

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum
Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica

Vladislav Kolesnikov; Jiří Záhejský

Zhodnocení optických pokusů na ověření druhého postulátu speciální teorie
relativity

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica, Vol.
7 (1966), No. 1, 181--194

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/119846>

Terms of use:

© Palacký University Olomouc, Faculty of Science, 1966

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to
digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain
these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped
with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics
Library* <http://project.dml.cz>

*Katedra experimentální fyziky a metodiky fyziky
Vedoucí katedry: prof. dr. Josef Fuka*

ZHODNOCENÍ OPTICKÝCH POKUSŮ NA OVĚŘENÍ DRUHÉHO POSTULÁTU SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

VLADISLAV KOLESNIKOV A JIŘÍ ZÁHEJSKÝ

(Došlo dne 31. května 1965)

1. Úvod

Speciální teorie relativity je založena na dvou postulátech: první, který rozšiřuje platnost klasického principu relativity i na zákony elektromagnetického pole a druhý postuluje stálost světelné rychlosti, tj. nezávislost rychlosti světla na rychlosti světelného zdroje a pozorovatele. První postulát byl experimentálně ověřen. Druhý postulát nebyl dosud přesvědčivě ověřen přímým pokusem. Dříve byl tento nedostatek pokládán za odstraněný prací de Sittera [1], který z pozorování dvojhvězd došel v roce 1913 k závěru, že světlo se šíří nezávisle na pohybujícím se zdroji. Má-li platit emisní teorie, pak by dvojhvězdy musely být pozorovány v různých bodech svých oběžných drah. Takové obrazy však pozorovány nebyly. Obraz, který pozorujeme dostaneme za předpokladu, že dvojhvězdy se pohybují podle zákonů Keplerových a že rychlost světla je konstantní a nezávislá na rychlosti zdroje. Tedy pozorování dvojhvězd je podle de Sittera důkazem neplatnosti emisní teorie. Mathias ve své práci [2] došel též k zamítnutí emisní teorie. Dürr však ukázal, že v obou případech byla přehlédnuta skutečnost, že spektra dvojhvězd jsou absorbení a nikoliv emisní a poučují nás o pohybu plynného obalu hvězdy a nikoliv o pohybu samotného zdroje. Dá se tedy namítnout, že zde byla zanedbána úloha plynného obalu jako sekundárního zdroje. Tedy pozorování nebo pokusy při nichž světlo projde před změněním průhledným prostředím, nebo se odráží, nejsou přesvědčivé, protože podle extinkční poučky dispersní teorie — kterou ve své práci [8] cituje J. G. Fox — mají tyto odrazy nebo průchody podstatný vliv na další šíření světla. Pozorování dvojhvězd nemůže být tedy považováno za přímý experimentální důkaz konstantní rychlosti světla. J. G. Fox [18] po přihlídnutí k dalším faktům a po diskusi tohoto problému s Paulim dělá závěry, že údaje o dvojhvězdách nemohou být přesvědčivou podporou pro emisní teorii, ani neposkytují žádný důkaz proti ní. Také experiment realizovaný Bonč-Brujevičem a Molčanovem [20] v roce 1956, kteří užili tři svazků slunečních paprsků — ze středu a z protilehlých okrajů Slunce — není průkazný, neboť i zde byla zanedbána úloha sekundárních zdrojů, nehledě k extinkci v atmosféře.

Nepřehlédneme-li k pokusům vykonaným ještě dříve, které souvisely s řešením této otázky, je speciální teorie relativity prokázána nepřímou, neboť důsledky z ní vyplývající jsou plně experimentálně ověřeny, což je také často považováno za ověření jejich základních postulátů.

K problematice související s touto otázkou se vrací v roce 1959 H. Dingle. V práci [4] uvádí, že ověření druhého postulátu čistě pozemským pokusem by bylo velmi žádoucí a říká: „Jestliže je světlo vysláno s téhož místa a ve stejném okamžiku ze dvou relativně se pohybujících těles, druhý postulat by mohl být ověřen nebo popřen pozorováním, které by prokázalo, zda světlo dosáhne vzdálený bod současně nebo po sobě, aniž by bylo nutné dělat přesné měření dob průchodů“. Tím se staví za možnost ověření druhého postulátu jen pozemským pokusem, z čehož by plynulo, že druhý postulat by neměl charakter postulátu. Avšak podle některých názorů (např. A. N. Matvějev) přesahuje tvrzení o konstantní rychlosti světla možnosti pokusů, proto je nutné i v budoucnu ponechat mu ráz postulátu.

Také J. G. Fox ve své práci [8], uveřejněné měsíce před Kantorovým pokusem, uvádí pochybnosti o interpretacích řady minulých pokusů, které byly obvykle uváděny jako pokusy ověřující druhý postulat. Práce [4] H. Dingle zřejmě inspirovala W. Kantora k realizaci příčiného pozemského interferometrického pokusu ještě v témž roce. Zjednodušenou formou pak provedl tento pokus znovu v červnu 1961. Pozorované výsledky byly pak publikovány v září 1962 v práci [3]. Podle Kantorovy interpretace pozorovaných výsledků je tento pokus v příkřím rozporu se speciální teorií relativity. Kantorův pokus dal podnět k řadě dalších prací jak teoretických, tak experimentálních.

V podstatě je možno rozdělit dosud publikované práce do tří skupin. V první skupině jsou práce, které se pokoušejí experimentálně prověřit platnost druhého postulátu. Do druhé skupiny by bylo možné zařadit práce, které usilují, na základě rozporu Kantorova pokusu se speciální teorií relativity, o obnovu Ritzovy emisní teorie světla. Ve třetí skupině pak jsou práce, v nichž se autoři snaží interpretovat Kantorův pokus obecně relativisticky nebo ukazují na některé nepřesnosti, kterých se Kantor dopustil.

Kantorovu hypotézu, že světlo z pohybujícího se zdroje se šíří rychlostí $\vec{c}' = \vec{c} + \vec{v}$, kde c je rychlost světla a v je konstanta, experimentálně ověřovali v roce 1963 J. P. James a R. S. Sternberg [5]. Svůj pokus považují za potvrzení 2. postulátu.

Poněvadž Kantorovu pokusu byly vytýkány nedostatky technického rázu a také nesprávná interpretace, byl proveden nový interferenční pokus analogický s pokusem Kantorovým, ale s přibližně čtyřikrát větší citlivostí. Tento pokus provedli v roce 1963 G. C. Babcock a T. G. Bergman [6]. Svůj pokus považují rovněž za potvrzení druhého postulátu speciální teorie relativity.

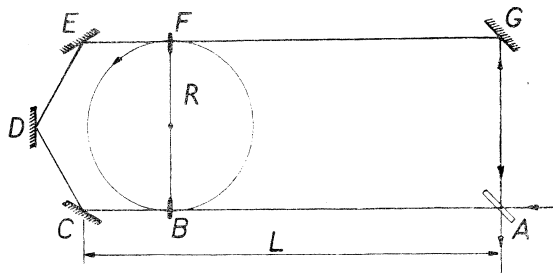
Nezávisle a téměř současně s pokusem Babcocka a Bergmana byl proveden další pokus Fred B. Rotzem [7]. Rotz provedl obdobný pokus, který byl uspořádán tak, aby se vyhnul námitkám uváděným proti Kantorovu pokusu. Použil třípaprskového interferometru, který byl poprvé popsán Zernickem [9] a který dovoľoval měřit fázové rozdíly s přesností $\lambda/200$. Výsledek pokusu je opět ve shodě s 2. postulátem. Autor však doporučuje další experimentální práce a sám na tomto problému dále experimentálně pracuje.

Další je práce P. Beckmana a P. Mandiese, provedená v červnu 1964 [10]. Přesto, že se dříve Beckman přikláněl k Ritzově emisní teorii [19], na základě tohoto pokusu, který autor považuje za potvrzení 2. postulátu, se staví na stanovisko jeho platnosti, ale doporučuje vzhledem k některým možným námitkám k tomuto pokusu další experimentální ověření.

Z posledních dosud nám známých experimentálních prací je práce autorů Ray O. Waddoups, W. Parrell Edwards, John J. Merrill [22]. Užili Jaminova interferometru s laserovým zdrojem světla. Svým pokusem podporují výsledek pokusu [6] a považují jej za potvrzení druhého postulátu speciální teorie relativity.

2. Kantorův pokus a jeho interpretace

Všimněme si nejdříve Kantorova pokusu [3]. V jeho úpravě rotují ve vodorovné rovině disk o průměru 27 cm s frekvencí 61 Hz. Dvě tenká skleněná okénka (o tloušťce 0,177 mm) byla umístěna na koncích průměru disku v jedné rovině. Světelné záblesky vysílané stroboskopem o trvání $15 \cdot 10^{-6}$ s, které byly synchronisovány s rotací disku, osvětlili tato okénka vždy ve stejné poloze. Světelný paprsek ze zdroje byl rozdělen polopropustnou destičkou na dva paprsky, které pomocí zrcadel proběhnou dráhy ABCDEFGA a AGFEDCBA (obr. 1). Oba paprsky po proběhnutí svých drah se setkají opět v A , kde



Obr. 1. Kantorův pokus

interferují. Pohyblivá skleněná okénka se chovají jako pohyblivé zdroje a podle extinkční poučky vysílají světlo na ně dopadající. Odražený paprsek se pohybuje z A do G a odtud do F rychlostí c . V okénku se paprsek pohybuje rychlostí $\frac{c}{n} + \sigma$, kde v je obvodová rychlost disku v místě středu okénka ($v = 4690$ cm/s) a n je index lomu skla ($n = 1,5$), σ je strhávací koeficient. Z F se světlo pohybuje podle 2. postulátu rychlostí c . Kantor však vychází z hypotézy, že světlo se šíří od okénka jako od pohybujícího se sekun-

dárního zdroje rychlostí $c' = c + \varrho v = c + \varrho \Omega R$. Dále se paprsek pohybuje z E do D , z D do C a z C do B podle extinkční poučky rychlostí c . V druhém okénku se paprsek pohybuje rychlostí $\frac{c}{n} - \sigma v$, a z B do A rychlostí $c' = c + \varrho \Omega R$. Kantor ukazuje, že ke strhávacím efektům nemusíme přihlížet, poněvadž jsou zanedbatelné. Jak je vidět z uspořádání pokusu, časové rozdíly v dobách průchodů paprsků mohou nastat jen na některých úsecích dráhy. Nepřehlídíme-li k tloušťce okénka jsou to úseky \overline{EF} , \overline{AB} , \overline{BC} , \overline{GF} .

Doba, kterou potřebuje odražený paprsek, aby prošel úseky \overline{EF} a \overline{AB} je

$$t_1 = \frac{\overline{EF}}{c + \varrho \Omega R} + \frac{\overline{AB}}{c + \varrho \Omega R} = \frac{L}{c + \varrho \Omega R}. \quad (1)$$

Doba, kterou potřebuje procházející paprsek k průchodu úseky \overline{BC} a \overline{GF} je

$$t_2 = \frac{\overline{BC}}{c - \varrho \Omega R} + \frac{\overline{GF}}{c - \varrho \Omega R} = \frac{L}{c - \varrho \Omega R}. \quad (2)$$

Rozdíl

$$\Delta t_{1,2} = \frac{2L\varrho\Omega R}{c^2 - \varrho^2\Omega^2 R^2} = \frac{2L\varrho\Omega R}{c^2 \left(1 - \frac{\varrho^2\Omega^2 R^2}{c^2}\right)}.$$

Pro $\frac{\Omega R}{c} \ll 1$ je

$$\Delta t_{1,2} \approx \frac{2L\varrho\Omega R}{c^2}. \quad (3)$$

Pro posun proužků máme

$$A = \frac{c \cdot \Delta t_{1,2}}{\lambda} = \frac{2\varrho\beta L}{\lambda}, \quad \text{kde } \beta = \frac{v}{c}, \quad R\Omega = v. \quad (4)$$

Maximální hodnota pro $\varrho = 1$, jak musí být v klasické teorii a pro $\lambda = 5000 \text{ \AA}$, $L = 118 \text{ cm}$ a $\beta = 1,56 \cdot 10^{-7}$ je $A = 0,74$ proužků. Pozorovaný posun proužků s bílým světlem při 61 Hz byl $A = 0,5$. Užití bílého světla předpokládá jistý odhad λ a můžeme uvažovat, že pro vzduch je $\varrho \approx 2/3$. Tedy pozorování je v dobrém souhlase s teorií.

Zrcadla C , D , E kompenzovala svým uspořádáním rotační pohyb okének, takže Kantor považuje pohyb okénka po krátkou dobu trvání světelného záblesku za translační. Kantorův výsledek je překvapivý, poněvadž podle autorovy interpretace je v rozporu se speciální teorií relativity.

Vzhledem k závažnosti tohoto pokusu se vyskytly jiné druhy interpretací a také námítky proti uspořádání pokusu z nichž některé uvedeme.

V práci [12] A. Datzef vychází ve své interpretaci z hypotézy materiálního nosiče pole, který nazývá „subvak“. Uvažuje, že „subvak“ není strhován tělesem — v případě Kantorova pokusu okénkem — které se pohybuje s konstantní rychlostí v , ale vytváří kolem okénka jistou oblast prostoru σ , kterou autor blíže rozměrově neurčuje. „Subvak“ v oblasti σ získává vlastnost

přenášet elektromagnetické vlny s rychlostí $c + v$ ve směru pohybu a $c - v$ ve směru opačném vzhledem k danému inerciálnímu systému, následkem čehož jejich rychlost vzhledem k okénku je c . Na základě této koncepce vysvětluje výsledek Kantorova pokusu a tvrdí, že rychlost paprsku v oblasti σ vzhledem k vnějšímu pozorovateli je $c + v$ nebo $c - v$ a tím je způsoben optický rozdíl mezi oběma paprsky. Odvozuje pro posun proužků vztah

$$A = \frac{2\beta l}{\lambda}, \quad (5)$$

kde uvažuje závislost posunu proužků na délce l (l je podélný rozměr oblasti σ ve směru rychlosti v) a nikoliv na dráze $L = 118$ cm.

Domníváme se však, že Kantor při ověřování faktu, zda posun proužků nebyl způsoben mechanickou deformací okének při pohybu nebo tzv. dynamickým hranolovým efektem, pomocí Milar-filmu, dokázal, že posun proužků je funkcí L . Kantor sám říká v závěru své práce: „Účinek Milar-filmu byl proveden na závěr pokusu a pro nedostatek času nebylo možné sestrojít vodítko, podél kterého by se mohly dvě Milarovy vrstvy pohybovat rovnoběžně podél světelné dráhy. Takové zařízení by umožnilo velmi žádoucí možnost měřit posun proužků jako funkci L .“ Kantor tedy při jednorázovém užití Milar-filmu, který vložil kolmo do zorného pole ukázal, že posun proužků je závislý na L . Milar-film vysílal světlo, které podle extinkční poučky se mělo vzhledem k němu pohybovat rychlostí c . Efektivní délka interferometru se tím zkrátila a následkem toho se zmenšil posun proužků. Kantor provedl pokus s Milar-filmem při frekvenci rotace 51 Hz, tedy $\beta = 1,31 \cdot 10^{-7}$. Posun proužků by měl hodnotu pro $q = 2/3$

$$A = \frac{2q\beta L}{\lambda} = 0,1, \quad (6)$$

který byl ztěžší pozorovatelný. Autor říká: „Posun proužků za přítomnosti Milaru bylo ztěžší rozeznat při 51 otáčkách za vteřinu a při náhlém oddělení Milaru nastal očekávaný posun proužků $A = 0,3$.“ (Správně $A = 0,4$ při $q = 2/3$.)

P. Bureev ve své práci [11] interpretuje Kantorův pokus pomocí relativistické teorie světelných kvant. Podle něho je Kantorův výsledek způsoben změnou frekvence procházejícího světla pohybujícím se prostředím s indexem lomu $n \neq 1$ podle vztahu

$$\bar{v} = v \left[1 \pm \left(n - \frac{1}{n} \right) \beta \right]. \quad (7)$$

Pro posun proužků dostává vztah

$$A = 4 \left(n - \frac{1}{n} \right) \left[L + R \left(1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \right) \right] \frac{\beta}{\lambda} \approx 1,5, \quad (8)$$

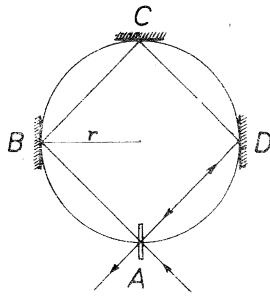
kde n je index lomu pohybujícího se prostředí a R je poloměr disku. Autor se mylně domnívá, že posun proužků pozorovaný Kantorem je v lepší shodě s jeho výsledkem, než s teoretickým výsledkem Kantora $A = 0,74$. Činí

závěry, že Kantorův pokus se dá relativisticky vysvětlit a že tedy nevyvrací druhý postulát. Nepřihlížíme-li k námitkám uvedeným v práci [21], domníváme se, že získaná hodnota posunu proužků $\Delta = 1,5$ není ve shodě s měřením Kantorovým. Kantor pozoroval posun proužků vizuálně a říká: „... bylo vidět část systému proužků procházející okénky jak se náhle posunuje vzhledem k horní klidné části proužků, která zůstala pevná vzhledem k nitkovému kříží dalekohledu“. Musel by tedy vidět, že posun je větší než jeden proužek. Nelze tedy ztotožňovat posun proužků 1,5 a 0,5 i když výsledný pozorovatelný efekt je stejný. Pro posun s Milar-filmem odvozuje Burcev vztah

$$\Delta = 4 \left(n - \frac{1}{n} \right) \left(L + \frac{2R}{3} \right) \frac{\beta}{\lambda} = 0,38, \quad (9)$$

pro $L = 30$ cm. Tento výsledek zase neodpovídá skutečnosti, neboť je to hodnota posunu, která je pozorovaná právě při oddálení Milar-filmu při frekvenci rotace 51 Hz. Při vloženém Milar-filmu je tato hodnota asi 0,1, kterou, jak uvedeno výše Kantor ztěžší pozoroval. Zdá se tedy, že autor správně nepochopil funkci Milar-filmu v Kantorově pokusu. Tedy jeho interpretace není ve shodě s výsledky Kantorova pokusu.

Kritické připomínky ke Kantorovu pokusu měli i autoři práce [13] D. R. White a R. A. Alpher, kteří ukazují, že Kantor nepřihlíží k úloze klidného vzduchu v laboratorní soustavě a říká: „... je stejně oprávněné tvrzení, že rychlost světla je c po odrazu od klidného zrcadla, nebo po průchodu určitou vrstvou vzduchu.“ Odvolávají se na diskusi extinkčního teorému dispersní teorie v práci J. G. Foxe [8] a v závěru své práce podotýkají, že Kantorův pokus musí být zřejmě vysvětlen jiným způsobem.



Obr. 2. Sagnacův pokus

Naproti tomu autoři prací [13] V. Vy-

šin a [15] J. Mrázek interpretují Kantorův pokus obecně relativisticky. Mrázek došel ve své interpretaci k závěru, že Kantorův pokus je nutno považovat za pokus na rotující soustavě. Podle jeho názoru působí na destičky umístěné na rotujícím disku odstředivá síla a nemůžeme je tedy považovat za soustavu, která se pohybuje přímočaře a rovnoměrně. V důsledku toho výpočty založené na speciální teorii relativity jsou chybné. Autor předpokládá, že při stejné postupné rychlosti rotující destičky, ale při použití jiného poloměru rotace a jiné úhlové rychlosti — zejména při působení velké odstředivé síly — bude výsledek Kantorova pokusu jiný. „Podle našich představ“ — říká autor — „je tedy destička pohybující se v soustavě laboratoře rychlostí v rovnoměrně a přímočaře, principiálně co do prostorčasové metriky něco zcela jiného, než stejná destička, pohybující se rychlostí stejnou, ale za působení gravitačních nebo odstředivých sil“. Autor

navrhuje prověření pokusu a provádí závěry, že Kantorův pokus nepopírá druhý postulát, ale naopak potvrzuje některé z výsledků obecné teorie relativity.

Vyšín ve své práci interpretuje Kantorův pokus také obecně relativisticky. Upozorňuje, že se v podstatě jedná o pokus, který je velmi podobný pokusu Sagnacovu.

Sagnac provedl v roce 1911 pokus, který je znázorněn na obr. 2. Světelný paprsek vycházející ze zdroje je polopropustnou destičkou rozdělen na dvě části, které urazí ve směrech navzájem opačných dráhu ABCDA. Jeden paprsek probíhá ve směru rotace disku, druhý proti směru rotace. Strhávací efekt v destičce je zanedbatelný. Sagnac naměřil posun proužků $\Delta = 0,1$. Tento pokus byl opakován Pogányim v roce 1926 a byl naměřen posun $\Delta = 0,92$. Tento pokus je na rotující soustavě a tam nemohou být hodiny synchronizovány ve všech bodech. Provedeme-li synchronizaci podél některé křivky, která je uzavřená, dostaneme — vrátíme-li se do výchozího bodu — čas, který se liší od počátečního o hodnotu

$$\Delta t = \pm \frac{1}{c^2} \oint \frac{\Omega r^2}{1 - \frac{\Omega^2 r^2}{c^2}} \cdot dq \quad (10)$$

Předpokládáme-li, že $\frac{\Omega r}{c} \ll 1$, tj. rychlost rotace je malá vzhledem k rychlosti světla, máme

$$\Delta t = \pm \frac{\Omega}{c^2} \oint r^2 \cdot dq = \pm \frac{2\Omega S}{c^2}, \quad (11)$$

kde S je plocha, kterou opíše paprsek na disku (znaménko $+$ platí pro paprsek procházející ve směru rotace, znaménko $-$ pro směr opačný).

Vyjádříme nyní čas, který uplyne od okamžiku vyslání paprsku do jeho návratu do výchozí polohy. Rychlost světla je vždy rovna c , máme-li čas synchronizovaný podél uzavřené dráhy a v každém bodě užíváme vlastního času. Označíme-li délku obrysu určeného paprskem L , pak pro hledaný čas máme

$$t_{1,2} = \frac{L}{c} \pm \frac{\Omega}{c^2} \int r^2 \cdot dq. \quad (12)$$

Rozdíl obou časů je

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2\Omega}{c^2} \int r^2 \cdot dq. \quad (13)$$

Pro posun proužků dostaneme vztah

$$A = \frac{c \cdot \Delta t_{1,2}}{\lambda} = \frac{4\Omega S}{c\lambda}. \quad (14)$$

Tento vztah odvodil Laue.

Uvedený vztah však můžeme odvodit také klasicky. Uvážíme-li, že v tomto případě rychlost světla c přibírá složku rychlosti polopropustné destičky, takže výsledná rychlost ve směru rotace je $c' = c + r\Omega \cos \alpha$, pak čas potřebný k tomu, aby světlo urazilo dráhu $4L$ (L označíme vzdálenost mezi jednotlivými zrcátky) je dán vztahem

$$t_1 = \frac{4L}{c'} = \frac{4L}{c + r\Omega \cos \alpha}. \quad (15)$$

Ve směru opačném je rychlost paprsku $c'' = c - r\Omega \cos \alpha$ a čas potřebný k uražení dráhy je dán hodnotou

$$t_2 = \frac{4L}{c''} = \frac{4L}{c - r\Omega \cos \alpha}. \quad (16)$$

Rozdíl časů je

$$\Delta t_{1,2} = \frac{8Lr\Omega \cos \alpha}{c^2 \left(1 - \frac{r^2\Omega^2 \cos^2 \alpha}{c^2}\right)} = \frac{8Lr\Omega \cos \alpha}{c^2}. \quad (17)$$

Protože

$$r = \frac{L}{2 \cos \alpha},$$

je

$$\Delta t_{1,2} = \frac{4S\Omega}{c^2}.$$

Posun proužků je

$$A = \frac{c \cdot \Delta t_{1,2}}{\lambda} = \frac{4S\Omega}{c\lambda}. \quad (18)$$

Odtud by se dalo mylně usuzovat, že Sagnacův pokus je v rozporu s druhým postulátem speciální teorie relativity. Tato teorie však platí pro inerciální soustavy, kdežto pokus Sagnacův je pokusem na rotující soustavě. Provedeme nyní shodně s autorem práce [13] obecně relativistickou interpretaci Kantorova pokusu. Jak je vidět z obr. 1, odražený paprsek potřebuje k proběhnutí uzavřené dráhy AGFEDCBA dobu t , pro níž platí

$$t = \frac{AGFEDCBA}{c} + \frac{\Omega}{c^2} \left[\int_A^G r^2 d\varphi + \int_G^F r^2 d\varphi + \int_F^E r^2 d\varphi + \int_E^D r^2 d\varphi + \int_D^C r^2 d\varphi + \int_C^B r^2 d\varphi + \int_B^A r^2 d\varphi \right]. \quad (19)$$

Z integrálů je nutné uvažovat jen

$$\int_E^F r^2 d\varphi \quad \text{a} \quad \int_B^A r^2 d\varphi,$$

poněvadž jen v těchto intervalech považujeme paprsek za patřící do rotující soustavy. Pro čas t_1 platí

$$t_1 = \frac{\text{AGFEDCBA}}{c} + \frac{\Omega}{c^2} \left[\int_B^E r^2 d\varphi + \int_B^A r^2 d\varphi \right]. \quad (20)$$

Pro druhý paprsek platí obdobně

$$t_2 = \frac{\text{ABCDEFGA}}{c} - \frac{\Omega}{c^2} \left[\int_B^C r^2 d\varphi + \int_B^G r^2 d\varphi \right]. \quad (21)$$

Rozdíl časů je

$$\Delta t = \frac{2\Omega r L}{c^2}, \quad (22)$$

takže pro posun proužků vychází

$$\Delta = \frac{2\beta L}{\lambda}, \quad (23)$$

o což je vztah, který Kantor odvodil klasiicky. Tedy podle autora této interpretace je Kantorův pokus potvrzením obecné teorie relativity.

Domníváme se, že interpretace autorů [13] a [15] jsou správné, poněvadž Kantorův pokus musíme považovat za pokus na rotující soustavě. Nelze považovat shodně s Kantorem, že okénko po dobu krátkého světelného záblesku je inerciální soustavou, protože je v silném poli odstředivé síly.

3. Hodnocení dalších optických pokusů na verifikaci druhého postulátu

Kantorův pokus a jeho zdánlivý rozpor s druhým postulátem speciální teorie relativity způsobil, že se v poslední době vyskytla celá řada dalších experimentálních prací snažících se o objasnění této otázky. Tyto experimentální práce můžeme rozdělit do dvou skupin:

- a) Optické interferenční pokusy.
- b) Pokusy měřící rychlost γ paprsků od pohybujících se zdrojů.

V této práci se budeme zabývat jen první skupinou pokusů.

Bezprostředně po zveřejnění výsledků Kantorova pokusu provedli autoři James a Sternberg optický pokus (který jediný není interferenčním pokusem) na prověření konstantnosti rychlosti světla [5]. Podstatnou částí přístroje byl polokruhový disk, který rotoval velkou rychlostí kolem osy ležící v rovině kotouče, při čemž osa rotace byla kolmá ke směru pohybu světelného paprsku. Autoři předpokládají, že v případě platnosti emisní teorie by vystupoval světelný paprsek na jedné straně přístroje s větší rychlostí než na druhé, čímž by došlo k odchylce paprsku o úhel

$$\varphi = \frac{\beta \Omega L}{c}. \quad (24)$$

Pro dané parametry je tato odchylka asi 20 obloukových vteřin. Poněvadž autoři nepozorovali žádnou odchylku paprsku, považují svůj pokus za důkaz platnosti druhého postulátu.

Autoři Babcock a Bergman [6] provedli opakování Kantorova pokusu ve vakuu. Aby zvýšili citlivost přístroje, prodloužili interferenční dráhu na 276 cm a použili reversibilního motoru.

Vydjeme-li z předpokladů emisní teorie, že rychlost světla po průchodu okénkem pohybujícím se rychlostí v je $c + \rho v$ a že po odrazu od klidného zrcadla se změnil rychlost světla opět na původní hodnotu c vzhledem k soustavě laboratoře, dostáváme pro posun proužků podobně jako v Kantorově pokusu vztah

$$\Delta = \frac{4\alpha\beta L}{\lambda} \quad (25)$$

Odtud pro posun proužků mezi opačnými rotačními stavy dostáváme hodnotu $\Delta = 2,9$. Teorie relativity předpovídá posun 0,0036 proužku. Citlivost přístroje byla taková, že posun desetiny proužku by musel být zaznamenán.

Aby autoři vyloučili námitku, která byla vznesena proti Kantorovu pokusu, totiž že přítomnost vzduchu může narušit interferenční jev, byl pokus proveden ve vakuu při tlaku 0,02 torr. Pro zjištění vlivu vzduchu vyzkoušeli autoři přístroj ještě před vyčerpáním vakuové komory. Ukázalo se, že víření vzduchu narušovalo vzhled proužků a že tyto byly stabilní až při tlaku 10 torr. Je škoda, že autoři důkladněji neprozkoumali vliv vzduchu na interferenční jev, aby mohla být lépe zhodnocena úloha vzduchu v Kantorově pokusu. Proměřením fotografií proužků bylo zjištěno, že posun při opačných rotačních stavech byl asi 0,004 proužku. Autoři však nedovedou vysvětlit posun, který zjistili po měření, vzhledem ke stavu před měřením, v hodnotě asi 0,02 proužku.

J. G. Fox v práci [18] považuje tento pokus za průkazný i když přítomnost par organických látek mohla způsobit zkrácení interferenční délky L vlivem extinkce až na 40 %.

Tento pokus, podobně jako pokus Kantora, je však možno považovat za pokus na rotující soustavě. Proto by měl u obou pokusů podle obecně relativistické interpretace nastat posun proužků. Je zřejmé, že mezi oběma pokusy je rozpor, který může být rozřešen dalšími experimentálními pracemi, o nichž bude pojednáno v závěru.

Další pokus popsaný v práci [7], provedl F. B. Rotz. Použitý přístroj byl v podstatě Zernickeův třípaprskový interferometr, který umožňoval měřit fázový rozdíl mezi světlem procházejícím střední a krajními štěrbínami s přesností $\lambda/200$. Tyto tři štěrbiny byly upevněny na rotujícím disku. Střední štěrbina byla pokryta sklem, které autor považuje za sekundární zdroj světla. *Proti tomuto pokusu lze však vznést velmi závažnou námitku, která jej činí zcela neprůkazným. Podle emisní teorie není zde sekundárním zdrojem světla jen střední štěrbina pokrytá sklem, ale i krajní štěrbiny se chovají jako zdroje nového záření. Poněvadž se však všechny tři štěrbiny pohybují přibližně stejnou rychlostí, nemůže ani v případě, že $\rho \neq 0$ dojít k měřitelnému efektu. Autor sám v závěru své práce říká: „...rozsáhlejší práce je žádoucí z důvodů zrušení efektů prvního řádu efekty fázového zpoždění způsobeného průchodem světla krajními štěrbínami popírpádě jinými možnými efekty.“*

Uvedený pokus je také pokusem na rotující soustavě. Obecně relativistickou interpretací dostaneme pro posun proužků vztah

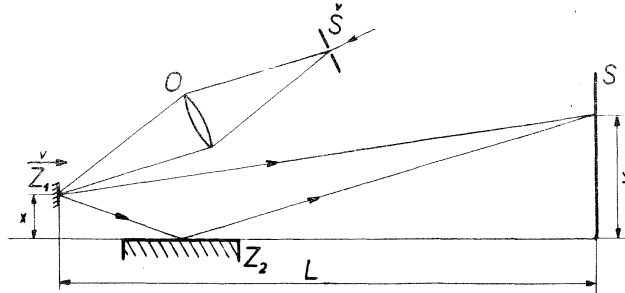
$$A = \frac{\Omega dL}{c\lambda}, \quad (26)$$

kde d je vzdálenost štěrbin a L je vzdálenost štěrbin od stínítka. Po dosazení do vztahu (26) dostaneme pro posun proužků asi 0,01 (pro $L = 1,48$ m). Z toho je patrné, že obecně relativistická interpretace je v tomto případě v dobré shodě s pozorováním (Rotz naměřil posun asi 0,02 proužku).

Další interferenční pokus provedli P. Beckman a P. Mandies [10]. Použili světla odraženého od rotujícího zrcátka, které pak procházelo Lloydovým interferometrem. V tomto pokusu jsou pohyblivé části umístěny vně interferometru a je tedy vyloučen posun proužků, který by mohl být vyvolán mechanickými deformacemi. Pokus byl vykonán na vzduchu i ve vakuu při tlaku 10^{-6} torr. Za předpokladu platnosti emisní teorie lze pro posun proužků jednoduchým výpočtem odvodit vztah

$$A = \frac{2\beta L}{\lambda} \cdot \frac{1}{1 + \frac{x}{y}}, \quad (27)$$

kde $x = \frac{L\lambda}{2s}$, při čemž L je vzdálenost obrazu štěrbin od stínítka, x je vzdálenost obrazu štěrbin od roviny Lloydova zrcadla, y je vzdálenost proužků od roviny Lloydova zrcadla a s je rozestup proužků na stínítku (obr. 3). Je



Obr. 3. Pokus Beckman—Mandies, Z_1 — zrcátko na rotujícím rameni, Z_2 — Lloydovo zrcadlo, Š — štěrbina, S — stínítko.

zajímavé, že i obecně relativistický výpočet vede ke stejnému vzorci, neboť jde opět o pokus na rotující soustavě. Očekávaný posun proužků měl být kolem $A = 1,1$, avšak žádný posun nebyl zaznamenán. Z výsledku pokusu

autoři vyvozují, že emisní teorie, vyžadující pro rychlost světla od pohyblivého zdroje vztah $c' = c + \varrho v$, je nesprávná. Připouštějí však námitku, že Lloydovo zrcadlo mohlo by při tzv. tečném dopadu odrážet světelný paprsek beze změny rychlosti. V tomto případě by pak nedošlo k posunu proužků, neboť rychlost obou paprsků by byla po celé dráze stejná. Proto tento pokus, ačkoliv vylučuje některé námitky uváděné proti Kantorovu pokusu, není ještě plně přesvědčivý.

Poslední pokus autorů R. O. Waddoupe, W. F. Edwardse a J. J. Merrilla [22] využívá Jaminova interferometru. Světelný paprsek z laseru je skleněnou deskou rozštěpen na dvě části. Do poloviny dráhy jednoho paprsku je vloženo slídové okénko, které je upevněno na rotujícím disku. Druhá polovina tohoto paprsku prochází klidným slídovým okénkem. Pokus byl proveden jak na vzduchu, tak ve vakuu. Podle emisní teorie měl nastat posun asi $1/3$ proužku. Citlivost přístroje byla taková, že by byl zaznamenán posun $1/20$ proužku. Žádný posun však nebyl pozorován. Vzhledem k malé citlivosti přístroje autoři uvádějí pro koeficient ϱ v rovnici $c' = c + \varrho v$ hodnotu $\varrho = 0 \pm 1/7$. Výsledek pokusu považují za potvrzení platnosti druhého postulátu.

Je zajímavé, že přítomnost vzduchu neměla vliv na interferenční jev, což je opět v rozporu s námitkami vznášenými proti Kantorovu pokusu. Dále je třeba si všimnout, že i zde jde o rotující soustavu. Podle obecně relativistické interpretace by zde měl nastat posun proužků asi o $1/3$. Výsledek pokusu je však s touto interpretací v rozporu.

4. Závěr

Závěrem možno říci, že všechny diskutované pokusy byly provedeny na rotujících soustavách. Z toho vyplývá, že je lze interpretovat obecně relativisticky. Má-li být experimentálně druhý postulát ověřen, je nutné provést sérii pokusů a poslední upravit tak, aby nebylo pochyb, že jde o inerciální soustavu, čímž by byla vyloučena obecně relativistická interpretace.

Poněvadž Kantorův pokus je v podstatě obdobou Sagnacova pokusu, domníváme se, že bude nutné jako první opakovat pokus Sagnacův v různých obměnách. Především by bylo žádoucí provést Sagnacův pokus ve vzduchu a ve vakuu, čímž by bylo umožněno zhodnotit vliv vzduchu na interferenční jev. Dále by Sagnacův pokus umožnil řešit otázku, zda při odrazu světla od klidného zrcadla světlo přechází do laboratorní soustavy, nebo zůstává v soustavě rotační. K tomu by bylo nutné upravit pokus tak, aby zrcadla byla mimo rotující disk a na disku aby rotovala jen polopropustná destička. Přejde-li světlo po odrazu od klidného zrcadla do laboratorní soustavy, musel by posun proužků být menší než v případě, kdy zrcadla jsou na disku.

Dále tento pokus může vyřešit otázku, zda světlo po průchodu klidným průhledným prostředím přechází do laboratorní soustavy. Za tím účelem bude nutné vložit do interferenční dráhy klidná průhledná okénka. Jednoduchou obměnou bude možné zodpovědět i otázku, jak se světlo chová při tečném odraze na zrcadle. Experimentální výsledek, který by odpovídal na tyto otázky by byl velmi důležitý, neboť by přispěl k zhodnocení popsanych pokusů a obecně relativistických interpretací.

V další fázi bude nutné opakovat Kantorův pokus ve vakuu s největší možnou přesností a rozhodnout tak o rozporu mezi výsledky pokusu Kantora

a Babcock—Bergmana. V případě, že by nastal posun proužků, bylo by možné ověřit jeho závislost na velikosti interferenční dráhy a na velikosti pole odstředivé síly při stejné obvodové rychlosti.

V poslední fázi, podle výsledků předchozích pokusů, by měl být proveden pokus, kde by byla vyloučena obecně relativistická interpretace. Průhledná okénka by byla umístěna na pohybujícím se páse mezi dvěma disky, takže v okamžicích záblesku by se pohybovala rovnoměrně přímočaře. Tento pokus by měl přímý vztah k druhému postulátu.

Provedení všech těchto pokusů bude značně náročné po technické stránce, neboť bude nutné sestavit universální měřicí aparaturu, která by byla konstruktivně přizpůsobena všem uvedeným variantám. Taková aparatura je na katedře ve vývoji a doufáme, že experimentální výsledky, které pomocí ní obdržíme, přispějí k objasnění otázek týkajících se ověření druhého postulátu optickými metodami.

LITERATURA

- [1] *De Sitter, W.*: Ein astronomischer Beweis für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Phys. Zeitschr. 14 (1963) 429.
- [2] *Mathias*: Die balistische Lichttheorie und das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Phys. Zeitschr. 40, (1939) 443—460, 557—572.
- [3] *Kantor, W.*: Direct First Order Experiment on the Propagation of Light from a Moving Source, JOSA. 52, (1962), 9, 978—984.
- [4] *Dingle, H.*: A Possible Experimental Test of Einstein's Second Postulate, Nature, 20, (1959), 1761.
- [5] *James, J. F.*—*Sternberg, R. S.*: Change in Velocity of Light emitted by a Moving Source, Nature, 197, (1963), 1192.
- [6] *Babcock, G. G.*—*Bergman, T. G.*: Determination of the Constancy of the Speed of Light, JOSA, 54, (1964), 2, 147—151.
- [7] *Rotz, F. B.*: New Test of the Velocity of Light Postulate, Phys. Letters, 7, (1963), 4, 252—253.
- [8] *Fox, G. J.*: Experimental Evidence for the Second Postulate of Special Relativity, Am. J. Phys., 30, (1962), 297.
- [9] *Zernicke, F.*: A Precision Method for Measuring Small Phase Differences, JOSA, 40, (1950), 5, 326—328.
- [10] *Beeman, P.*—*Mandics, P.*: A Test of the Constancy of the Velocity of Light in High Vacuum, Departement of Electrical Engineering University of Colorado, July 1964.
- [11] *Burcev, P.*: On Kantor's Experiment, Phys. Letters, 5, (1963), 1.
- [12] *Datzeff, A.*: Comptes rendus de L'Académie bulgare des Sciences, Sur la verification experimentale de la relativite restreinte, 17, (1964), 2.
- [13] *Vyšín, V.*: The Possibility of an Interpretation of Kantor's Direct First-order Experiment on the Propagation of Light from a Moving Source, Phys. Letters, 8, (1964), 36.
- [14] *White, D. R.*—*Alpher, R. A.*: Comments on an Experiment Concerning Einstein's Light Velocity Postulate, JOSA, 53, 6, (1963) 760.
- [15] *Mráček, J.*: K rozporu Kantorova pokusu s teorií relativity, Slaboproudý obzor, 25, (1964), 3.
- [16] *Beckman, P.*: Rychlost šíření elektromagnetických vln ve světle Kantorova pokusu, Slaboproudý obzor, 25, (1964), 3.
- [17] *Dingle, H.*: Reason and Experiment in Relation to the Special Relativity Theory, The British Journal of the Philosophy of Science, 15, (1964), 57.
- [18] *Fox, G. J.*: Evidence Against Emission Theories, Am. J. Phys. 33, (1966), 25—41.
- [19] *Beckman, P.*: A Re-examination of the Experiments on the Velocity of Light with Moving Sources, ČRE, 30, (1963).
- [20] *Bonč—Brujerčič, A. M.*: Experimentalnajava prověrka nčzavislosti skorosti svęta ot skorosti dviženia istočnika izličenja otnositelno nabjudatelja, Dokl. Akad. nauk SSSR, 109, (1956), 481—484.

- [21] *Budnikis, Z. I.*: On Bucev's Explanation of Kantor's Experiment, *Phys. Letters*, 6, (1963), 3, 258—259.
[22] *Waddoups Ray, O.—Farrell, W. Edwards—Merrill, John, J.*: Experimental Investigation of the Second Postulate of Special Relativity, *JOSA*, 55, (1965), 2, 142—143.

РЕЗЮМЕ

ОЦЕНКА ОПТИЧЕСКИХ ОПЫТОВ С ЦЕЛЬЮ ПРОВЕРКИ ВТОРОГО ПОСТУЛАТА СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ВЛАДИСЛАВ КОЛЕСНИКОВ И ВРЖИ ЗАТЕЙСКИ

В настоящей работе дано хронологическое перечисление оптических интерференционных опытов для проверки второго постулата специальной теории относительности.

Дальше, авторы оценивают известные интерпретации опыта Кантора и другие оптические опыты выполненные другими авторами. Авторы считают, что все вычисленные опыты были проведены на вращающихся системах и что надо их интерпретировать с помощью общей теории относительности. В заключению своей работы они предлагают другие экспериментальные работы, которые могли бы способствовать решению вопроса который имеет отношение к проверке второго постулата специальной теории относительности.