

Posudek oponenta disertační práce Matěje Rystona

Theory of Relativity – How to develop its Understanding of a Secondary School Level

V úvodní části disertační práce autor píše o svém dlouhodobém zájmu přiblížit moderní fyziku, zejména speciální i obecnou teorii relativity, žákům středních škol. Této problematice se věnuje už po řadu let a podařil se mu již o tom pro zvědavé středoškoláky napsat řadu publikací. Ve dvou prvních kapitolách disertace podává přehled vybrané nejhodnotnější literatury, která je v češtině a v angličtině dostupná zájemcům o danou problematiku. Aktuální přehled uvítají zejména učitelé a studenti, kteří se chtějí v tématu orientovat. V další části autor popisuje a hodnotí současný stav výuky teorie relativity na našich středních školách. Další dvě kapitoly jsou věnovány webové stránce a Dílně obecné relativity. Autor zde doplňuje svou práci údaji o její motivaci a záměrech. Disertace končí Závěrem, v němž autor naznačuje, jak mohou zájemci využívat jeho práce a dále rozšiřovat své znalosti. Vyjadřuje své odhodlání v práci pokračovat.

V první části díla je třeba ocenit, že autor zahrnuje nejen knižní a časopisecké, ale i internetové zdroje, z nichž poskytuje kvalifikovaný výběr. U zařazených zdrojů uvádí stupeň matematické průpravy, který předpokládá jejich využívání. Autor sestavil, využil a zpracoval dotazník pro středoškolské učitele, který mu posloužil jako zdroj informací o současném stavu výuky teorie relativity na středních školách. Tyto informace shrnul v podobě velmi přehledně zpracovaných i vhodně komentovaných grafů. Vybrané komentáře respondentů dotazníku zařadil i do své práce. Už samotné získání a zpracování podobného přehledu je velmi kvalitním příspěvkem poznání stavu středoškolské výuky v dané oblasti.

V druhé části díla autor přesvědčivě vysvětluje své záměry a výběr materiálu. Texty, k nimž se lze dostat na rozcestníku https://kdf.mff.cuni.cz/relativita_stredoskolsky/ a jejichž součástí je Dílna, lze fakticky považovat za významnou a nosnou součást disertace. Jde vlastně o svého druhu online učebnici obecné teorie relativity, která zdařile redukuje použitou matematiku na část nezbytnou pro vyložení základní nezbytné matematické opory – metriky. Originalita autorova přístupu je v tom, že na rozdíl od většiny podobných pokusů u něho

není obecná relativita jen jakýmsi přívažkem ke speciální relativitě, ale naopak hlavním obsahem díla. Ve svých výkladech autor projevuje velké znalosti, erudici i vynalézavost, příklady a náměty Dílny dokáže zapojit do poznávacího procesu čtenáře. Odvážím se konstatovat, že takto koncipované dílo nemá v naší literatuře srovnatelnou obdobu a seznamoval jsem se s ním s velkým potěšením. Text vlastní disertace není sice rozsáhlý, ale je v něm a kolem něho skryta spousta práce. Domnívám se, že autor vytvořil základní kámen k budování velmi užitečného výstupu pro širokou veřejnost.

Právě proto zakončím své hodnocení několika postřehy zaměřenými k problémům, které přede mnou při četbě vyvstaly. Představuji si, že následující otázky se mohou objevit u přemýšlivých čtenářů libovolného věku, jako se objevily i u mne. Nejsem si jist, jak bych na ně sám okamžitě odpověděl, nevylučuji ani, že je lépe se jim vyhnout, nicméně je možné, že mohou být pro autora inspirující a že jich nějak dokáže využít. Není nutné, aby se u obhajoby zabýval všemi, postačilo by, kdyby vybral některou z nich.

1. Plyne čas?
2. Co vnímá relativistický pozorovatel?
3. V jakém smyslu je čas zakřivený?
4. Podle čeho se hodnotí gravitační pole jako „silné“?

Výraz „čas plyne“ se při výkladu teorie relativity běžně užívá, stále více mě však přivádí do rozpaků. Vzbuzuje představu, že čas je nějaká substance, podobně jako třeba voda. Potom by měl mít nějakou rychlost – co je však rychlost času? Ta by se dala definovat vzhledem k nějakému jinému času – jakému? Vezměme běžnou dilataci času spojenou s rychlostí – čas pohybujícího se pozorovatele plyne pomaleji než čas pozorovatele v klidu, jenomže to je relativní a výrok se dá obrátit, zaměníme-li pozorovatele. Vlastně jde o výrok o hodinách, který nesrovnává dvoje hodiny, ale jedny hodiny s řadou jiných hodin, které první hodiny na své cestě míjejí. Samotné tyto jedny hodiny ale nedělají nic jiného, než že měří délku světočáry. Výrok o plynutí času vlastně sugeruje newtonovskou představu, že čas plyne v prostoročase jako jakási pohyblivá hranice mezi tím, co se již stalo a co se ještě nestalo, přičemž průběh hranice je subjektivně prožíván jako „plynutí času“. Tato představa je ovšem těžko slučitelná s teorií relativity. Jak mohou prostoročasem běhat různé hranice takto oddělující události? Na druhé straně, popřeme-li existenci takové hranice a prohlásíme plynutí času pouze za subjektivní ilusi, jak jsme k této ilusi přišli? Asi bych tu nějak vyložil

souvislost měření hodin s naším vnímáním a dál bych výrazu, že čas plyne, neužíval. Uvědomuji si, že toto je „filosofie“, ale obávám se, že se jí příliš hloubavý člověk nevyhne.

Vícekrát jsem se přesvědčil, že výroky o „vnímání“ pozorovatele vedou velmi často k zakořeněné miskonceptci, podle níž každý pozorovatel je si vědom současné podoby světa, jak vypadá v jeho současnosti. Tak tomu ovšem není. Pozorovatel vnímá svět, jak mu tady a teď přinesly zprávu o něm světelné signály. Na jeho vnímání není nic specificky relativistického. Vidí-li nějaký pozorovatel tady a teď nějaké události jako současné, vidí je tak přirozeně i jiný pozorovatel v tomto místě a čase, byť se vzhledem k předchozímu pozorovateli pohybuje. Svět, jak jej vidíme, není plochý řez prostoročasem, který je pro různé pozorovatele různý, ale „minulá“ polovina světelného kužele, která je pro ně stejná. To neznamena, že pozorovatelé vidí svět docela stejně – je tu ještě aberace a Dopplerův jev. Nicméně otázka, zda relativistické jevy jsou to, co ve světě reálně je, se tím poněkud komplikuje, podle běžného chápání současné, je-li vzdáleno, ještě není a současnost vzdálených událostí budeme moci ověřit teprve později, až o nich dojde zpráva. Setkal jsem se s mnohými omyly a tápáními spojenými s nedbáním této skutečnosti, a proto bych se o ní ve výkladu nějak zmínil. Je to zajímavé i historicky – teprve nedávno se zjistilo, že patrně jako první na to upozornil Einsteinův kolega za jeho působení v Praze Anton Lampa.

Autor právem říká, že s vysvětlením zakřivení času by byly potíže, a dál o tom raději (pod tímto názvem) nemluví. Otázka však není bez zajímavosti. Když jsme neměli potíže se zakřivením prostoru, proč bychom je měli mít se zakřivením času? Zdálo by se, že rozdíl je jen v tom, že čas je jednorozměrný. Jako je „prostor“ třírozměrný řez prostoročasem v daném okamžiku, „čas“ by měl být jednorozměrný řez prostoročasem v daném místě, tedy světočára. Potíž je, že tomu tak není – jednorozměrný prostor nemůže být sám v sobě zakřiven. Nabízí se východisko: není snad zakřivením času zakřivení této světočáry (její odchylka od geodetiky) v prostoročase? Jenže to není pravda – představme si hodiny kmitající s velkým zrychlením, ale s malým rozkmitem. Prodloužení délky světočáry bude zanedbatelné, křivost, resp. zrychlení ideálních hodin jejich chod neovlivňuje. Ve vzorci pro dilataci času nestojí zrychlení, ale potenciál, který souvisí s metrikou, ale nikoliv s nějakým zakřivením. Dalo by se asi říci, že dilatace času je nelokální efekt, týkající se celého prostoročasu, nikoliv jeho daného místa?

Běžně se říká, že gravitace ovlivňuje hodiny tak, že v silnějším gravitačním poli jdou pomaleji. Není to ale pravda. Představme si, že uvnitř sféricky symetrického rozložení hmoty je sférická prázdná dutina. Podle newtonovské fyziky i podle teorie relativity je v ní prostoročas nezakřivený. Tedy tam není žádná gravitace a gravitační pole je tam patrně slabší než na povrchu tělesa, ať už tou slabostí míníme cokoliv. Dilatace času oproti hodinám na povrchu tělesa ale nastává – nezáleží na křivosti, ale na potenciálu (či přesněji rozdílu potenciálů). Kdybychom za projev gravitace považovali intenzitu pole, jak to děláme v běžném životě, neplatilo by už, že gravitace je projev zakřivení prostoročasu, kromě toho i intenzita pole je v naší dutině nulová. Co ale vůbec považovat za projev síly gravitace? Nemůže to být ani skalární křivost, ta je mimo hmotu nulová a gravitace tam přece je. Asi o síle gravitace by bylo lépe vůbec nemluvit? Opět tu jde o nelokální efekt, hodiny jsou pomaleji vůči jiným vzdáleným hodinám, ale není to proto, že by na hodiny v jejich lokalitě něco působilo.

Tyto připomínky nejsou kritikou, ale jen námětem k zamyšlení.

Nepochybuji o tom, že disertace Matěje Rystona je velmi kvalitní práce, která si plně zaslouží, aby byla jako taková uznána. Závěry jeho práce přinášejí originální podněty pro vzdělávání. Disertační práce prokazuje předpoklady autora k samostatné tvořivé práci.

Práci považuji za vyhovující a doporučuji ji k obhajobě.

V Brně 7. září 2022

Prof. RNDr. Jan Novotný, CSc.