

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

Vladislav Kolesnikov; Jiří Záhejský

K některým otázkám optických pokusů o přímé ověření druhého postulátu speciální teorie relativity

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica, Vol. 8 (1967), No. 1, 113--120

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/119872>

Terms of use:

© Palacký University Olomouc, Faculty of Science, 1967

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 přírodovědecké fakulty
Vedoucí katedry: prof. paed. Dr. Josef Fuka*

K některým otázkám optických pokusů o přímé ověření druhého postulátu speciální teorie relativity

Vladislav Kolesnikov a Jiří Záhejský

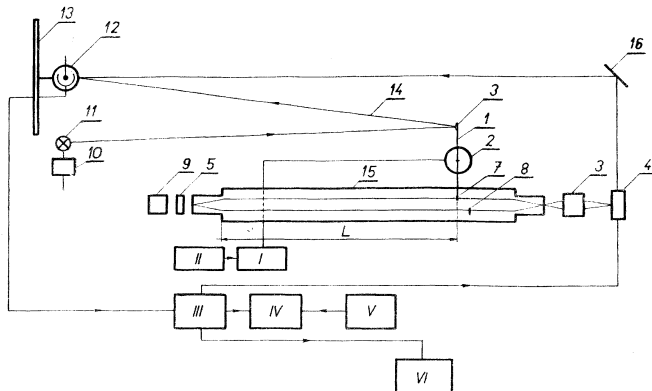
(Předloženo dne 15. června 1966)

Jak vyplývá ze studia všech optických interferenčních pokusů týkajících se ověření druhého postulátu speciální teorie relativity [1], je nutno v první řadě ověřit vliv vzduchu na interferenční jev, který nastane při průchodu světla rotujícím prostředím. V interferenčním pokusu Babcocka a Bergmana, který byl vlastně opakováním pokusu Kantorova, se ukázalo, že víření vzduchu narušovalo vzhled proužků do té míry, že měření na vzduchu za normálního tlaku bylo znemožněno. Jak autoři sami uvádějí [3], proužky se stabilizovaly teprve při tlaku asi 10 torr. Bylo tedy třeba prověřit vliv víření vzduchu na vzhled proužků, poněvadž jen tak je možné zhodnotit úlohu vzduchu v Kantorově pokusu [2]. Z toho důvodu jsme provedli pokus s komerčním přístrojem — Rayleighovým interferometrem fy Zeiss, který byl k tomuto účelu adaptován. Při provádění tohoto pokusu byl zjišťován vliv teplotních gradientů na posun proužků.

I. Přístroj

Celá měřicí aparatura se skládala z několika částí. Části mechanické, elektronické a optické. Blokové schéma uspořádání je na obr. 1.

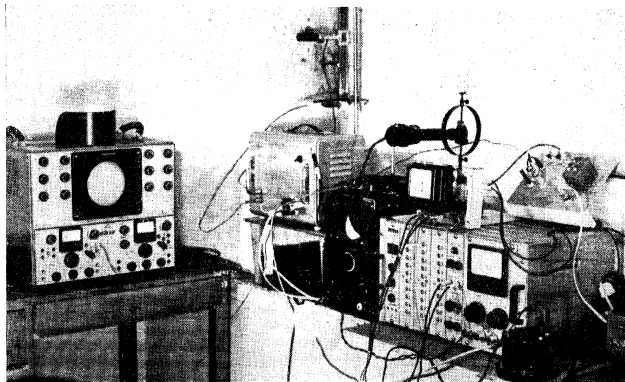
Xenonová výbojka (4) pracuje v pulzním režimu a její paprsek po průchodu objektivem (3) vstupuje do interferometru, kde se dělí na dvě části. Po průchodu trubici interferometru oba paprsky spolu interferují a vytvoří v ohniskové rovině objektivu interferenční proužky. Způsobíme-li v jednom z obou paprsků dráhový rozdíl, nastane posunutí proužků a velikost tohoto posunu je mírou dráhového rozdílu. Tento dráhový rozdíl by mělo způsobit tenké sklíčko (7), které je upevněno na rotujícím rameni (1), poněvadž paprsek po projití okénkem možno považovat podle některých interpretací za náležející do rotující soustavy. Rameno je upevněno na ose malého elektromotorku (2), který má frekvenci 50 Hz. Aby byl kompenzován dráhový rozdíl vzniklý průchodem paprsku okénkem (7) na raménku, je do dráhy druhého paprsku vloženo klidné okénko (8) o stejné tloušťce. Raménko s okénkem zasahuje při rotaci do jednoho z paprsků v interferometru. Poněvadž je nutné, aby paprsek dopadal na rotující okénko kolmo, musí výbojka pracovat v pulzním režimu a to tak, že světelný záblesk je vyslán vždy v okamžiku, kdy rotující okénko je



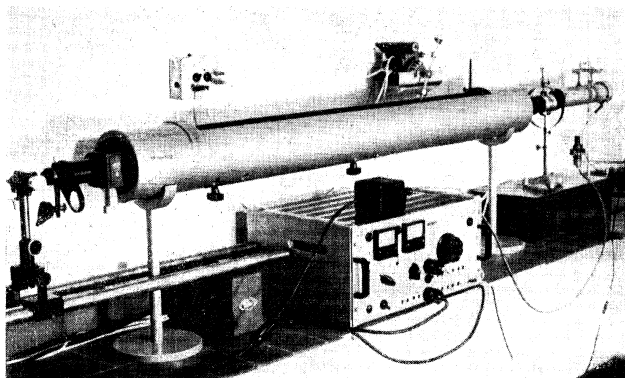
Obr. 1. Blokové schéma pokusu s Rayleighovým interferometrem. 1 — rotující raménko, 2 — elektromotor 220 V, 50 Hz, 3 — objektiv, 4 — xenonová výbojka XB-81-62, 5 — měřicí okulár, 6 — odrazné zrcátko pro synchronizační paprsek, 7 — průhledné planoparalelní okénko, 8 — klidné průhledné planoparalelní okénko, 9 — fotografický přístroj, 10 — transformátor 220 V/6 A, 11 — žárovka s kolimátorem, 12 — synchronizační vakuová fotonka 20 PA 91, 13 — vodící lišta fotonek, 14 — synchronizační paprsek, 15 — Rayleighův interferometr, 16 — odrazné zrcadlo, I — reverzní elektromotoru, II — zdroj proměnného napětí 0–250 V, III — stroboskop s optickou synchronizací, IV — počítač impulsů, V — elektrické stopky (1 dílek = 10^{-2} s), VI — osciloskop.

v poloze kolmé na paprsek. Proto na druhém konci rotujícího raménka je upevněno odrazné zrcátko (6), na které dopadá synchronizační paprsek (14) ze zdroje (11). Tento paprsek je seřízen tak, že v žádané poloze rotujícího raménka dopadá na synchronizační vakuovou fotonku (12). Napětí vzniklé průtokem fotoproudu na mřížkovém odporu vstupní elektronky se zesiluje zesilovačem impulsů na hodnotu 100 V a odtud se přivádí na thyatronový zdroj krátkých impulsů, který pak ovládá záblesky výbojky. Zesilovač impulsů a thyatronový zdroj krátkých impulsů tvoří stroboskop s optickou synchronizací (III).

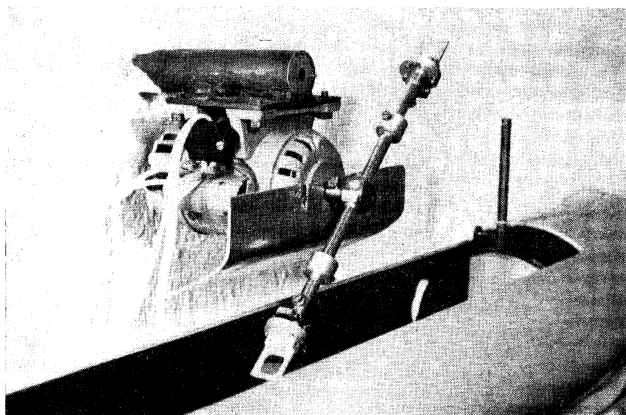
Aby bylo možné přesně určit frekvenci rotace raménka, přivádějí se napěťové pulzy ze zesilovače impulsů také na počítač (IV), který lze odblokovat současně se spuštěním elektrických stopek (V). Elektrickým systémem lze opět počítač i stopky současně zablokovat. Dále se napěťové pulzy ze zesilovače impulsů vedou na osciloskop (VI) s jednorázovou časovou základnou. Záporný napěťový impuls ze zesilovače impulsů v okamžiku dopadu synchronizačního paprsku na fotonku, spustí časovou základnu osciloskopu a současně se s ním zobrazí na jejím počátku. Poněvadž fotonka současně snímá také záblesk výbojky, který je poněkud opožděn, objeví se na obrazovce osciloskopu druhý impuls. Ze známé rychlosti pohybu elektronového paprsku po časové základně osciloskopu a ze vzdálenosti obou impulsů je možné určit čas $\Delta t'$, o který



Obr. 2a. Elektronická část aparatury.



Obr. 2b. Uspořádání s Rayleighovým interferometrem.



Obr. 2c. Elektromotor s rotujícím raménkem.

je opožděn záblesk výbojky vzhledem k dopadu synchronizačního paprsku na fotonku. Rychlost elektronového paprsku je nutno stanovit měřením. Na základě tohoto měření je pak možno oceňovat časovou základnu osciloskopu přímo v jednotkách času. Uspořádání pokusu je na obr. 2abc.

II. Cejchování časové základny

Způsob cejchování časové základny osciloskopu je patrný z obr. 3. Na vodící liště (13) jsou umístěny dvě fotonky F_1 a F_2 ve vzdálenosti $l = 28$ cm. Při rotaci raménka dopadá synchronizační paprsek postupně na obě fotonky. Vzniklé elektrické impulsy, mezi nimiž je časový interval Δt_1 , jsou přivedeny na vstup vertikálního zesilovače osciloskopu a rovněž na počítač impulsů. Tyto impulsy se zobrazí na stínítku osciloskopu ve vzájemné vzdálenosti d (v mm), která je přímo úměrná časovému intervalu Δt_1 . Časový interval Δt_1 vypočteme z rychlosti v pohybu stopy synchronizačního paprsku mezi fotonkami. Je-li f frekvence rotace elektromotoru a vzdálenost fotonek od odrazného zrcátka na raménku $R = 281$ cm, pak

$$v = 4\pi Rf. \quad (1)$$

Tedy

$$\Delta t_1 = \frac{l}{4\pi Rf}. \quad (2)$$

Tomuto časovému intervalu odpovídá na časově základně osciloskopu vzdálenost d . Vypočítáme, jaký časový interval Δt_2 odpovídá posunu elektronového paprsku na časové základně osciloskopu o jeden milimetr. Pro tento čas máme

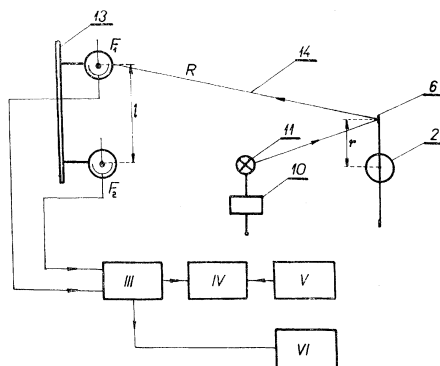
$$\Delta t_2 = \frac{\Delta t_1}{d}. \quad (3)$$

Cejchování časové základny bylo provedeno pro pět různých frekvencí rotace a naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. I.

Tabulka I

Čís. měř.	n	d [mm]	t [s]	f [Hz]	v [cm/s]	Δt_1 [s]	Δt_2 [μ s]
1	211	85	10,06	20,97	74 001,22	$3,78 \cdot 10^{-4}$	4,45
2	336	55	10,07	33,37	117 723,12	$2,38 \cdot 10^{-4}$	4,32
3	395	45	10,20	38,73	136 630,94	$2,05 \cdot 10^{-4}$	4,55
4	446	40	10,08	44,25	156 110,33	$1,79 \cdot 10^{-4}$	4,49
5	497	35	10,11	49,16	173 444,55	$1,61 \cdot 10^{-4}$	4,61
Střední hodnota						$\Delta t_2 = 4,48 \mu$ s.	

Frekvence rotace byla stanovena z počtu impulsů n naměřených počítacem impulsů a z odpovídajícího času t , změřeného elektrickými stopkami.



Obr. 3. Schéma uspořádání pro cejchování časové základny osciloskopu.

Zapojíme-li nyní stroboskopickou výbojku, přičemž fotonka F_2 je odpojena, pak, jak již bylo uvedeno, snímá fotonka F_1 také záblesk výbojky a ten se zobrazí na časové základně ve vzdálenosti d' (v mm) od prvního impulsu. Zpoždění záblesku

výbojky vzhledem k okamžiku dopadu synchronizačního paprsku na fotonku F_1 bude

$$\Delta t' = d' \Delta t_2. \quad (4)$$

Při frekvenci 50 Hz je $\Delta t' = 44,8 \mu\text{s}$.

Aby rameno při reverzaci elektromotoru bylo osvětleno záblesky výbojky vždy v kolmé poloze, je nutno zpoždění záblesku vylučovat posunem fotonku F_1 po vodičí liště. Pro frekvenci rotace 50 Hz v kladném smyslu je nutno posunout fotonku F_1 nahoru ve svislém směru o hodnotu $h = v \cdot \Delta t'$, což dává v našem případě hodnotu 7,8 cm. Při rotaci v záporném směru je nutno posunout fotonku F_1 o tutéž hodnotu v opačném směru.

III. Pozorování

Interpretujeme-li uvedený pokus obecně relativisticky, pak pro časový rozdíl mezi oběma paprsky Δt na interferenční dráze $L = 86$ cm (obr. 1) je

$$\Delta t = \pm \frac{\omega}{c^2} \int_{(L)} r^2 dq = \pm \frac{\omega L r}{c^2}, \quad (5)$$

kde znaménko $+$ bereme v případě, kdy paprsek se šíří okénkem ve směru rotace a znaménko $-$ v případě šíření paprsku ve směru opačném.

Pro posun proužků pak dostaneme

$$\Delta = \frac{c \cdot \Delta t}{\lambda} = \frac{\omega L r}{c \lambda}. \quad (6)$$

Po vyčíslení dostaneme hodnotu $\Delta = 0,22$ proužků pro $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ při rotaci v jednom směru s frekvencí 50 Hz. Při reverzaci otáček motoru musí být výsledný posun dvojnásobný, tj. $\Delta = 0,44$ proužku.

Pozorování bylo prováděno jednak vizuálně, jednak fotograficky. Při vizuálním pozorování byla měřena poloha proužků měřicím okulárem s nitkovým křížem při rotaci raménka v obou směrech. Fotografie proužků je na obr. 4ab. Obr. 4a je při rotaci v kladném smyslu, obr. 4b je při rotaci v záporném smyslu.



Obr. 4ab. Fotografie interferenčních proužků. a) při rotaci v kladném smyslu, b) při rotaci v záporném smyslu.

Pozorování bylo provedeno několika nezávislými pozorovateli a žádný posun v mezích přesnosti přístroje nebyl pozorován. Přístroj by zřetelně indikoval posun 0,1 proužku. Pozorovaný výsledek je tedy ve shodě se speciální teorií relativity.

IV. Závěry

Pokus byl prováděn na vzduchu při tlaku 748 torr a ukázalo se, že víření vzduchu, které bylo velmi intenzivní, nemá na vzhled proužků vliv. Proužky byly stabilní, klidné a daly se dobře pozorovat. Jestliže však byly v laboratoři vytvořeny proudy teplejšího vzduchu, než byla teplota místnosti, proužky se nepravidelně posunovaly. Při proudění vzduchu stejné teploty jako teplota v laboratoři, poloha a vzhled proužků se neměnil. Z toho je zřejmé, že na posun proužků mají velký vliv teplotní gradienty v místě interferenční dráhy. Proto bylo třeba při měření zaručit dokonalé ustálení teploty v laboratoři. Je možné, že nestabilitnost proužků v pokuse Babcocka a Bergmana za přítomnosti vzduchu byla způsobena právě teplotními gradienty. V případě Kantorova pokusu, který byl prováděn na vzduchu, mohl naměřený posun vzniknout také následkem působení teplotních gradientů. Konečné slovo zde mohou dát výsledky celé série dalších pokusů.

Měření bylo provedeno nejprve s okénky o tloušťce 1 mm. Při nepatrném porušení synchronizace (např. posunutím fotonky F_1 po vodící liště), kdy paprsek nedopadal na okénko kolmo, se projevil posun asi 0,1 proužku při frekvenci 50 Hz. Z toho je zřejmé, že v případě tlustých okének musí být synchronizace naprosto precizní, jinak bychom mohli dojít k mylným závěrům. Proto bylo měření provedeno s okénky o tloušťce 0,1 mm, kde by se případná nepřesnost synchronizace projevila v daleko menší míře, přesto však bylo v tomto pokusu zpoždění záblesků výbojky vylučováno posunem fotonky F_1 po vodící liště, takže přesnost synchronizace byla zaručena.

Závěrem nutno říci, že tento pokus dává odpověď jen na některé dílčí otázky týkající se optických pokusů na ověření druhého postulátu speciální teorie relativity. Jejich dnešní interpretace přesahují rámec speciální teorie relativity a zasahují do problematiky obecné teorie relativity. Je tedy nutné řešit otázky, které souvisejí s rotačními soustavami, s jejich metrikou a s otázkami, zda světlo náleží po průchodu nebo odrazu od rotujícího prostředí do rotační soustavy a dále otázky spojené s problémem extinkce světla, Dopplerova efektu, aberace aj. Odpovědi na tyto otázky by zúžily dnešní počet různých interpretací těchto pokusů. Abychom získali odpověď na tyto závažné otázky, je nutno provést celou sérii dalších experimentů včetně opakování pokusu Kantorova, poněvadž výsledky jednoho pokusu nemohou dnes dát uspokojivou odpověď na tak složitou problematiku.

V. Poděkování

Autoři pokusu jsou zavázáni prof. dr. J. Fukovi, vedoucímu katedry, za umožnění provádění pokusu a za všestrannou pomoc, doc. dr. V. Vyšínovi, ČSc. za cenné teoretické rady a pokyny a L. Ambrůzovi, pracovníku dílen katedry, za pomoc při konstrukci mechanické části přístroje.

Literatura

- [1] *Kolesnikov V. — Záhajskij J.*: Zhodnoceni optických pokusů na ověření druhého postulátu speciální teorie relativity, Acta UP (1966), Tom 21.
- [2] *Kantor W.*: Direct First Order Experiment on the Propagation of Light from a Mouving Source, JOSA, 52 (1962), 9, 978—984.
- [3] *Babcock G. C. — Bergman T. G.*: Determination of the Constancy of the Speed of Light, JOSA, 54 (1964), 2, 147—151.

Summary

Some Problems concerning Optical Experiments of the Direct Verification of the Second Postulate of Special Theory of Relativity

VLADISLAV KOLESNIKOV AND JIŘÍ ZÁHEJSKÝ

This paper deals with Rayleigh-interferometer experiment which solves some special problems of optical experiments serving for verification of the second postulate of the special theory of relativity. Even if the result is in good agreement with the special theory of relativity, the authors assume that this problem cannot be solved with only one experiment but that there is a need for a whole serie of other experiments.

Резюме

К некоторым вопросам оптических опытов для прямой проверки второго постулата специальной теории относительности

ВЛАДИСЛАВ КОЛЕСНИКОВ и ЯИРЖИ ЗАХЕЙСКИ

Настоящая работа занимается опытом с Рейлиговым интерферометром, который решает некоторые частичные вопросы связаны с оптическими опыты на прямое проверку второго постулата специальной теории относительности. Результат опыта в согласи с специальной теорией относительности. В заключении авторы обозначают, что ответ на эти вопросы не дает только один опыт, но надо провести еще дальнейшие эксперименты.