

### RELATIVITA A VNÍMÁNÍ

Jan NOVOTNÝ

#### Abstrakt

Na ukázkách z literatury uvádím časté miskoncepce projevující se ve výkladu myšlenkových experimentů speciální teorie relativity a rozebírám jejich možný původ.

#### RELATIVITY AND PERCEPTION

#### Abstract

Using examples from the literature, I present common misconceptions in explaining thought experiments in special relativity. I analyse their probable origin.

#### Úvod

Můj učitel profesor Jan Horský kdysi v přednášce připomněl výrok Maxe von Laueho: „Speciální teorie relativity je dnes velebena i urážena. Největším křiklounům na obou stranách je přitom společné, že jí zoufale málo rozumějí.“ Zdálo by se, že výrok dávno ztratil aktuálnost. Snad žádný jen trochu významný fyzik speciální teorii relativity neodmítá. A přece po svých zkušenostech z posledních let, kdy sleduji populárně vědeckou literaturu a snažím se vyložit teorii relativity studentům a laikům, si troufám říci, že i přesvědčení stoupenci speciální teorie relativity se při jejím výkladu dopouštějí chyb a nedovedou odhalit chyby jiných. Pokusím se to ukázat na dvou příkladech, které mají společný podklad. Týkají se stěžejního bodu teorie – relativity současnosti.

#### 1 Ukázky z textu Gordina a Einsteina

První ukázka je z knihy Michaela D. Gordina *Einstein in Bohemia*, která u nás nedávno vyšla pod názvem *Einstein v Čechách* [1]. Dílo profesora princetonské univerzity, historika a slavisty, je vynikajícím vylíčením Einsteinova pražského pobytu na pozadí tehdejšího stavu a vývoje české společnosti. I když to není hlavním smyslem knihy, autor se snaží podat čtenáři i náhled do základů Einsteinových teorií. S odvoláním na Einsteinův vlastní výklad relativity současnosti se pokusil o převyprávění jeho myšlenkového experimentu s pozorovateli a vlakem. Nechť si je čtenář pozorně přečte a posoudí, nakolik se mu to podařilo.

**Gordin M.D.:** *Einstein v Čechách*, Argo, Praha 2022, str. 68–69.

Text (důležitá místa zvýrazněna): „Představte si – abychom použili **jeden z Einsteinových klasických příkladů** – vlak uhánějící velmi vysokou, ale konstantní rychlostí... Na střeše, přesně uprostřed vlaku, sedí pán se dvěma zrcadly natočenými k sobě, takže vidí současně přední i zadní část vlaku. Uprostřed peronu stojí žena; ta má podobné udělátko, které jí umožňuje pozorovat oba konce vlaku. Právě v okamžiku, kdy jsou oba naproti sobě, žena upozoruje hříčku přírody: **z nebe vyšlehly dva blesky a uhodily do trati právě u přední a zadní části vlaku**. Propána, pomyslí si žena, budu si muset o této události později promluvit s tím jezdcem na střeše.

Když se však ti dva sejdou, zjišťují, že tu událost popisují každý jinak. **Tam, kde žena viděla dva blesky uhodit naráz, muž viděl nejprve jeden blesk uhodit do přední části vlaku a potom, o několik okamžiků později, druhý blesk udeřil do zadní části vlaku.** Kdo má pravdu? Jak ukazuje speciální teorie relativity, **pravdu mají oba.**

**Rozdíl ve vnímání** se vyřeší takto: ve vztažné soustavě stanice jsou oba blesky simultánní a důvod, proč je muž vidí odděleně, je ten, že se žene vstříc světelnému odrazu blesku od přední části vlaku a setká se s ním dřív, než ho o několik okamžiků později dožene paprsek od zadní části.

Avšak – a to je zásadní bod – protože pohyb je tady konstantní, je právě tak správné, aby se muž na vlaku domníval, že *on* je nehybný a peron ubíhá opačným směrem prýč rychlostí jako ze *Star Treku*.

V této vztažné soustavě udeřil blesk nejprve do přední části vlaku a až druhý blesk udeřil dozadu, ale peron se hnal k zadní části vlaku tak rychle, že žena zachytila paprsek ze zadní části právě v okamžiku, kdy k ní konečně dorazil paprsek z přední části. Pojem simultánnosti závisí na vaší vztažné soustavě.

Z tohoto prostého kvalitativního scénáře, jehož zdánlivě paradoxní vlastnosti pramení zcela z předpokladů, že vztažné soustavy jsou ekvivalentní a že světlo se v každé z nich pohybuje konstantní rychlostí, je možné odvodit ohromující důsledky speciální relativity.“

Čtenáři snad pomůže přečíst si původní Einsteinův text [2].

**Einstein A.:** *Teorie relativity*, Vutium, Brno 2005, str. 101–102.

„Nechť jede po kolejích dlouhý vlak konstantní rychlostí  $v$  ve směru, naznačeném v obrázku.

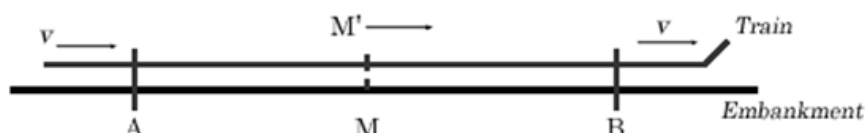


FIG. I.

Obr. 1: Pohyb vlaku

Jsou dva děje (např. oba údery blesku A a B), které vzhledem k trati jsou současné, také vzhledem k vlaku současné? Hned ukážeme, že odpověď musí znít záporně.

Řekneme-li, že údery blesku A a B vzhledem k trati jsou současné, znamená to: z místa blesků A a B vycházející světelné paprsky setkají se ve středu  $M$  spojnice  $A$ – $B$ .

Dějům A a B odpovídají však také místa A a B ve vlaku. Budiž  $M'$  střed úsečky  $A$ – $B$  v jedoucím vlaku.

Tento bod  $M'$  ztotožňuje se sice v okamžiku úderu blesku (ze stanoviska trati) s bodem  $M$ , ale pohybuje se v nákrese rychlostí vlaku vpravo.

Kdyby ve vlaku sedící pozorovatel v bodě  $M'$  tuto rychlost nesdílel, tu by zůstal v bodě  $M$  a pak by jej z míst blesků A a B vycházející světelné paprsky stihly současně, tj. tyto oba paprsky by se setkaly právě u něho. On však ve skutečnosti (ze stanoviska

trati) se pohybuje vstříc paprsku přicházejícímu z B, kdežto paprsku přicházejícímu z A ubíhá. Uvidí tedy světelný paprsek vycházející z B dříve než onen vycházející z A.

Pozorovatelé, kteří používají vlaku za vztažné těleso, musí tedy dojítí výsledku, že úder blesku B se udál dříve než úder blesku A.“

### 2 Co je jinak?

Povšimněme si nejprve, v čem se již na první pohled Gordinovo podání liší. Gordin zavádí pro své aktéry „udělátka“. Reaguje tím patrně na námitku pedantického čtenáře, že ze svých stanovíšť by se pozorovatelé bez pomůcek museli na konce vlaků dívat ušima. Dále se Gordin zavedením pozorovatelky (zvědavé ženy) a pozorovatele (odvážného muže) snaží einsteinovsky lakonický text učinit atraktivnějším. Navíc Gordin poněkud změnil situaci: u něho žena viděla současně uhodit blesky, když ji míjel střed vlaku, kdežto u Einsteina v tomto okamžiku již střed vlaku ženu minul. Tento rozdíl nemusí být podstatný – nelze předem vyloučit, že i Gordinova situace povede ke zdůvodnění relativity současnosti.

### 3 Má vlastní kritika

#### Námitka 1. Mají pravdu oba?

Oba mít pravdu nemohou z elementárního důvodu, který nesouvisí s teorií relativity. Konají-li muž a žena svá pozorování na stejném místě a ve stejném čase, musí záblesky zaznamenat jako současné oba, nebo je jako současné nezaznamenaná žádný z nich. Tady nejde o teorii relativity, ale spíše prostě o logiku. Mají-li dva pozorovatelé v daném okamžiku stejné umístění v prostoročase, přinášejí jí informaci stejné světelné vlny a nutně tedy vnímají pořadí událostí stejně. Jiná věc je, že mohou vidět svět pod jinými úhly (aberrace) a v jiných barvách (Dopplerův jev). To ovšem nejsou ohromující důsledky teorie relativity – k aberraci a Dopplerově jevu dochází i podle nerelativistické fyziky.

#### Námitka 2. Příliš mnoho požadavků

Určení obsahuje rozpor: Zapomeňme na nespolehlivého muže a posuďme situaci, jaká podle Gordina nastává v ženině soustavě. V ní blesky zároveň uhodily do předního a zadního konce vlaku a žena je zároveň pozorovala v okamžiku, kdy ji míjel střed vlaku. Je jasné, že to vše nemůže platit zároveň. Jasně to vysvětluje Einstein: když se paprsky, vyvolané dopady blesků, setkají, střed vlaku se již posune. Zadáni je, dalo by se říci, přeuročeno. Můžeme to napravit návratem k Einsteinovu zadání: Doplňme-li je mužem a ženou, žena uvidí blesky uhodit zároveň, ale v té době bude mít již po setkání s mužem ve středu vlaku – muž tedy záblesky současně neuvidí.

#### Námitka 3. Co jsme ale vlastně chtěli dokázat?

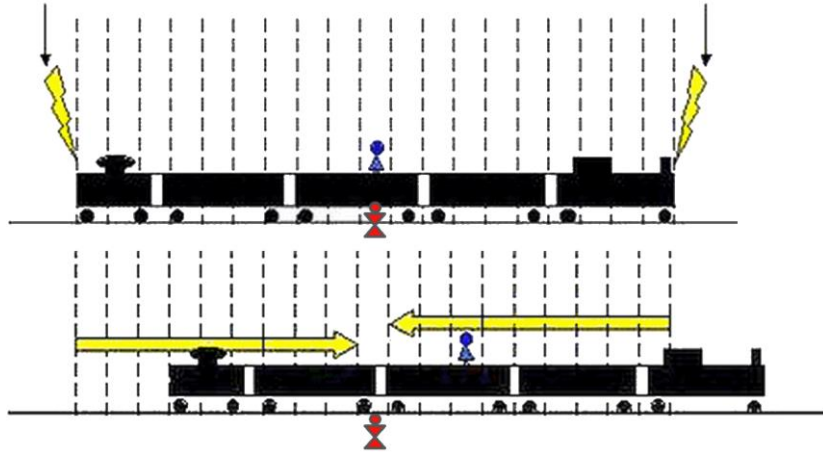
Chybou našeho popisu je nyní to, co v něm chybí. Vraťme se ještě k Einsteinovi:

„Pozorovatel uvidí tedy světelný paprsek vycházející z B dříve než onen vycházející z A. Pozorovatelé, kteří používají vlaku za vztažné těleso, musí tedy dojítí výsledku, že úder blesku B se udál dříve než úder blesku A.“

Gordin by po přijetí doporučených oprav skončil první větou, která však sama o sobě neříká nic objektivního. Ovšemže, i podle nerelativistické fyziky, se může pořadí událostí z různých stanovíšť jevit různě. Skutečným závěrem úvahy je až druhá věta. Zde Einstein možná poněkud velkomyslně přecenil některé čtenáře, když předpokládal, že příslušnou úvahu si udělají sami. Měla by znít takto: Pozorovatel uprostřed vlaku bude podle teorie

relativity vidět události nastalé současně na jeho koncích jako současné – pokud je současně neviděl, znamená to, že pro něho (v jeho soustavě) současné nebyly.

Situaci podle Einsteina pěkně zachycuje obrázek porovnávající počáteční a závěrečný stav v soustavě trati.



*Obr. 2: Relativita dle Einsteina*

Mohlo by se namítnout, že je zbytečné zabývat se chybami Gordinova textu, když Gordin není odborník ve fyzice. Nemyslím si to. Gordin nepochybně četl řadu knih o teorii relativity a před vydáním svého spisu jej konzultoval s odborníky. Dílo také mělo řadu čtenářů, z nichž žádný patrně na chyby neupozornil. Z diskuse s profesorem Gordinem jsem nabyl dojmu, že mým námitkám nerozumí a zůstává přesvědčen, že teorii relativity vykládá v souladu s literaturou. Miskoncepce je tedy patrně běžná a rozbor chyb nemůže být na škodu.

#### 4 Další případ

Brian Clegg má fyzikální vzdělání a je oceňován jako vynikající popularizátor. Řada jeho knih byla přeložena do češtiny. V níže uvedené knize vykládá relativitu současnosti způsobem, který poněkud připomíná Gordina.

**Clegg B.:** *30-Second Einstein: The 50 Fundamentals of His Work, Life and Legacy, Each Explained in Half a Minute* [3]:



*Obr. 3: Anna a Brian ve vlaku*

„V STR je relativní nejen plynutí času, ale i posuzování, zda nastaly dvě události současně, či nikoli. Nastanou-li dvě události A a B, které nejsou prostorově vzdáleny, pak se všichni pozorovatelé shodnou na tom, jaká z nich nastala dříve. Pokud jsou události od sebe vzdáleny, různí pozorovatelé se nemusí shodnout na tom, zda dříve nastala událost A nebo B, nebo zda byly současné.

Představte si Annu, která sedí uprostřed jedoucího vlaku. Anna posvítí najednou dvěma světly, jedním směrem dopředu a druhým směrem dozadu.

Právě v okamžiku, kdy vyšle tyto záblesky, míjí nástupiště, kde stojí Brian.

Na tento kratičký okamžik se Anne a Brian nacházejí na stejném místě, a tak se oba shodují, že paprsky opustily Anne současně.

Anne také uvidí, že paprsky dorazily současně k přední i zadní části vlaku, ale to už takto Brian neuvidí. V jeho vztažné soustavě se zadní část vlaku pohybuje vstříc světlu a přední část vozu ubíhá směrem od něj; z jeho pohledu tedy zadní část vlaku osvítí záblesk dříve než přední část.“

Výhodou Cleggova podání je, že blesky tu nejsou „hříčkou přírody“, vysílá je tentokrát žena stojící uprostřed vlaku, takže blesky současně „uhodí“ do stěn vlaku na obou jeho koncích. To také žena současně uvidí, zatímco muž, který vedle ní stál na peroně v okamžiku vyslání blesků, už není vedle ženy, a tedy blesky současně neuvidí. (viz obr. 3). Tímto konstatováním jako by byla záležitost pro autora vyřízena.

Jak už čtenář ví, pro zdůvodnění relativity současnosti je třeba ukázat, že údery blesků současné pro ženu nemohly být současné pro muže. To není obtížné dokázat: kdyby byly v jeho soustavě současné, došlo by k nim ve stejné vzdálenosti od muže a on by je tedy musel současně vidět. Autor nenapsal nic chybného, nedostatečná je však jeho argumentace, která se zastavuje ještě před zdůvodněním záměru, jenž z ní měl vyplynout.

### Závěr

Revoluční výsledek teorie relativity nespočívá v tom, že pořadí, v němž pozorovatel vnímá události ve svém prostoročasovém umístění, může záviset na tomto umístění. Tak je tomu i v nerelativistické fyzice.

Teorie relativity říká, že pořadí, v němž události nastávají, může záviset na vztažné soustavě, v níž je pozorovatel (a všichni pozorovatelé dané soustavy) popisují.

Neschopnost jasně rozlišit, co pozorovatel vnímá (ve svém místě měří či vidí), a jak vypadá při popisu v jeho vztažné soustavě svět (který ovšem v daném okamžiku ještě nevnímá), zůstává stále zdrojem miskoncepce a omylů.

Obávám se, že i po absolvování kurzu teorie relativity se mnoho našich studentů bude domnívat, že kosmonaut, který nás bude míjet velkou rychlostí, bude jinak vnímat pořadí událostí a my že budeme vidět jeho raketu zkrácenu a slyšet jeho hlas s nižší frekvencí. Že vztah mezi vnímáním a realitou je složitější, ukázali nezávisle na sobě Terrell a Penrose roku 1959 (a jak se zjistilo už mnohem později, základní myšlenku publikoval již A. Lampa 1924). Pokud je tento podstatný přínos k STR zmiňován, pak obvykle jen v souvislosti s kontrakcí délky, a to v nepříliš přesvědčivé podobě (viz např. komentáře ke Gamowovu *Panu Tomkinsovi* [4]). U dilatace času jsou důsledky jednodušší, názornější a využitelnější pedagogicky – fakticky jde o úlohu Dopplerova jevu.

Zajímavé je i filosofické pozadí problému: Co je „realita“ (míněná jako okamžitý stav světa, v němž se pozorovatel právě nyní nachází)? Není to spíše veškerá kauzální minulost než nepřístupná a relativní současnost vztažné soustavy? Tato otázka se prohlubuje v obecné teorii relativity a v kosmologii a je možná kamenem úrazu při snahách o syntézu kvantové a relativistické fyziky.

### Literatura

1. GORDIN, M. D. Einstein v Čechách. Argo: Praha, 2022. p. 68–69.
2. EINSTEIN, A. Teorie relativity. VUTIUM: Brno, 2005. p. 101–102.
3. CLEGG, B. 30-Second Einstein: The 50 fundamentals of his work... Ivy Press, 2017.
4. GAMOW, G. G: Pan Tomkins v říši divů. Mladá fronta: Praha, 1986.

### Kontaktní adresa

prof. RNDr. Jan Novotný, CSc.  
Masarykova univerzita  
Poříčí 623/7, 603 00 Brno  
[orcid.org/0000-0003-2094-7069](https://orcid.org/0000-0003-2094-7069)