

Paprsková optika na magnetické tabuli a v programu Algodoo

Zbyněk Fišer

Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Abstrakt

Paprsková optika je základní částí středoškolské fyziky a disponuje poměrně širokou možností demonstračních experimentů. V tomto příspěvku se podíváme na to, jak jednoduše demonstrovat některé základní experimenty z paprskové optiky přímo na magnetické tabuli, což může být někdy velmi výhodné. Navíc doplníme předvedené experimenty simulacemi v programu Algodoo, který bude stručně představen, a následně budou demonstrovány jeho možnosti využití ve výuce optiky.

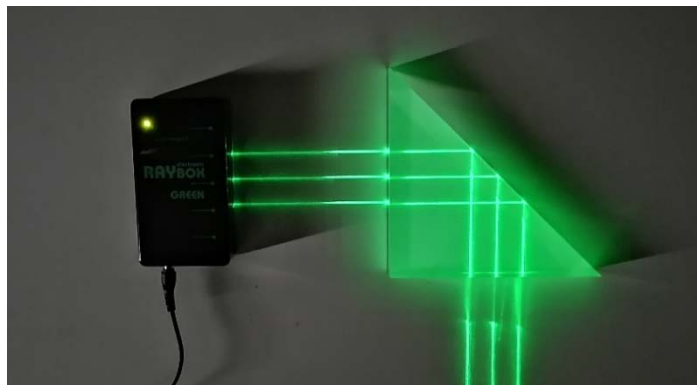
Paprsková optika na magnetické tabuli

Paprsková optika nabízí poměrně široké možnosti k demonstraci základních principů pomocí experimentů. Zpravidla se jedná o oblast fyziky, kde není o experimenty nouze. Zajímavou roli zde hrají experimenty na magnetické tabuli, které je možné provádět pomocí vhodných optických komponent a vícepaprskových zdrojů světla s možností přichycení na magnetickou tabuli. Toto provedení má hned několik výhod. Mezi ty hlavní patří to, že učitel může přímo do teoretického nákresu vložit reálné komponenty a ihned ověřit teorii experimentem. Navíc je možné přímo do experimentálního uspořádání přidávat poznámky a komentáře. Další výhodou je poměrně rychlá a snadná manipulace, která je oproti některým klasickým experimentům časově méně náročná.

V tomto příspěvku si ukážeme tři jednoduché experimenty, které je možné demonstrovat na magnetické tabuli a následně si ukážeme jejich demonstraci v programu Algodoo. K demonstraci experimentů jsme využili vícepaprskové zelené laserové zdroje (o vlnové délce 520 nm), které mají až 3× lepší viditelnost v porovnání s červenými (to umožňuje provádět experimenty i s menším zatemněním).

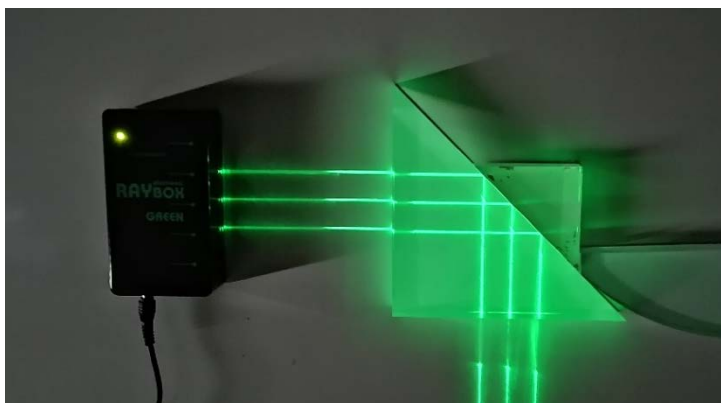
Totální odraz

První experiment se týká totálního odrazu, který patří k základním optickým jevům. K experimentu jsme využili rovnoramenný trojúhelník z průhledného plexiskla, který jsme umístili tak, aby jedna odvěsna byla rovnoběžná s dopadajícími paprsky a druhá na ně kolmá, jak je vidět na obr. 1. Při tomto uspořádání dojde na prvním rozhraní (vzduch-plexisklo) k průchodu paprsků do trojúhelníku (kolmý dopad). Na druhém rozhraní (plexisklo-vzduch) dojde již k totálnímu odrazu z důvodu šikmého dopadu paprsků na přeponu. Tyto paprsky se odrazí a pokračují dále ve směru kolmém vzhledem k původnímu. Na spodním rozhraní (plexisklo-vzduch) dojde k průchodu paprsků z důvodu kolmého dopadu.



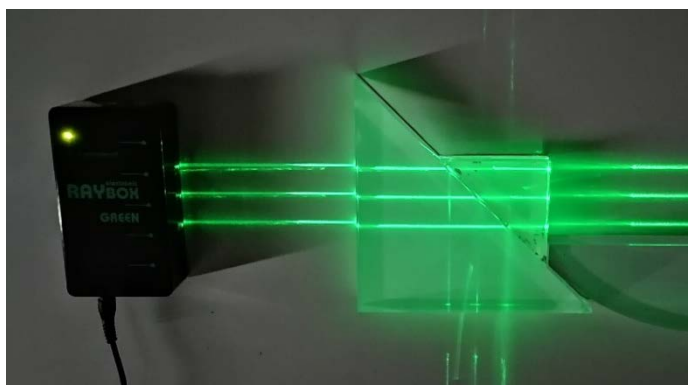
Obr. 1. Demonstrace totálního odrazu.

Pokud nyní umístíme k prvnímu trojúhelníku další rovnoramenný trojúhelník (z identického materiálu), tak by mělo dojít k průchodu paprsků oběma trojúhelníky. To se ale nestane, jak vidíme na obr. 2. (čočka na obrázku vpravo přidržuje druhý trojúhelník).



Obr. 2. Totální odraz na rozhraní dvou trojúhelníků.

Důvodem neprůchodnosti je tenká vrstva vzduchu mezi trojúhelníky. Pokud tuto vrstvu vzduchu nahradíme něčím, co má index lomu podobný plexisklu, tak již paprsky nedopadají pod mezním úhlem a mohou přecházet do dalšího prostředí. Zde postačí klasická voda, která má index lomu bližší indexu lomu plexiskla. Pokud potřebe stěny dotyku obou trojúhelníků vodou, tak dojde k průchodu paprsků, jak je vidět na obr. 3.



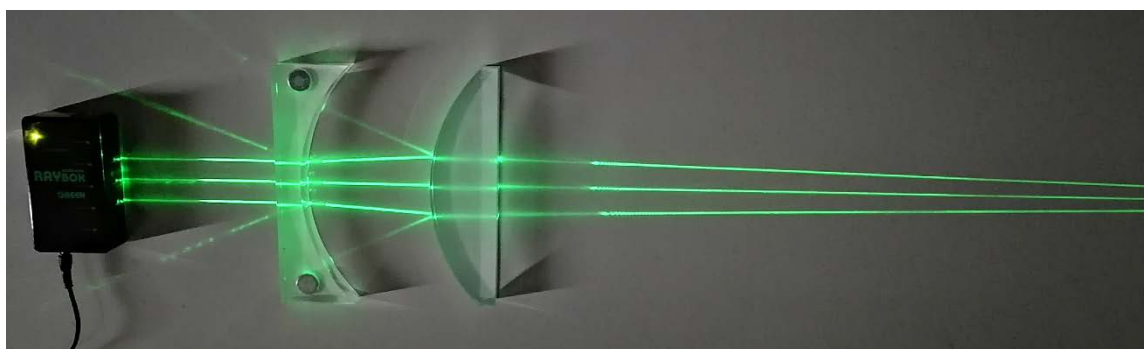
Obr. 3. Průchod paprsků oběma trojúhelníky po potření vodou.

Optická soustava

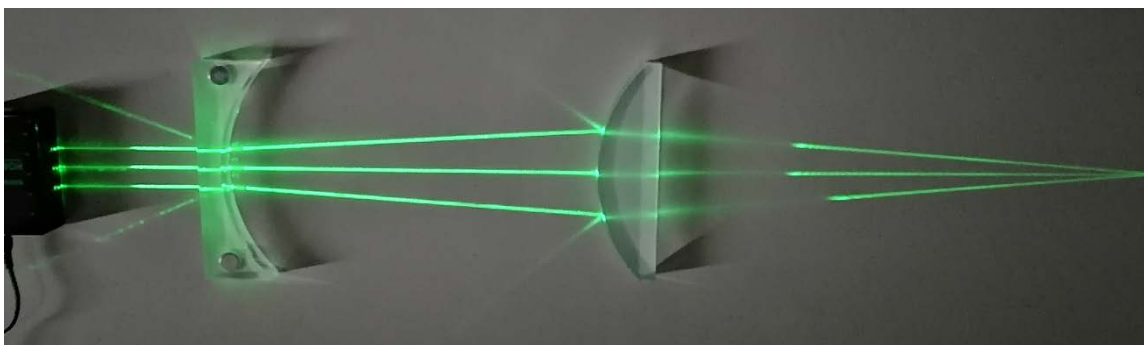
Druhý experiment se týká optické soustavy, což je soustava dvou (a více) čoček. Tato soustava se ve výsledku chová jako jedna čočka o ohniskové vzdálenosti f dané ohniskovými vzdálenostmi jednotlivých čoček f_1 a f_2 a jejich vzájemnou vzdáleností d podle vztahu (pro tenké čočky)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

Pomocí tohoto principu je možné pomocí dvou vhodných čoček dosáhnout libovolné ohniskové vzdálenosti (v daném intervalu) jenom pomocí změny vzájemné vzdálenosti mezi čočkami. Toto je vidět na obr. 4. a obr. 5, kde je umístěna spojka a rozptylka (z průhledného plexiskla) v různých vzájemných vzdálenostech. Tohoto principu se využívá například u zoomu fotoaparátu.



Obr. 4. Soustava rozptylky a spojky (1).



Obr. 5. Soustava rozptylky a spojky (2).

Závislost ohniskové vzdálenosti na indexu lomu

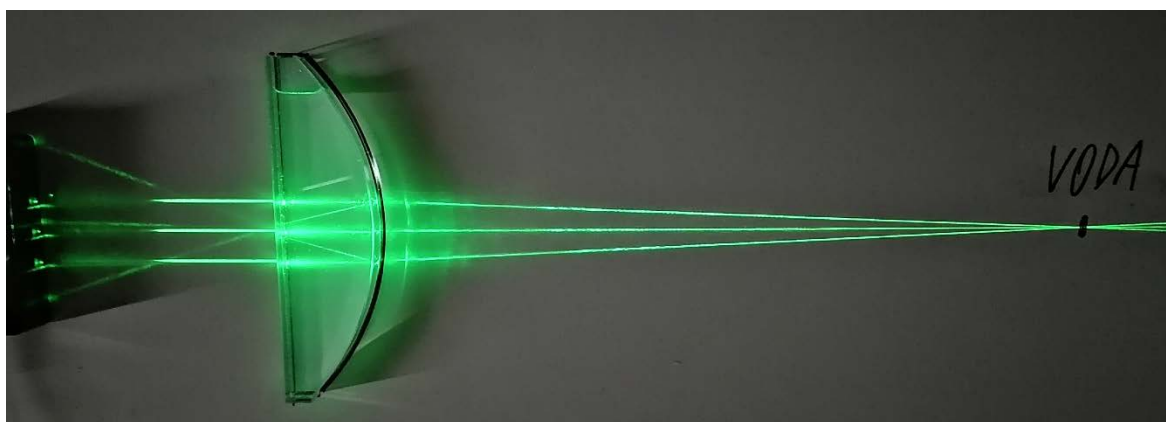
Poslední experiment je zaměřený na určení ohniskové vzdálenosti čočky f . Na magnetickou tabuli se dají pořídit i duté optické komponenty, které je možné naplnit různými kapalinami o rozdílných indexech lomu. To umožňuje demonstrovat závislost ohniskové vzdálenosti právě na indexu lomu. Obecně je ohnisková vzdálenost čočky dána poloměry křivosti r_1 a r_2 , tloušťkou čočky d a indexem lomu čočky n

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{d(n - 1)^2}{nr_1 r_2}$$

Jedná se již o poměrně komplikovaný vztah, který se nyní pokusíme zjednodušit. V našem případě uděláme poměrně silnou aproximaci tenké čočky (tedy $d \rightarrow 0$). Nicméně uvidíme, že i s touto silnou aproximací, lze získat dobré výsledky. Dále vidíme na obr. 6., že čočka je ploskovypuklá, tedy $r_2 \rightarrow \infty$. Ve výsledku tedy dojde k velkému zjednodušení předchozího vztahu a již přímo vyjádříme f pomocí r_1 a n

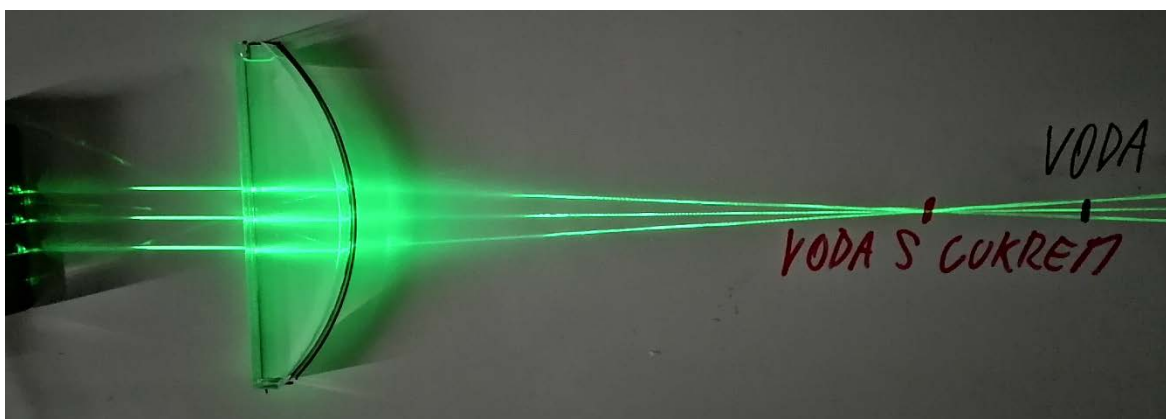
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \frac{1}{r_1} \rightarrow f = \frac{r_1}{n - 1}$$

Tento jednodušší vztah je již použitelný na střední škole. Jelikož index lomu kapaliny je známý nebo je možné jej určit například pomocí zákona lomu. Jediným problémem by ještě mohlo být určení poloměru křivosti r_1 . Nicméně ten se dá určit poměrně jednoduše z geometrických parametrů čočky. Nami použitá čočka má tento poloměr křivosti 17,3 cm. V prvním případě jsme dutou čočku naplnili čistou vodou, která má známý index lomu 1,33 a poznačili si místo ohniska, jak je vidět na následujícím obr. 6.



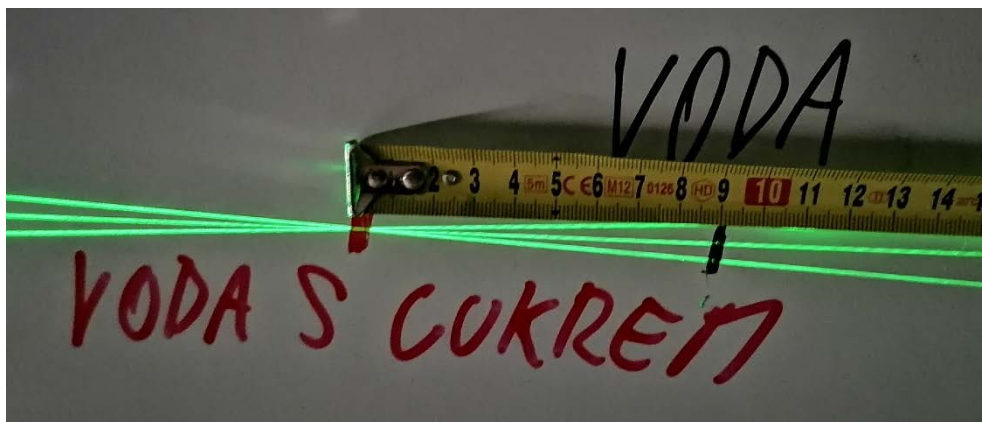
Obr. 6. Zobrazení dutou spojkou naplněnou vodou.

Poté jsme do stejného místa umístili identickou čočku, ale tentokrát naplněnou vodou s cukrem v poměru 1:1. Index lomu této kapaliny nám pomocí zákona lomu vyšel 1,41. Tento výsledek je v dobré shodě s daty uvedenými v [1]. Rozdíl v ohniskové vzdálenosti je zcela patrný na následujícím obr. 7.



Obr. 7. Zobrazení dutou spojkou naplněnou vodou s cukrem (v poměru 1:1).

Rozdíl v ohniskové vzdálenosti je způsoben pouze změnou indexu lomu, jelikož se použila pro oba případy identická čočka a geometrické parametry (poloměr křivosti) jsou tedy stejné. Výsledný rozdíl v ohniskové vzdálenosti je asi 9 cm, jak je vidět na detailním obr. 8.



Obr. 8. Detail na rozdíl v ohniskové vzdálenosti spojky naplněné vodu a vodou s cukrem.

Vidíme, že experimentální rozdíl v ohniskové vzdálenosti je cca 9 cm. Pokud nyní provedeme teoretický výpočet, tak hodnota ohniskové vzdálenosti pro čistou vodu vyjde

$$f_v = \frac{r_1}{n - 1} = \frac{17,3}{1,33 - 1} = 52,4 \text{ cm}$$

Pro vodu s cukrem vychází

$$f_{vc} = \frac{r_1}{n - 1} = \frac{17,3}{1,41 - 1} = 42,2 \text{ cm}$$

Teoretický rozdíl ohniskové vzdálenosti vychází tedy 10,2 cm. V porovnání s experimentální hodnotou 9,0 cm se jedná o poměrně dobrou shodu s ohledem na provedené aproximace a nepřesnost samotného experimentálního uspořádání. Tento experiment doplněný výpočtem, který je možné udělat přímo během demonstrace, je možné využít k demonstraci vztahu pro výpočet ohniskové vzdálenosti čočky. Může ale také posloužit jako například námět na úlohu do laboratorních cvičení apod.

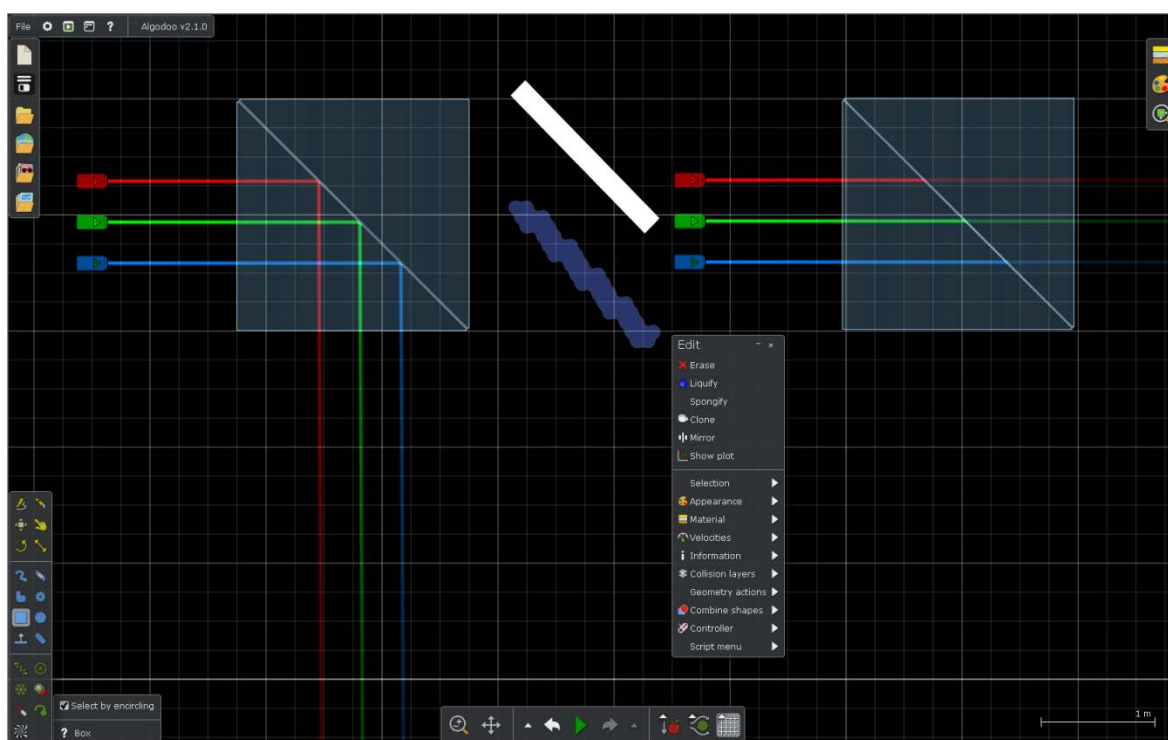
Paprsková optika v programu Algodoo

Demonstrace výše uvedených experimentů (a spousty dalších) na magnetické tabuli vyžaduje patřičné vybavení, které asi nepatří mezi základní a nejlevnější vybavení středních škol. Zajímavou alternativou proto může být program Algodoo, jelikož se jedná o volně dostupný program společnosti Algorix Simulation AB, který je ke stažení na webových stránkách [3]. Jedná se o jednu z možností, jak studentům přiblížit paprskovou optiku i bez experimentálního vybavení. Tento program umožňuje vytvářet simulace fyzikálních jevů ve 2D i s časovým vývojem. Fyzika je v programu řešena na dobré úrovni a chování fyzikálních jevů je realistické. Program umožňuje navíc vykreslovat grafy a tato data je možné exportovat, takže dává i přímé hodnoty spojené s danou simulací. Ty je možné poté porovnat s reálnými experimentálními daty. Další výhodou je grafické zpracování, které může některé studenty zaujmout. Program je primárně zaměřený na mechaniku a paprskovou optiku, ale je možné jej s trochou kreativity využít i v dalších

oblastech fyziky. V další části si ukážeme simulace výše demonstrováných experimentů právě pomocí programu Algodoo. [2,3]

Totální odraz v programu Algodoo

Totální odraz jsme demonstrovali pomocí rovnoramenného trojúhelníku, kdy jedna odvěsna byla rovnoběžná s dopadajícími paprsky a druhá na tento směr kolmá. K totálnímu odrazu poté docházelo na přeponě (rozhraní plexisklo-vzduch). Při přidání druhého rovnoramenného trojúhelníka došlo k průchodu paprsků až poté, co jsme tenkou vrstvou vzduchu mezi trojúhelníky vyměnili za vrstvu s vodou, která má index lomu bližší indexu lomu plexiskla. Tento průchod pomocí vrstvy vody je možné také demonstrovat v programu Algodoo, jak je vidět na obr. 9, kde jsou dvě situace. V prvním případě vlevo je demonstrován totální odraz, díky tenké vzduchové mezeře mezi trojúhelníky. Ve druhém případě vpravo jsme mezi trojúhelníky vložili vrstvu vody, kterou jsme získali zkapalněním bílého obdélníku. Vidíme, že paprsky v tomto případě již prochází napříč trojúhelníky bez změny směru.

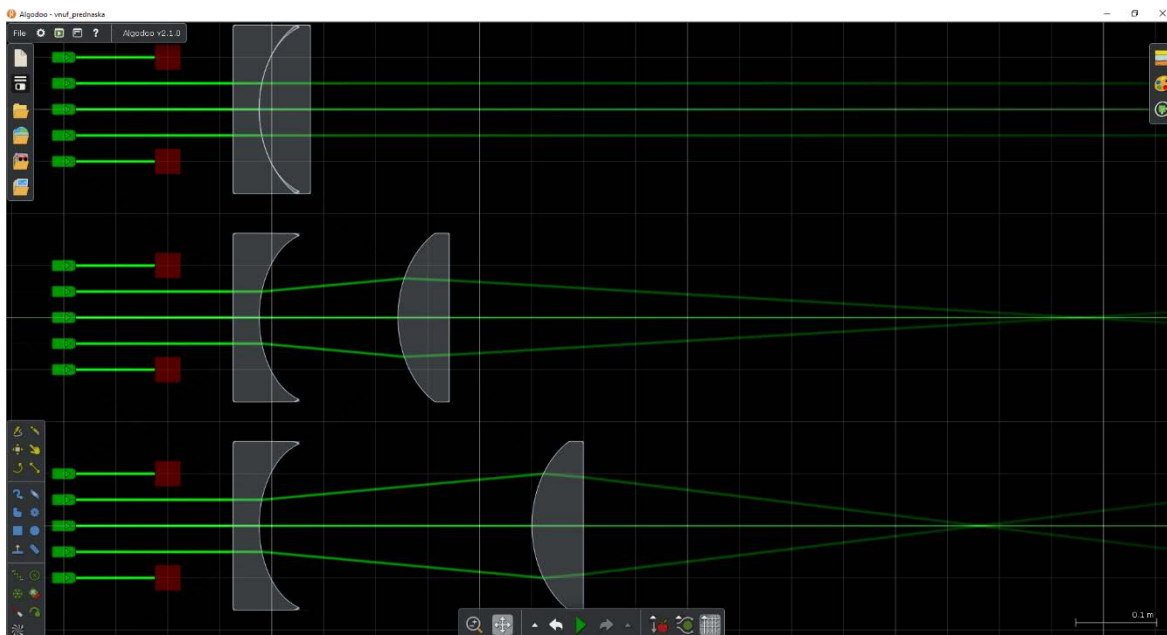


Obr. 9. Demonstrace totálního odrazu a průchodu pomocí vodní vrstvy v programu Algodoo.

Optická soustava v programu Algodoo

Druhý experiment ukazoval optickou soustavu, kterou lze využít jako čočku s proměnnou ohniskovou vzdáleností. Jedná se o důležitý princip v optice, jelikož nám umožňuje pomocí dvou čoček o daných ohniskových vzdálenostech vytvořit čočku o proměnné ohniskové vzdálenosti, kterou můžeme měnit pomocí vzájemné polohy těchto dvou čoček. Tento princip je možné jednoduše demonstrovat v programu Algodoo, jak je vidět na obr. 10. V horním případě máme spojku a rozptylku (o doplňkové ohniskové vzdálenosti) u sebe a vidíme, že dochází ke kompenzaci ohniskových vzdáleností a optická

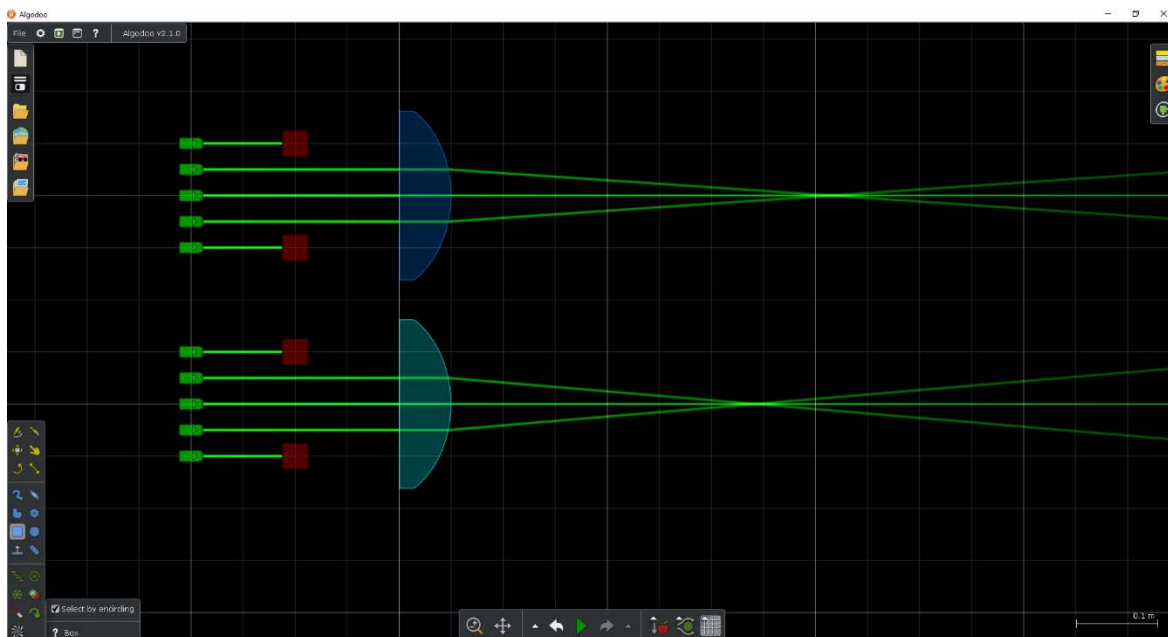
soustava nemění směr paprsků (ohnisko je v nekonečnu). V dalších dvou dolních případech jsou použity stejné čočky v nenulové vzájemné vzdálenosti a vidíme, že nyní se optická soustava chová jako spojka. Pomocí pohybu čoček je možné jednoduše demonstrovat závislost výsledné ohniskové vzdálenosti na vzájemné vzdálenosti čoček.



Obr. 10. Demonstrace optické soustavy v programu Algodoo.

Závislost ohniskové vzdálenosti na indexu lomu v programu Algodoo

Poslední experiment se zabýval závislostí ohniskové vzdálenosti čočky na indexu lomu čočky. Pomocí aproximace pro tenkou ploskovypuklou čočku jsme ukázali, že se dá i s touto silnou aproximací dosáhnout dobré shody mezi teoretickými a experimentálními výsledky. Navíc je možné tento výpočet zařadit do středoškolské fyziky. Tuto závislost ohniskové vzdálenosti na indexu lomu je možné demonstrovat také v programu Algodoo, kde lze jednoduše ve vlastnostech materiálu měnit spojitě index lomu čočky, jak je vidět na následujícím obr. 11. Na tomto obrázku jsou dvě geometricky identické spojky, kde horní spojka má nastavený index lomu na hodnotu 1,33 (čistá voda) a dolní spojka má nastavený index lomu na hodnotu 1,41 (voda s cukrem v poměru 1:1). Rozdíl v ohniskové vzdálenosti způsobený rozdílem indexu lomu je zřetelný. V programu Algodoo je navíc ještě možné jednoduše měnit i geometrický tvar čočky a ukazovat závislost ohniskové vzdálenosti i na geometrickém tvaru (poloměru křivosti).



Obr. 11. Závislost ohniskové vzdálenosti na indexu lomu v programu Algodoo.

Závěr

V tomto příspěvku jsme si ukázali tři jednoduché experimenty z paprskové optiky, které je možné demonstrovat na magnetické tabuli. Experimenty jsme ještě doplnili výpočty, které jsou vhodné i na střední školu a mohou posloužit jako například námět na laboratorní cvičení nebo motivační experiment. Ve druhé části byl stručně představen volně dostupný program Algodoo, který může posloužit jako zajímavý motivační prvek ve výuce fyziky. V tomto programu jsme poté simulovali demonstrované experimenty. Tento program může posloužit jako doplněk k experimentům, nebo může posloužit dokonce i jako náhrada za samotný experiment. Možnosti využití programu Algodoo ve výuce fyziky jsou opravdu široké.

Literatura

- [1] A. Belay, G. Assefa. *Concentration, Wavelength and Temperature Dependent Refractive Index of Sugar Solutions and Methods of Determination Contents of Sugar in Soft Drink Beverages using Laser Lights*. Journal of Lasers, Optics & Photonics. 2018.
- [2] M. Černý. *Počítačové simulace a modelování ve výuce fyziky v programu Algodoo*. Matematika – fyzika – informatika. 22, 2013.
- [3] <http://www.algodoo.com/>