

Problémy klasické fyziky vedoucí ke vzniku speciální teorie relativity

M. Vronka

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

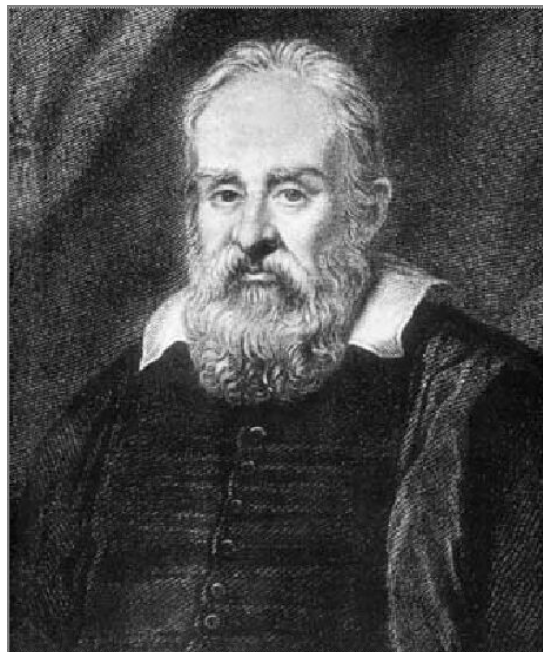
mvro@seznam.cz

Abstrakt

Speciální teorie relativity zásadním způsobem ovlivnila pohled na svět tím, že zbourala takzvané „klasické vnímání světa“. Ve své práci se snažím vytvořit ucelený přehled sledu událostí, které napomohly ke vzniku speciální teorie relativity. Jako nejzásadnější problém považuji světlo a jeho charakter; je to vlnění nebo proud částic? Velice důležitá byla také otázka existence éteru, jakžto absolutního prostoru.

1 Úvod

Podle aristotelovské fyziky je přirozeným stavem všech věcí na Zemi klid, nehybnost. Jestliže se nějaké těleso vůči Zemi pohybuje, pak je to jen dočasné vybočení z řádu. To znamená, že Země a všechno, co je s ní pevně spojeno, má v přírodě privilegované postavení: muž, který jede na voze, řekne, že on se pohybuje vůči Zemi, a ne Země vůči němu. Až Galilei na počátku 17. Století, na základě svých pokusů s pohybem kuličky po hladké rovině, vyslovil názor, že každý nebrzděný rovnoměrný přímočarý pohyb je stejně trvalý (a tedy stejně „přirozený“) jako klid – názor, který později v obecnější formě vyslovil Newton jako svůj 1. zákon. Během následujících téměř tří set let se stalo fyzikům samozřejmým, že klid nebo pohyb nějaké věci existuje pouze relativně vůči něčemu jinému: dům je v klidu vůči zemi, ale ne vůči Měsíci nebo vůči projíždějícím vlakům. Toto tvrzení se dnes nazývá Galileiho principem relativity.

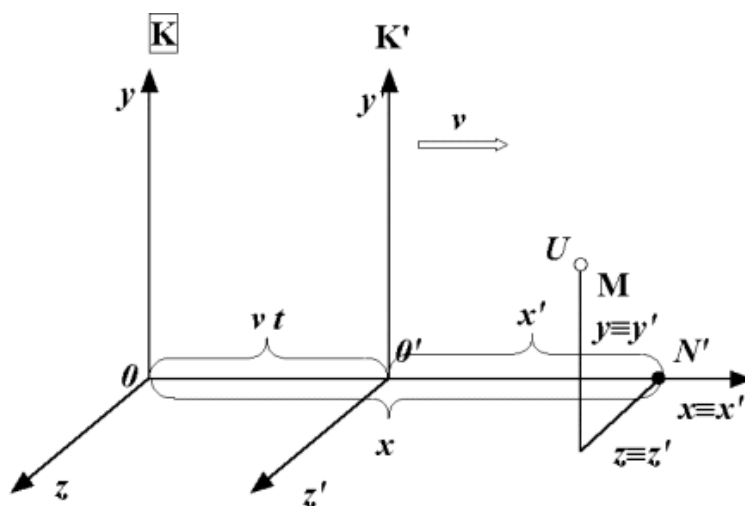


Obr. 1 Galileo Galilei

2 Galileův princip a Galileova transformace

Galileův princip relativity můžeme vyslovit takto: *Zákony mechanického pohybu jsou stejné, ať tento pohyb pozorujeme z kterékoliv inerciální vztažné soustavy.* Díváme-li se na pohyb vystřeleného míče z tribuny, uvidíme sice jiný pohyb, než díváme-li se na něj z rovnoměrně jedoucího vlaku (např. rychlost míče vůči nám bude jiná), ale v obou případech musíme konstatovat, že pohyb probíhá podle Newtonových zákonů: změna rychlosti míče za 1 s je úměrná síle, která na míč působí. Kdybychom se však na míč dívali z neinerciální soustavy, např. z rozjíždějícího se vlaku, pak bychom viděli odchylky od Newtonových zákonů – např. míč ležící v klidu na hřišti by se pojednou bez vnější síly dal (i s celým hřištěm) vůči nám do pohybu.

Popíšeme nyní pohyb matematicky, pomocí souřadnic. Použijeme kartézských souřadnic a celý problém si uspořádáme tak jednoduše, jak jen to lze (obr. 2). Necht' určitá událost U má v inerciální soustavě K (např. v soustavě spojené se Zemí) souřadnice x, y, z, t . Jaké budou souřadnice téže události v jiné inerciální souřadnicové soustavě K' pohybující se vzhledem k soustavě K rovnoměrně přímočaře (např. v soustavě K'



Obr. 2 Transformace mezi souřadnicemi

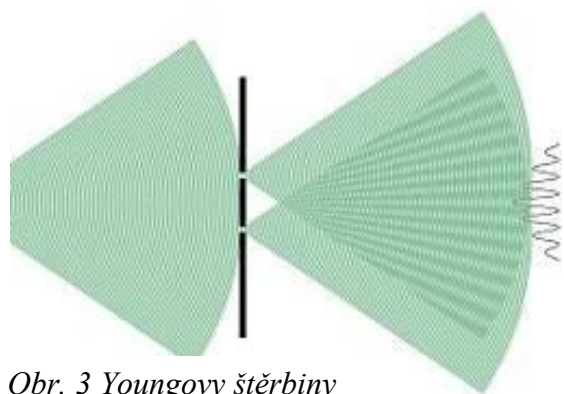
spojené s vlakem)? Rovnice vyjadřující vztah mezi souřadnicemi x', y', z', t' události U v soustavě K' a souřadnicemi x, y, z, t téže události v soustavě K , se nazývají transformační rovnice pro souřadnice událostí. Transformační rovnice pro přechod od soustavy K k soustavě K' (nebo obráceně od soustavy K' k soustavě K) lze pak vyjádřit ve tvaru:

$$\begin{aligned}x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t\end{aligned}\qquad\begin{aligned}x &= x' + vt' \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t'\end{aligned}$$

Tyto rovnice nazýváme transformační rovnice Galileovy nebo stručněji Galileova transformace. Odvození Galileových transformačních rovnic se zdá takřka samozřejmé; při podrobnějším rozboru je však patrné, že toto odvození je ve skutečnosti založeno na dvou předpokladech, které z experimentálního ani logického hlediska nejsou samozřejmé. Rovnost $t' = t$ vyjadřuje předpoklad, podle kterého čas plyne v obou souřadnicových soustavách stejně, nezávisle na jejich vzájemném pohybu. Při odvození prvních tří rovnic Galileovy transformace jsme dále považovali mlčky za samozřejmé, že určitá úsečka, která má v soustavě K' např. délku l' má v soustavě K stejnou délku $l = l'$. Dnes již víme, že tyto dva předpoklady nejsou tak zřejmé a pravdivé.

3 Vlnová podstata světla

V 18. století se fyzikové přeli ohledně charakteru světla. Panovali dva protichůdné názory. První názor, který zastával například Newton, říká, že světlo je proud letících částic. Narozdíl



Obr. 3 Youngovy šterbiny

např. od Ch. Huygense, který se domníval, že světlo má vlnový charakter. Tuto otázku vyřešil v roce 1801 anglický fyzik Thomas Young, když provedl svůj slavný experiment se dvěma šterbinami.

Pokus spočíval v tom, že nechal procházet svazek světla dvěma rovnoběžnými šterbinami za které umístil stínítko. Vlivem difrakce světla na šterbinách vznikají na stínítku interferenční proužky. Z toho Young usoudil, že světlo má

charakter vlnění a tím částečně napomohl k vyřešení tohoto sporu. Dnes ale víme, že je to daleko složitější problém, a že světlo má takzvaný „duální charakter“.

4 Existence éteru

V 19. století před vznikem speciální teorie relativity se fyzikové domnívali, že celý vesmír je zaplněn zvláštním nehmotným prostředím (tzv. světelným éterem), v němž se světelné vlnění šíří podobně jako např. akustická vlna ve vzduchu nebo vlna na povrchu vody (tj. postupným rozkmitáváním částic nějakého prostředí). Vzhledem k éteru by se světlo šířilo ve všech směrech stejnou rychlostí. Rychlost světla vzhledem k éteru je přitom nezávislá na tom, zda je zdroj světla vzhledem k éteru v klidu nebo v pohybu. S podobnou situací se např. setkáváme u vln na vodní hladině; rychlost těchto vln má vzhledem k vodě vždy stejnou velikost nezávisle na tom, zda zdroj vln (např. motor člunu) je vzhledem k vodě v klidu nebo v pohybu.

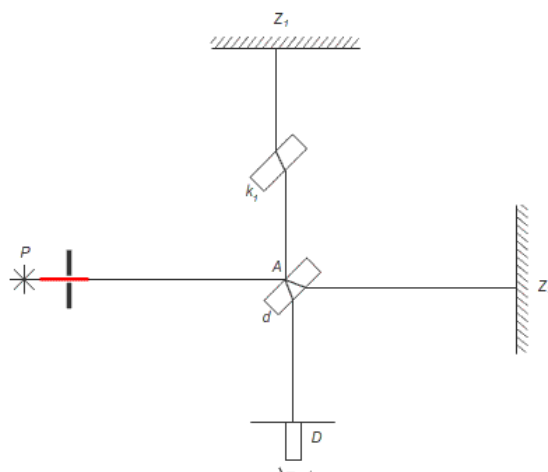
Jednoduchá úvaha založená na klasickém zákonu skládání rychlostí však vede k závěru, že šíří-li se světlo ve vakuu vzhledem k určité soustavě K (vzhledem k světelnému éteru) ve všech směrech stejnou rychlostí c , pak v jiné inerciální vztažné soustavě K' , která se vzhledem k soustavě K pohybuje rychlostí v , je rychlost šíření světla v různých směrech již obecně různá. Např. světelný paprsek vyslaný z počátku O' soustavy K' v kladném směru osy x' se podle našeho předpokladu šíří vzhledem k soustavě K rychlostí c ; poněvadž se však soustava K' pohybuje ve směru šíření světla rychlostí v , měl by pozorovatel v této soustavě naměřit rychlost $c - v$. Podobně se světlo, které by v soustavě K' bylo vysláno proti orientaci osy x' , opět šíří rychlostí c vzhledem k soustavě K , ale vzhledem k soustavě K' rychlostí $c + v$.

Ze všech inerciálních vztažných soustav by tedy jedině soustava K měla tu vlastnost, že vzhledem k ní by se světlo šířilo ve všech směrech stejnou rychlostí; rychlost světla v jiných inerciálních vztažných soustavách by pak byla podle klasického zákona skládání rychlostí určena vektorovým součtem rychlosti světla c vzhledem k soustavě K a rychlosti v vztažné soustavy K vzhledem ke K' . Význačnou vztažnou soustavu K bychom pak mohli nazvat absolutní vztažná soustava a klid nebo pohyb tělesa vzhledem k této soustavě absolutní klid nebo absolutní pohyb.

Existenci tohoto éteru chtěl dokázat Michelson, a tak provedl sérii pokusů. Experiment spočíval v tom, že porovnával rychlosti světla v různých směrech, a tak umožňoval určit rychlost přístroje vůči éteru. Pokus byl zdokonalen a proveden mnohem přesněji roku 1887 Michelsonem a Morleym. Ukázalo se, že Země se vůči éteru nepohybuje. To byl překvapivý výsledek. Země přece není ve vesmíru význačná, takže stojí-li éter vůči Zemi, pak zřejmě stojí i vůči jiným nebeským tělesům. (To bylo nepřímě potvrzeno i opakováním pokusu o půl roku později. Rychlost Země vzhledem k Slunci se změnila na opačnou, a přece vůči ní éter pořád stál.) Pokus provedl pomocí takzvaného „interferometru“, viz obr. 4.

Konstrukce a popis pruceu v iterferometru:

Skládá se ze zdroje světelných



Obr. 4 Michelsonův interferometr

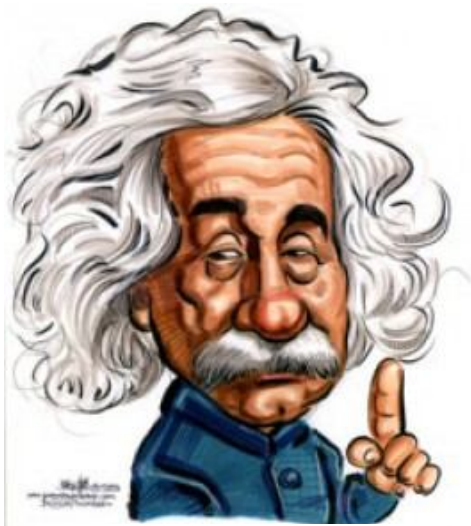
paprsků P , polopropustné skleněné destičky d , kompenzační destičky k_1 , zrcadel Z_1, Z_2 a dalekohledu D . Paprsek ze zdroje Z dopadá pod úhlem 45° na polopropustnou skleněnou destičku d , kde se v bodě A štěpí na dva paprsky. Paprsek č. 1 se odrazí od polopropustné destičky a dopadá kolmo na zrcadlo Z_1 , zde se odrazí zpátky do bodu A , po průchodu polopropustnou destičkou dopadá do dalekohledu D . Paprsek č. 2 projde polopropustnou destičkou, dopadne kolmo na zrcadlo Z_2 , zde se odrazí zpátky do bodu A , v bodě A se odrazí do dalekohledu D . Oba paprsky se tedy sejdou v dalekohledu, kde spolu interferují. Protože paprsek č. 2 projde polopropustnou destičkou celkem třikrát, vkládá se do cesty paprsku č. 1 destička k_1 (kompenzační) rovnoběžná s destičkou d . Pokud jsou vzdálenosti zrcadel Z_1 a Z_2 od bodu A stejné, budou stejné i dráhy paprsků a paprsky se tedy opět složí. Michalson ale milně předpokládal, že paprsek bude mít různé rychlosti v různých směrech, a tak se zpětně nesloží.

5 Závěrem

Historický vývoj fyziky je velice zajímavý a je dobré ho znát, protože nám pomáhá chápat některé dnešní poznatky a teorie. Výše uvedené pokusy napomohly A. Einsteinovi, aby roku 1905 formuloval svoji slavnou speciální teorii relativity.

Je založena na dvou hlavních postulátech. První nám říká, že žádnými fyzikálními pokusy provedenými uvnitř izolované inerciální vztažné soustavy nelze rozhodnout, zda se soustava pohybuje vůči jiné soustavě nebo je vůči ní v klidu. Druhý postulát nám říká, že světlo ve vakuu má ve všech inerciálních vztažných soustavách stejnou rychlost nezávisle na vzájemném pohybu zdroje a pozorovatele, tato rychlost je ve všech směrech stejná.

Z těchto postulátů plynou všechny známe poznatky speciální teorie relativity (jako např. relativnost současnosti aj.).



Obr 5. Albert Einstein

6 Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mě podporují v mých fyzikálních zájmech a díky nimž jsem získal inspiraci na toto téma. Dále bych rád poděkoval ing. V. Svobodovi, že mi bylo umožněno přednést moji prezentaci na fyzikálním semináři.

7 Reference

- [1] K. Bartuška, *Deset kapitol ze speciální teorie relativity*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1980
- [2] M. Macháček, *Encyklopedie fyziky*, Mladá fronta, Praha, 1995
- [3] I. Štoll, *Elektřina a magnetismus*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2003