

Posudek oponenta bakalářské práce

Název práce: Prostorčasové diagramy v programu Geogebra

Student: Lukáš Slaměník

Oponent práce a jeho pracoviště: doc. RNDr. Petr Slaný, Ph.D.

Fyzikální ústav v Opavě, Slezská univerzita v Opavě

Předložená bakalářská práce tematicky spadá do oblasti speciální teorie relativity a svým pojetím se jedná o práci veskrze didaktickou, postrádající původní nové vědecké výsledky, což ovšem neznamená, že by se nejednalo o práci zajímavou a přínosnou. Naopak, jakákoliv forma umožňující lépe nahlédnout a pochopit efekty speciální relativity je vítaným rozšířením standardních učebnicových postupů. K nim se řadí i prostorčasové diagramy, ovšem většinou pouze v podobě Minkowského diagramů, a tak jejich doplnění o diagramy Loedelovy a Brehmovy je přidanou hodnotou práce. Její těžiště spočívá v představení a zejména pak konstrukci interaktivních prostorčasových diagramů znázorňujících v grafické podobě tři základní efekty speciální teorie relativity: relativnost současnosti, dilataci času a kontrakci délek. Pro tvorbu diagramů byl zvolen volně dostupný dynamický program kombinující geometrii, analýzu i algebru *GeoGebra*. Hotové diagramy jsou dostupné přes hypertextové odkazy v samotné práci a pro jejich zobrazení a interaktivní „hraní si s nimi“ není nutná žádná dodatečná instalace; program *GeoGebra* běží on-line. Výstupy z práce je tak možné snadno využít jako pomůcku při výuce speciální relativity jak na vysoké, tak i střední škole. Hlavní cíl práce byl tedy splněn.

Kritické připomínky k práci

Text samotné práce je místy nepřesný, někde formulačně méně zdařilý a při popisu konstrukce diagramů se omezuje pouze na techniku jejich tvorby, aniž by se věnoval fyzikálního vhledu, který diagramy přinášejí.

Nyní uvedu některé nesrovnalosti, na které považuji za důležité upozornit:

- Na více místech je kvadrát časové vzdálenosti psán jako ct^2 ; správně má být $(ct)^2$.
- Stejně jako v obrázcích by i v textu měla být vzájemná rychlost soustav označována vektorem rychlosti. Šipky nad v ale v prvních kapitolách chybí a důsledně se objevují až od kapitoly 6. Podobně ve vyjádření 2. Newtonova zákona, viz (1), chybí označení vektorů!
- Uvedené vztahy pro Galileiho a Lorentzovu transformaci platí pouze za předpokladu, že v čase $t = t' = 0$ počátky obou soustav splývají.
- 2. odstavec na str. 4 je matoucí a pro další text nepodstatný
- Výrazy pro galileovské skládání rychlostí jsou vyvozeny 2x (hned za sebou), přičemž 2. verze je lepší; zřejmě se zde kombinují starší a novější verze textu.
- Při popisu prostorčasových diagramů je termín „světočára“ vztažen pouze na trajektorie světla. Světočára je ovšem jakákoliv trajektorie v prostorčase. Správně má být „světočára světla“. V této souvislosti se taktéž používá označení „světelný kužel“.

- Kalibrační hyperboly v Minkowského diagramech přenášejí jednotky jak prostorových, tak i časových os. Jejich rovnice jsou tedy: $(ct)^2 - x^2 = \pm 1$.
- Obr. 5 a 7: interval mezi zobrazenými událostmi U a O je prostorupodobný, tzn. $x^2 - (ct)^2 > 0$.
- V úvodu kap. 6 *Relativnost současnosti* se hovoří o dvou *nezávislých* událostech. Zřejmě se má za to, že nemají kauzální souvislost. Podstatné pro daný jev ale je, že tyto události nejsou *soumísné*.
- V relaci (40) chybí na pravé straně znaménko mínus.
- V úvodu kap. 7 se hovoří o dilataci času jako o efektu speciální teorie relativity, ačkoliv na konci úvodní věty se zmiňuje i vliv gravitačního pole. Stačí vynechat slůvko „speciální“.
- Dál v textu téže kapitoly se zavádí „raketový čas“. Vhodnější je v dané souvislosti použít zavedený pojem „vlastní čas“.
- Podobně jako v kapitole o dilataci času bych očekával, že i v kapitole o kontrakci délek bude k vyvození jevu kromě světelných hodin využito i standardní odvození z Lorentzovy transformace, které, z mé zkušenosti, je v případě kontrakce délek navíc fyzikálně názornější.

Zvláštní komentář si zaslouží citace použité literatury, která není vždy šťastně zvolená. Např. odkaz na definitoricky stanovenou hodnotu rychlosti světla má zřejmě směřovat na referenci [6] a ne [7]. Úsměvně taktéž působí odkaz na Wikipedii v případě speciální Lorentzovy transformace; jistě se dá najít vhodnější zdroj, a to i v případě odkazu na tvar 2. Newtonova zákona (jestli v tomto případě vůbec nějaký odkaz uvádět), atp. Na druhou stranu, kladně hodnotím, že seznam použité literatury má veškeré náležitosti.

Závěrem si dovoluji navrhnout, že v případě diskutovaných jevů dilatace času a kontrakce délek pomocí Loedelových a Brehmových diagramů by stálo za to zvýraznit tyto jevy v diagramech pravoúhlými trojúhelníky, které svou změnou délek přepony a odvěsny při změně parametru β přímo (díky stejnému měřítku čárkovaných a nečárkovaných os) ukazují míru speciálně relativistického efektu.

Témata k diskuzi a otázky při obhajobě bakalářské práce

1. Definujte inerciální vztažnou soustavu.
2. Proč je v Brehmově diagramu znázorňujícím relativnost současnosti časová souslednost událostí A, B v soustavě, v níž nejsou současné, obrácená oproti situaci v Minkowského a Loedelově diagramu, ačkoliv relativní rychlost soustav S a S' je, zdá se, stejná ($\beta = 0,5$), podobně jako poloha obou událostí vůči počátku (A je vždy blíže k počátku)?
3. Proč je u dilatace času a jejího studia pomocí prostoročasových diagramů podstatná soumísnost a u kontrakce délek současnost uvažovaných událostí?
4. Jaký význam má konstrukce invariantních hyperbol v případě Loedelových a Brehmových diagramů?
5. Jaké jsou výhody Loedelova diagramu oproti Brehmově a naopak?

I přes možná příliš kriticky vyznívající posudek jsem, nicméně, přesvědčen, že práce splňuje nároky kladené na bakalářskou práci, uvedené nedostatky jsou typické pro práce tohoto typu a proto ji jako takovou **doporučuji** k obhajobě. S ohledem na výše uvedené skutečnosti navrhuji hodnocení **C**.

V Opavě 28. 5. 2021

doc. RNDr. Petr Slaný, Ph.D.