

Powszechne rozumienie teorii względności sprowadza się zazwyczaj do stwierdzenia, że Einstein udowodnił, że wszystko jest względne. Jest to oczywiście absurdalne stwierdzenie dodatkowo wypaczone przez filozoficzną definicję relatywizmu moralnego. Teoria względności to tak naprawdę zbiór reguł, które mówią jak różni obserwatorzy różnie opisują zachodzące zjawiska. Choć wynika z niej, że dla różnych obserwatorów pojęcia takie jak równoczesność, upływ czasu czy pomiar długości są inne, to podaje przy tym przepis jak tłumaczyć je z jednego układu odniesienia do innego.



Wyjaśnień udziela Tomasz Sowiński.

W 2005 roku skończył z wyróżnieniem studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w zakresie fizyki teoretycznej. Obecnie jest asystentem w Centrum Fizyki Teoretycznej PAN.

Z zamilowania zajmuje się popularyzacją nauki. W roku 2005 był nominowany do nagrody w konkursie Popularyzator Nauki organizowanym przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji oraz Polską Agencję Prasową.

# Punkt widzenia zależy od punktu siedzenia!

**MT:** Dzień dobry Panie Tomku! Jak to jest w końcu z tym skróceniem długości? Mówił Pan ostatnio, że dowód eksperymentalny tego zjawiska omówiliśmy już, omawiając dylatację czasu. Przejrzałam zapiski ze wszystkich naszych poprzednich rozmów i nic jednak o skróceniu długości nie mogę znaleźć. Były tylko miony, które leciały tak szybko, że ich czas życia był dłuższy (MT 06/05). Dzięki temu dolatywały do Ziemi. Ale o długościach nic tam nie było! Chyba się Panu coś pomyliło.

**TS:** Ależ skąd! Właśnie nic mi się nie pomyliło. A to, co Pani znalazła, to właśnie dowód, że skrócenie długości rzeczywiście zachodzi. Jak słusznie Pani powiedziała, miony, choć powstają w górnych warstwach atmosfery i żyją bardzo krótko, mogą (dzięki zjawisku dylatacji czasu) dolecieć do powierzchni Ziemi. Jest to jednak tylko połowa prawdy. Powiedziałbym: tłumaczenie z jednego punktu widzenia.

**MT:** Słucham?

**TS:** Proszę pamiętać, że wytłumaczenia tego faktu eksperymentalnego dokonaliśmy z punktu widzenia obserwatora na Ziemi. To właśnie dla takiego obserwatora miony się poruszają bardzo szybko i w związku z tym czas płynie dla mionu wolniej. Tak jak wg Krzysia stojącego na peronie zegary Karolinki w pociągu chodziły wolniej. To właśnie dlatego obserwator na Ziemi może powiedzieć, że mion doleci do powierzchni Ziemi, bo jego czas życia uległ znacznemu wydłużeniu. Zastanówmy się jednak, co powiedziałyby obserwator, dla którego ta cząstka spoczywała!

**MT:** Zaraz, zaraz... Dla obserwatora, dla którego mion spoczywa, Ziemia się porusza z ogromną prędkością. W związku z tym, to na Ziemi czas płynie wolniej. Tym samym mion nie ma szans dolecieć do Ziemi. Rzeczywiście to wygląda na jakąś poważną lukę, bo miony jednak do Ziemi dolatują. To jest fakt obserwacyjny.

**TS:** I tu właśnie ukazują nam się piękno i zarazem konsystencja teorii względności. Rzeczywiście jest tak, że dla mionu czas na Ziemi płynie wolniej. Nie ma to dla nas oczywiście żadnego znaczenia, bo nas interesuje jedynie czy mion się przedrze przez atmosferę, czy nie. W układzie odniesienia, w którym mion spoczywa, cząstka żyje krótko i dylatacja czasu nic nie może pomóc. Wydaje się zatem, że mion wg takiego obserwatora dotrze do Ziemi nie może.

**MT:** Gdzie jest zatem to piękno? Przecież wszyscy obserwatorzy są równouprawnieni!

**TS:** To prawda. Ale to wcale nie znaczy, że muszą wszystkie zjawiska tłumaczyć w ten sam sposób. Choć w układzie związanym z mionem dylatacja czasu nie pomaga, to i tak dotarcie mionu do powierzchni Ziemi można wytłumaczyć. Z pomocą przychodzi bowiem ostatnio omówione zjawisko SKRÓCENIA DŁUGOŚCI – obiekty obserwowane jako poruszające się są krótsze niż gdy obserwujemy je jako spoczywające. W tym przypadku bowiem porusza się cała Ziemia wraz z atmosferą w kierunku mionu. Porusza się ona z ogromną prędkością. Dokładnie z taką, z jaką mion porusza się względem Ziemi dla obserwatora związanego z Ziemią.



**MT: Chce Pan powiedzieć, że Ziemia jest mniejsza dla mionu?**

**TS:** Nie tyle mniejsza, co chudsza, tzn. Ziemia wraz z całą atmosferą jest jakby spłaszczona w kierunku poruszania się. Tym samym mion, choć żyje w tym układzie odniesienia 30 razy krócej niż wynika to z obserwacji prowadzonych z ziemskiego układu odniesienia, to ma do przebycia 30 razy mniejszą odległość. Dlatego właśnie może dotrzeć do powierzchni Ziemi. Skrócenie długości jest nierozzerwalnie związane z dylatacją czasu. To zresztą jest oczywiste, bo oba zjawiska wynikają z tych samych postulatów. Jeden obserwator twierdzi, że u drugiego czas płynie wolniej, ale jednocześnie drugi twierdzi, że ma do pokonania mniejszą drogę. To sprawa, że nie dochodzi do sprzecznych wyników ich przewidywań.

**MT: To rzeczywiście interesujące, ale i bardzo skomplikowane.**

**TS:** Jak powiedział sam Albert Einstein, wyjaśnienia powinny być tak proste, jak jest to możliwe, ale nie prostsze. Po prostu tak zbudowany jest świat. Prościej opisać się tego nie da.

**MT: Mówił Pan coś o paradoksie kija, czy coś takiego...**

**TS:** Paradoks „tyczkarza i stodoły”. To bardzo ciekawy eksperyment myślowy, który pokazuje, jak bardzo trzeba uważać, stosując teorię względności. Pokazuje on jednocześnie, jak różne zjawiska przez nią przewidywane współpracują ze sobą.

**MT: Na czym on polega?**

**TS:** Wyobraźmy sobie pustą w środku stodołę o pewnej długości, która ma po obu stronach drzwi. W stodole siedzi Karolinka i ma przycisk, którym może je równocześnie zamykać lub otwierać. Tzn. po jego naciśnięciu drzwi się równocześnie zamykają albo się równocześnie otwierają. Krzysy natomiast ma długą tyczkę, którą trzyma poziomo. Tyczka jest dłuższa niż stodoła. To oznacza, że po włożeniu tyczki do stodoły nie da się zamknąć drzwi z obu stron, bo przynajmniej z jednej będzie ona wystawać.

**MT: Ciekawe rekwizyty – nie powiem.**

**TS:** Teraz wyobraźmy sobie, że Krzysy umie biegać bardzo szybko. Biegnie więc z tyczką w kierunku stodoły, wbiega do środka, a następnie wybiega z niej drugimi



drzwiami. Później rodzeństwo spotyka się i omawia swój eksperyment. Karolinka twierdzi, że widziała na własne oczy, jak cała tyczka mieściła się w stodole. Tyczka, choć w układzie spoczywającym jest dłuższa niż

stodoła, to ze względu na relatywistyczne skrócenie długości była krótsza niż stodoła.

Krzysy twierdzi zupełnie coś odwrotnego! W jego układzie odniesienia tyczka spoczywała, a stodoła się poruszała. Krzysy widział na własne oczy, jak stodoła się skróciła i teraz jeszcze bardziej tyczka wystawała, gdy wbiegł z nią do środka. Wg Krzysia tyczka na pewno nie zmieściłaby się w stodole!

**MT: Hm... Faktycznie, skoro każdy może stosować teorię względności, to rzeczywiście tak musi być. Ale jak można rozstrzygnąć ten kłopot?**

**TS:** Na razie nic nie musimy rozstrzygać. Krzysy twierdzi jedno, a Karolinka drugie. Ale właściwie nie ma żadnego powodu, aby nie przyznać racji każdemu z nich. Przypomnijmy, że podobnie było z dylatacją czasu. Krzysy twierdził, że zegary Karolinki chodzą wolniej, a Karolinka, że to zegary Krzysia się późnią. I dopóki nie mogli tego sprawdzić, to każdy twierdził swoje i każdy miał na swój sposób rację.

Karolinka i Krzysy postanawiają więc zrobić eksperyment, który rozstrzygnie, kto ma rację. Umawiają się następująco. Karolinka, gdy zobaczy, że cała tyczka jest w stodole, naciśnie przycisk i zamknie równocześnie drzwi. Jeśli ma rację, musi się to udać. Wtedy przekona Krzysia, że rzeczywiście to ona ma rację. Aby Krzysy nie musiał hamować w stodole, Karolinka po zamknięciu drzwi natychmiast je otworzy i Krzysy wybiegnie ze stodoły z tyczką, nie zmieniając swojej prędkości.

**MT: No i jak będzie? Kto ma rację? Ja wierzę Karolince!**

**TS:** No to przeanalizujmy ten eksperyment. Najpierw z punktu widzenia Karolinki. Widzi ona, że Krzysy biegnie z tyczką. W związku z tym tyczka staje się na tyle krótka, że mieści się cała w stodole. Gdy cała tyczka jest w stodole, naciska przycisk i zamyka drzwi. Po chwili naciska drugi raz przycisk i otwiera drzwi, aby wypuścić Krzysia. Już wie, że to ona miała rację. Teraz musi tylko poczekać, aż przyjdzie Krzysy i się z nią zgodzi.

**MT: Ha! Wiedziałam. To Karolinka ma rację. Krzysiovi coś musiało się pomylić. Choć rzeczywiście prawie mnie przekonał, że to stodoła jest krótsza w jego układzie odniesienia.**

**TS:** Chwileczkę! Nie tak szybko. W jego układzie odniesienia rzeczywiście stodoła musi być krótsza, bo to stodoła się porusza z ogromną





prędkością. Zresztą Krzysy idzie w stronę siostry z uśmiechem na twarzy. Jest przekonany, że to on ma rację!

**MT: Jak to? Przecież Karolince udało się zamknąć Krzysia w stodołę!**

Tak mówi Karolinka. Ale brat twierdzi, że ona go oszukuje. Przeanalizujemy dokładnie, co mówi Krzysy. W jego układzie odniesienia tyczka spoczywa i ma długość równą jej długości własnej (MT 08/05). Stodoła natomiast się porusza i wydaje się krótsza. Kluczowe jest zjawisko, które przewidzieliśmy jako pierwsze dawno temu – WZGLĘDNOŚĆ RÓWNOCZESNOŚCI. Krzysy widzi, że gdy tyczka jest już częściowo w stodołę i jej początek zbliża się do przednich drzwi, te się nagle zamykają. Tylne drzwi są natomiast ciągle otwarte. Po chwili otwierają się przednie drzwi i tyczka może swobodnie wydostawać się ze stodoły. Gdy tylny koniec tyczki minie tylne drzwi i znajdzie się w stodołę, Krzysy widzi, że tylne drzwi się zamknęły i po chwili otwarły. Jednak początek tyczki był już dawno poza stodołą. Dzięki temu, że drzwi nie zamknęły się równocześnie, dłuższa tyczka mogła przejść przez krótszą stodołę. Po spotkaniu brat wytłumaczył to co widział siostrze i powie, że skoro ona nie umie zamknąć równocześnie drzwi, to nie może twierdzić, że tyczka zmieściła się w stodołę.

**MT: Ale przecież ona zamknęła drzwi stodoły równocześnie!**

**TS:** Zamknęła równocześnie, ale w swoim układzie odniesienia. Nie ma jednak na to żadnych dowodów i Krzysy wcale nie musi w to wierzyć. Tak jak Krzysy nie ma dowodów, że w jego układzie odniesienia tyczka się nie mieści w stodołę. Jedno mogą stwierdzić oboje na pewno – tyczka przeszła przez stodołę. Choć każde z nich inaczej to tłumaczy. Karolinka skróceniem długości tyczki, a Krzysy nierównoczesnym zamknięciem i otwarciem drzwi. Jest dokładnie tak jak mówi słynne powiedzenie, że *punkt widzenia zależy od punktu siedzenia*.

**MT: Rozumiem. Ale czy nie można zrobić jakoś lepiej tego eksperymentu. Np. gdyby Karolinka zamknęła drzwi i już ich nie otwierała. Co by się wtedy stało?**

**TS:** A to bardzo dobre pytanie. Przeanalizujemy taki eksperyment. Na początek to co widzi Karolinka.

Tyczka zmieściła się cała w stodołę i Karolinka zamknęła równocześnie drzwi. Tyczka jednak cały czas się porusza i ze względu na fakt, że teraz drzwi są zamknięte, musi w nie uderzyć i się zatrzęsinać. Podczas zatrzęsinywania się tyczka oczywiście zwalnia, a wraz z tym musi się wydłużać. Bo wiemy, że gdy stoi, to ma długość większą, niż gdy się porusza. Będzie się zatem wydłużała tak długo, aż jej długość będzie większa niż stodoła. Jeśli drzwi będą odpowiednio mocne, to tyczka wygnie się w środku stodoły w łuk, tak aby się zmieścić pomiędzy drzwiami.

**MT: Zatem jednak tyczkę uda się zamknąć w stodołę? Czyli jednak Karolinka ma rację!**

**TS:** Ależ Pani uparta. Krzysy po prostu stwierdzi, że powód tego jest zupełnie inny. On widzi to inaczej. Na stojącą tyczkę leci skrócona stodoła. Gdy część tyczki jest już w środku, przed jej początkiem zamykają się drzwi i uderzają w tyczkę. Stodoła zaczyna hamować, więc się wydłuża. Równocześnie przednie drzwi prą na tyczkę ogromną siłą. Siła ta jest na tyle duża, że tyczka zaczyna się odkształcać i wyginać. W pewnym momencie tyczka jest tak bardzo wygięta, że mieści się w krótszej stodołę. Wtedy zamykają się tylne drzwi. Stodoła wyhamowała, a tyczka znajduje się w środku. Tak samo jak widziała to Karolinka. Teraz dodatkowo Krzysy i Karolinka są w tym samym układzie odniesienia (tyczka i stodoła stoją) i mogą porównać wyniki swojego eksperymentu. Widzimy jednak, że wynik jest dokładnie taki sam. Tyczka wygięta znajduje się w zamkniętej stodołę. W tym jednym i Krzysy, i Karolinka są zgodni. Nigdy nie zgodzą się natomiast, jak do tego doszło. Każdy widział coś innego.

**MT: No, ale przecież tyczka może być bardzo sztywna. Wtedy nie będzie się tak łatwo wyginać, prawda?**

**TS:** W przyrodzie nie istnieją ciała idealnie sztywne. Choć są ciała mniej i bardziej sztywne, to nie ma takiego, które w ogóle nie dałoby się wygiąć. Teoria względności ugruntowała to przekonanie jeszcze bardziej. Otóż prędkość dźwięku w dowolnym materiale zależy od jego sztywności. Im ciało jest bardziej sztywne, tym prędkość leżącego w nim dźwięku jest większa. Przy odpowiednio dużej sztywności prędkość ta mogłaby być większa od prędkości światła. Z teorii względności wynika jednak, że energii nie można przekazywać szybciej niż prędkość światła. A przekaz dźwięku to nic innego jak przesyłanie energii. To oznacza, że teoria względności narzuca pewną granicę na sztywność ciał. Jeśli teoria względności jest prawdziwa, to ciała idealnie sztywne nie istnieją. Wszystko na to wskazuje, że tak rzeczywiście jest.

**MT: Zdumiewające! Mnie najbardziej dziwi jednak, że mogą występować dwa tak różne opisy tego samego zjawiska.**



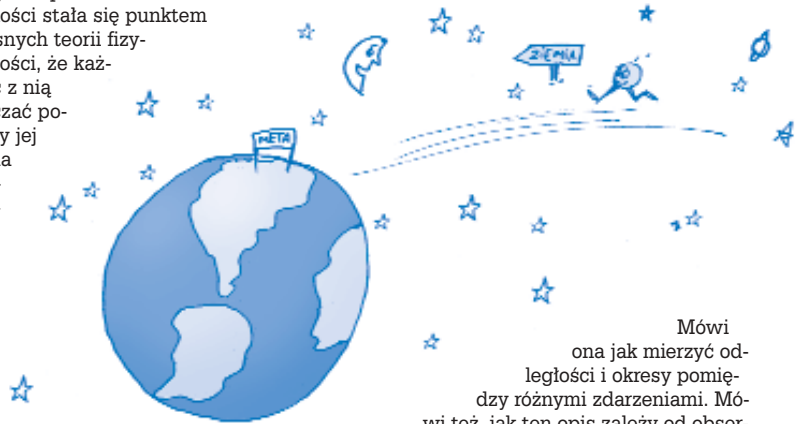
**TS:** Wg mnie to jest cała esencja teorii względności. To samo zjawisko, widziane przez dwóch różnych obserwatorów może wydawać się zupełnie inne. Jeden mówi jedno, a drugi co innego. Jednak rezultat, do którego dane zjawisko prowadzi, czyli to, co możemy porównywać, zawsze jest taki sam. Tyczka przeszła albo nie. Mion doleciał albo nie. To można rozstrzygnąć w dowolnym układzie odniesienia. Sposób rozstrzygnięcia oczywiście może być inny, ale sam wynik nie. To właśnie pokazuje, że teoria względności jest samozgodna, tzn. nie można w jej ramach wykonać żadnego rozumowania, które prowadziłyby do sprzeczności.

Szczególna teoria względności stała się punktem wyjścia dla wszystkich nowoczesnych teorii fizycznych. Dziś nikt nie ma wątpliwości, że każda nowa teoria fizyczna musi być z nią zgodna. Może oczywiście wykraczać poza jej ramy, ale w taki sposób, aby jej nie burzyć. Teoria względności ma bardzo ładne sformułowanie geometryczne, które pozwala ją jeszcze głębiej zrozumieć. Taki geometryczny opis był bardzo pożyteczny przy uogólnianiu jej na wszystkie układy odniesienia (nie tylko inercjalne) i przy uwzględnianiu oddziaływań grawitacyjnych. Jednak to już jest bardzo skomplikowane i nie będziemy o tym wspominać.

Tym sposobem kończymy naszą przygodę z teorią względności. Poznaliśmy jej podstawy i wnioski, jakie z niej wynikają. Choć oczywiście nie powiedzieliśmy sobie wszystkiego, to mam nadzieję, że teraz każdy Czytelnik wie troszkę więcej na temat tej pięknej teorii fizycznej, która ma silne ugruntowanie eksperymentalnie.

**MT:** Chwileczkę, Panie Tomku! Zawsze mi się wydawało, że najważniejszy w teorii względności jest wzór  $E=mc^2$ . A Pan w ogóle o nim nie chce wspomnieć?

**TS:** Ha, ha! Mało kto wie, że najsłynniejszy wzór fizyki wcale nie jest wnioskiem z teorii względności. Choć oczywiście jest z nią zgodny i też się w niej pojawia. Do tego wzoru Einsteina doprowadziło jednak zupełnie inne rozumowanie, gdy teoria względności była jeszcze raczkująca. Teoria względności to tylko reguły gry, jakim muszą podlegać wszystkie zjawiska fizyczne.



Mówi ona jak mierzyć odległości i okresy pomiędzy różnymi zdarzeniami. Mówi też, jak ten opis zależy od obserwatora, który tych pomiarów dokonuje.

**$E=mc^2$  to coś więcej niż reguła. To fakt, który wyraża te teorię względności.** Zdawał sobie z tego sprawę Albert Einstein, ale mało kto dziś o tym pamięta. Na dodatek mało kto wie, co ten wzór tak naprawdę znaczy. O tym wszystkim opowiemy sobie jednak następnym razem. ●



Centrum Fizyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk  
serdecznie zaprasza na cykl wykładów popularnonaukowych pt.

## F jak Foton

odcinek 299792458

W programie:

10:00 – 11:00	„Fotony w astronomii”	dr hab. Lech Mankiewicz (CFT PAN)
11:00 – 11:45	„Maxwell, Lorentz, Einstein – oświeceni przez światło”	mgr Tomasz Sowiński (CFT PAN)
11:45 – 12:45	„Foton”	prof. dr hab. Iwo Białynicki-Birula (CFT PAN)
12:45 – 13:00	przerwa	
13:00 – 13:45	„Kwantowe przelewy bankowe – foton na usługach biznesu”	mgr Rafał Demkowicz-Dobrzański (CFT PAN)
13:45 – 14:15	„Anomalie sondy Pioneer – czy winne światło?”	mgr Szymon Łęski (CFT PAN)
14:15 – 14:45	„Zasady ekstremalne w fizyce? Czyli dlaczego światło wybiera zawsze najkrótszą drogę”	mgr Mirosław Hardej (CFT PAN)

Wykłady zostaną wygłoszone **16 września 2006 r.** w ramach X Festiwalu Nauki  
w auli Instytutu Fizyki PAN  
Al. Lotników 32/46, Warszawa

Szczegółowe informacje można znaleźć na stronie internetowej: [www.cft.edu.pl/festiwal](http://www.cft.edu.pl/festiwal)

Serdecznie zapraszamy!