody měkkých tkání využívající rentgenové či blízké rentgenové oblasti. Pro náš problém však bohatě stačí popsané přiblížení – je to dobrý příklad toho, jak se materiály chovají odlišně pro různé vlnové délky – tento jev nazýváme disperzí.

Poznámky k došlým řešením

Hodně z vás se ve svých řešeních zabývalo původem červeného zbarvení ruky, potažmo krve.

Jedna část řešitelů připisovala červené zbarvení právě dispersnímu chování už ve viditelné oblasti. Příkladem takového jevu, s kterým se denně všichni setkáváme, je obloha – v atmosféře dochází k tzv. Rayleighově rozptylu (rozptyl na částicích podstatně menších než je vlnová délka) – to, „jak moc“ se světlo rozptýlí, je úměrné $1/\lambda^4$, proto je obloha modrá a samotný sluneční kotouč dočervena. Jak je to s rukou? Je jedno, jestli budete ruku prosvěcovat modrým ($\lambda \approx 450$ nm) nebo červeným ($\lambda \approx 650$ nm) světlem? Jak někteří z vás správně psali, krev je v podstatě koloidní roztok (lépe řečeno koloidní roztok je krevní plasma, z které se krev převážně skládá). Velikost koloidních částic je těžko odhadovat. Faktem je, že podobný efekt jako je Rayleighův rozptyl lze u molekul v lidském těle skutečně pozorovat (melanin v oční duhovce), bývá označován jako Tyndalův efekt. Spolu s Rayleighovým rozptylem jsou speciálními případy Mieho rozptylu. Dominantní roli však tento jev na zbarvení krve nemá.

V dalších řešeních se objevovali názory, že červená barva je zapříčiněná charakteristickými přechody elektronů. S tím by se dalo souhlasit. Nejedná se ale o přechody na atomární úrovni, jak jste občas psali, ale na molekulární. Atomové přechody mají typicky mnohem větší energie (spektrum blíž k rentgenu). Za červené zbarvení může molekula hemoglobin „jak vám řekne většina lidí, aniž by vůbec tušila, jak to ten hemoglobin dělá“. Když si najdete obrázek molekuly hemoglobinu, zjistíte, že železo je vázané uprostřed. Můžeme si to představit tak, že vytvoří takovou „trampolínu“. Na vlastní frekvenci kmitů (frekvenci, na které by kmitala sama o sobě) této „trampolíny“ pak bude molekula absorbovat – tato frekvence je někde v oblasti zelené, proto vidíme doplňkovou červenou. Železo je dvojmocné, což mu umožňuje vázat na sebe kyslík

(pak je to oxyhemoglobin). Navázaný kyslík trochu změní vlastní frekvenci, tedy rezonanční frekvenci – proto je okysličená krev světleji červená než neokysličená.

V pár řešeních se objevil zásadní problém – to, že něco nepropouští světlo, není v žádném případě ekvivalentní s tím, že to není vidět, ba právě naopak! Když mezi sebe a zdroj světla umístíte předmět, který pohltí na něj dopadající světlo, rozhodně poznáte, že tam něco je – uvidíte ten předmět. Naopak, bude-li světlo předmětem procházet, nebude se rozptylovat ani nebude absorbováno, nebude poznat, že nějaká překážka v cestě je – neuvidíme nic. To je základní představa, ze které bylo třeba vyjít a přidat efekt rozptylu. Řešení, kde byla neviditelnost kostí odůvodněna tím, že nic nepropustí, bohužel nemohla být obodována.

Tereza Steinhartová
terkas@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.