

Teoria względności, o której mówimy od dwóch miesięcy, jest teorią fizyczną, która powstała w odpowiedzi na nowe fakty doświadczone. Okazało się, że dotychczasowa nauka (oparta na prawach Newtona) nie potrafiła poprawnie opisać wniosków płynących z doświadczenia Michelsona–Morleya. Jedynym racjonalnym wytłumaczeniem zjawisk zachodzących przy dużych prędkościach okazała się teoria Einsteina. Jej przewidywania, choć zaskakujące, znalazły potwierdzenie eksperymentalne!



Wyjaśnienia 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 zamięłowania 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.

Dla fizyka sędzią jest eksperyment!

MT: Ostatnio skończyliśmy na paradoksie bliźniąt. Był on oparty na spostrzeżeniu, że dla różnych obserwatorów czas może płynąć inaczej. Proszę przypomnieć, skąd to się wzięło.

TS: Przypomnijmy, że teoria względności opiera się na dwóch postulatach: zasadzie równoważności inercjalnych układów odniesienia oraz niezależności prędkości światła od sposobu jej mierzenia. Drugi postulat jest w oczywisty sposób sprzeczny z zasadą dodawania prędkości Galileusza. Wg teorii Galileusza (czyli mechaniki newtonowskiej) nie ma prędkości absolutnych. Przy przechodzeniu do innego układu odniesienia prędkość obserwowanego obiektu powinna się zmienić.

W poprzednich numerach (MT 4/06 i 5/06) powiedzieliśmy sobie, że postulaty szczególnej teorii względności prowadzą do bardzo nieintuicyjnych konsekwencji. Po pierwsze, WZGLĘDNOŚCI RÓWNOCZESNOŚCI (zdarzenia równoczesne dla jednego obserwatora, nie muszą być równoczesne dla innego). Po drugie, mamy inny wzór na DODAWANIA PRĘDKOŚCI. Po trzecie wreszcie, zachodzi DYLATAcja CZASU (dla obserwatorów w różnych układach odniesienia czas, jaki upływa pomiędzy dwoma zdarzeniami, może być różny).

MT: To właśnie dylatacja czasu jest podwaliną paradoksu bliźniąt, prawda?

TS: Tak, dlatego tak ważne jest zrozumienie, na czym to zjawisko polega. Namnożyło się bardzo wiele

różnych BŁĘDNYCH stwierdzeń na temat upływu czasu. Szczególnie w książkach popularnonaukowych i różnych forach internetowych. Trzeba do tych informacji podchodzić z dużym dystansem. Teoria względności jest teorią fizyczną, a nie filozoficzną i dlatego w niej jest wszystko bardzo dokładnie zdefiniowane i powiedziane.

Aby rozumieć dylatację czasu, trzeba zawsze rozważać dwa zdarzenia zachodzące gdzieś w czasie i przestrzeni. W przypadku lecącego światła w pociągu (MT 5/06) były to: wysłanie sygnału świetlnego ze środka podłogi i dotarcie tego sygnału do środka sufitu. Każdy obserwator może dokładnie zmierzyć czas pomiędzy tymi dwoma zdarzeniami, bo są one dokładnie określone. To jest punkt wyjścia – dobrze określone zdarzenia. Teraz dopiero wkracza teoria względności. Mówi ona (co zresztą udowodniliśmy w poprzednim numerze na podstawie postulatów), że czas zmierzony pomiędzy tymi zdarzeniami przez różnych obserwato-



Ruch jest względny, więc nie wiadomo, kto się porusza, a kto nie.

rów jest różny. Wg teorii Galileusza czas ten dla wszystkich obserwatorów jest taki sam. Mamy dwie teorie ewidentnie sprzeczne ze sobą. Doświadczenie mówi, że tu Einstein ma rację. A dla fizyka rozstrzygające jest zawsze doświadczenie. Zgodnie z zasadą naukowego myślenia (MT 2/06) doświadczenie jest jedynym kryterium rozstrzygającym, co jest prawdą, a co nie.

MT: Ruch jest względny, więc nie wiadomo, kto się porusza, a kto nie. Dlaczego zatem to dla poruszającej się dziewczynki czas płynie wolniej, a nie dla chłopca? Równie dobrze możemy przecież powiedzieć odwrotnie – chłopiec się porusza, więc u niego czas płynie wolniej.



TS: Tu jest właśnie pies pogrzebany. Wszystko zależy od tego, co rozumiemy jako wpływ czasu u chłopca i u dziewczynki. Naturalne jest przyjęcie, że czas u mnie płynie tak jak wskazuje mój zegarek. No bo niby jaki związek ma Pani zegarek z moim upływem czasu. Ja przecież nie wiem, co Pani robi z tym zegarkiem. Może ma pani złą baterię albo źle pani go ustawiła. Ja wiem, co wskazuje mój zegarek – bo sam dbam o to, żeby był punktualny. Ważne zatem jest ściśle powiedzenie co to jest zegarek.

MT: Zatem co to jest zegarek?

TS: W naszym eksperymencie zegarek jest zdefiniowany przez lecący promień światła z podłogi wagonu do sufitu. Odmierza on jednostkę czasu – czyli okres pomiędzy dwoma zdarzeniami. To wydaje się dobra definicja zegarka. Jakiśmy puszczali ten sygnał w górę i w dół na okrągło, to tak mogliśmy mierzyć czas. Od razu widzimy, że ten dziwny zegarek spoczywa względem dziewczynki, a porusza się względem chłopca. Bo dziewczynka siedzi w wagonie i odległość do środka podłogi i środka sufitu jest dla niej zawsze taka sama. Dla chłopca natomiast odległość ta, tzn. odległość chłopca do tych punktów, zmienia się w czasie. Dla chłopca ten zegarek się porusza. Zatem możemy powiedzieć w sposób ściśły o DYLATAcji CZASU tak: dany zegar dla obserwatora, względem którego się porusza, chodzi wolniej niż dla obserwatora, względem którego spoczywa. To w naturalny sposób pozwala nam zdefiniować pojęcie CZASU WŁASNEGO obserwatora. Jest to czas mierzony przez obserwatora za pomocą zegara, który się względem niego nie porusza. W tym właśnie sensie



mówimy, że dla obserwatorów poruszających się czas płynie wolniej.

W naszym eksperymencie myślowym z pociągiem od początku mówiliśmy o zegarze spoczywającym względem dziewczynki. Dodajmy, że dla dziewczynki czas na peronie płynie wolniej, ale właśnie w tym sensie, że ona widzi, że zegary na peronie (które się względem niej poruszają) chodzą wolniej od jej zegara. Zatem względność ruchu objawia się w ten sposób, że dla chłopca zegar w pociągu chodzi wolniej niż zegar na peronie, a dla dziewczynki zegar na peronie chodzi wolniej niż zegar w pociągu.

MT: No to coś jest źle, bo nie może być równocześnie i tak, i tak.



TS: Oczywiście, że może. Bo musimy zwrócić uwagę na jeden bardzo ważny fakt. Te zegary (tzn. zegar dziewczynki i chłopca) tylko w jednym momencie znajdują się w tym samym miejscu (mijają się). Później zegar dziewczynki oddala się od zegaru chłopca. Nie można ich zatem fizycznie porównać i dzięki temu nie prowadzi to do paradoksu. Tylko w jednym momencie chłopiec i dziewczynka mogą porównać wskazania swoich zegarów. Później to jest niemożliwe.

MT: No ale na peronie może być więcej zegarów ustawionych wzdłuż peronu. Wtedy można porównywać wskazania zegarów w kilku miejscach.

TS: Tak, to prawda. Chłopiec powie tak: Moje zegary na peronie chodzą tak samo, tzn. w pewnej chwili wszystkie równocześnie zsynchronizowałem. Od tego momentu chodzą tak samo. Następnie, gdy zegar dziewczynki mija pierwszy zegar na peronie, ustawiamy je, aby wskazywały tę samą godzinę. Możemy to zrobić, bo zegary chłopca i dziewczynki są w tym samym miejscu. Następnie chłopiec porównuje wskaza-



nia zegara dziewczynki z kolejnymi zegarami na peronie i widzi (zgodnie z teorią względności), że zegar dziewczynki chodzi wolniej niż zegary na peronie. Tzn. gdy dziewczynka dojedzie do ostatniego zegara i porównamy wskazania zegara w pociągu z zegarem na peronie, to zegar dziewczynki będzie wskazywał wcześniejszą godzinę. Zgoda?

MT: Zgoda. Ale dziewczynka powie, że jest odwrotnie. To jakaś luka w teorii względności.

TS: Oczywiście, że nie! Dziewczynka powie dokładnie to samo.

MT: Jak to? Przed chwilą Pan mówił, że dziewczynka powie, że jest odwrotnie.

TS: Nieprawda. Ja powiedziałem, że jakby dziewczynka porównywała wskazania swojego zegara ciągle z tym samym zegarem, to byłoby odwrotnie. Teraz sytuacja się zmieniła. Dziewczynka porównuje swoje wskazania raz z pierwszym zegarem na peronie, a raz z ostatnim.

MT: Ale czy to nie to samo? Przecież te zegary były zsynchronizowane!

TS: Były zsynchronizowane, ale na peronie! Dla dziewczynki one nigdy nie wskazywały tej samej godziny. Pamiętamy przecież o WZGLĘDNOŚCI RÓWNOCZESNOŚCI. Dla chłopca zegary były zsynchronizowane równocześnie. Dla dziewczynki nie! Wg niej zegar ostatni był ustawiony na godz. 12.00 wcześniej niż zegar pierwszy. A ona ustawiła swój zegar, mijając się z pierwszym. Nic więc dziwnego, że gdy dojedzie do ostatniego, to choć ostatni zegar na peronie chodził wolniej od jej zegara, to nadal wskazuje późniejszą godzinę. Jej wskazówki nie zdążyły po prostu dogonić wskazań ostatniego zegara na peronie. Jak się przeprowadzi dokładny rachunek, to wychodzi, że różnica wskazań zegarów przy ostatnim porównaniu będzie dokładnie taka sama – niezależnie od tego, który obserwator zrobi pomiar. Po prostu dla chłopca zegary na peronie były zsynchronizowane i zegar dziewczynki chodził wolniej. Dla dziewczynki zegary na peronie chodzą wolniej, ale za to są rozsynchronizowane. Wszystko jest konsystentne ze sobą i daje dokładnie taki sam wynik.

MT: Rozumiem, że jakby to dziewczynka porównywała zegary w swoim pociągu, a jeden zegar byłby na peronie, to byłoby całkowicie odwrotnie. Ale nadal wszystko by się zgadzało?

TS: Dokładnie. Ale nic dziwnego, że jak zmieniliśmy eksperyment na przeciwny, to zmieniły się wyniki na przeciwne. Prawda? To jest naturalne.

MT: Zatem problemem jest to, że aby porównywać upływ czasu w różnych układach, to w jednym układzie musi być rząd zegarów (przynajmniej dwa), a w drugim jeden. To jest mało interesujące, bo ja chciałabym porównywać Pana zegarek

z moim, a nie z moim i z zegarem, który względem mnie spoczywa, ale jest gdzieś daleko. Ja przecież o tamtym zegarze nic nie wiem. Może ktoś przy nim coś kombinuje?

TS: No właśnie. I tym sposobem dochodzimy do miejsca, od którego zaczęliśmy. Do paradoksu bliźniąt. Doświadczenie myślowe prowadzące do paradoksu bliźniąt właśnie odpowiada na Pani zapotrzebowanie.

MT: Przypomnijmy zatem to rozumowanie.



TS: Dwoje bliźniaków Krzys i Karolinka spotykają się w jednym miejscu. Mogą zatem ustawić swoje zegarki na te same wskazania. Ustawiają dokładnie tę samą godzinę. Następnie Karolinka

wsiąda do rakiety i leci daleko w kosmos z dużą prędkością. Krzys, który został na Ziemi, widzi, że siostra się porusza, więc stwierdza, że jej zegarek chodzi wolniej od jego zegarka. Karolinka w rakiecie powie jednak coś zupełnie odwrotnego. Widzi ona przecież, że to brat się porusza i w związku z tym to zegarek Krzysia wg niej chodzi wolniej. Ale (jak powiedzieliśmy sobie wcześniej) ponieważ rodzeństwo jest daleko od siebie, to nie mogą porównać swoich zegarków i nie mogą tym samym rozstrzygnąć, kto ma rację. A jedynie takie doświadczenie może takie rzeczy rozstrzygnąć. Oni go przeprowadzić nie mogli! Następnie Karolinka zawraca w kierunku Ziemi i znów leci z dużą prędkością na spotkanie z bratem. Spodziewa się przy tym, że Krzys będzie dużo młodszy od niej. No bo przecież wg niej się poruszał. Krzys spodziewa się zupełnie czegoś odwrotnego. Rodzeństwo spotyka się w końcu w jednym miejscu i przychodzi chwila prawdy. Teraz mogą porównać swoje zegarki albo porównać swój wiek!

MT: No to mamy kłopot. Bo jeden leciał względem drugiego, a drugi względem pierwszego.

TS: No właśnie. Przecież Krzys widział, że Karolinka cały czas się poruszała. A Karolinka widziała, że to Krzys się poruszał. Zatem siostra mówi, że brat jest młodszy, a brat mówi, że to siostra jest młodsza.

MT: To jakaś lipa. Bo teraz każdy ma jeden zegarek. Porównuje się zawsze te same dwa zegarki. Jest pełna symetria. Oboje mają rację. Teoria względności idzie do śmieci, bo prowadzi do sprzeczności. Hura! Newton uratowany!

TS: Nie tak szybko! Jakby Newton był uratowany, to wcale bym się tak nie cieszył. Bo po pierwsze, na marne poszłyby całe moje studia, a po drugie, kilka numerów Młodego Technika. A po trzecie, to zbyt pochopnie stosowaliśmy teorię względności, więc nic dziwnego, że doprowadziliśmy do sprzeczności.

MT: Jak to? Przecież prawa fizyki są takie same we wszystkich układach odniesienia. Pierwszy postulat Einsteina. Sam mi Pan go powiedział.

TS: Ha! Dobry argument. Ale ja tego nie powiedziałem. Przypomnijmy PIERWSZY POSTULAT szczególnej teorii względności:

Prawa fizyki są takie same we wszystkich INERCJALNYCH układach odniesienia.

Kluczowy jest tutaj przymiotnik inercjalny. Układy inercjalne to bardzo trudne pojęcie (wbrew temu co mówi się powszechnie w szkole) i niełatwo je wytułmaczyć. Tym bardziej w kontekście szczególnej teorii względności. Ale dla nas wystarczy jedna własność układów inercjalnych, aby rozstrzygnąć paradoks bliźniąt. **Układy inercjalne to takie układy, które poruszają się ze stałą prędkością względem innych układów inercjalnych.** Zatem jeśli Krzyś znajduje się w układzie inercjalnym (a to jest założenie a priori, bo coś założyć musimy) to wszyscy obserwatorzy, którzy poruszają się względem niego ze stałą prędkością, są w układach inercjalnych.

MT: Czy to rzeczywiście jest takie ważne?

TS: Oczywiście, bo jest rozwiązaniem paradoksu bliźniąt – żadnego paradoksu nie ma. Podróżująca Karolinka nie może być ciągle w układzie inercjalnym. Aby zawrócić, musi przejść do innego układu inercjalnego poruszającego się w drugą stronę. Inaczej nie ma możliwości, aby wróciła na Ziemię. Podczas zwracania przechodzi ona z jednego układu inercjalnego do drugiego.

MT: A skąd wiadomo, że to nie Krzyś zawraca? Przecież siostra mówi, że to ona ciągle stoi, a brat leci tam i z powrotem.

TS: Karolinka ma dowody eksperymentalne, że to ona zmienia układ odniesienia, a nie jej brat. Podczas tej operacji czuje ona bowiem siły bezwładności. Gdyby miała szklankę wody, to widziałaby, że jej poziom zostaje zaburzony. Gdyby wywiesiła wahadło matematyczne, to widziałaby, że zaczyna się dziwnie bujać. Zresztą sama odczuwa te siły. Krzyś nic takiego nie czuje. To jest dokładnie tak samo jak z hamowaniem samochodu. Dopóki samochód jedzie po ulicy ze stałą prędkością, to jest symetria. Osoba stojąca na ulicy mówi, że samochód jedzie, a osoba w samochodzie mówi, że to chodnik jedzie. Jednak gdy tylko samochód zaczyna zawracać albo hamować, to od razu osoba w samochodzie czuje, jak działają na nią siły bezwładności. Osoba na chodniku nic takiego nie obserwuje i widzi tylko, że samochód zmienia swoją prędkość. Na nią nic nie działa!

MT: Zatem Karolinka nie może stosować teorii względności.

TS: Dokładnie. Siostra nie może stosować teorii względności, bo nie jest w układzie inercjalnym. Pierwszy postulat mówi, że prawa fizyki, a zatem prawa szczególnej teorii względności są takie same we wszystkich układach inercjalnych. Nie ma żadnej mowy o układach nieinercjalnych. Zatem tylko Krzyś ma rację. Jak bliźniaki się spotkają, to rzeczywiście Karolinka będzie młodsza.

MT: Czy są na to dowody eksperymentalne?

TS: Oczywiście. Bez nich fizyka nie byłaby fizyką. W fizyce najważniejszy jest eksperyment. On jest ostatecznym sędzią. Eksperyment a la paradoks bliźniąt był wykonany za pomocą dwóch zegarów atomowych, które zostały zsynchronizowane w jednym miejscu. Następnie jeden z nich wsadzono na jeden z najszybszych samolotów i okrążył Ziemię wielokrotnie bez międzylądowania. Tankowanie odbywało się w powietrzu. Ewidencje zegar w samolocie **nie znajdował się w układzie inercjalnym**, bo latał po okręgu. Po wylądowaniu porównano wskazania zegarów. Zegar, który był cały czas na Ziemi, wskazywał później szą godzinę!

MT: Zdumiewające.

A czy jest jakiś sposób, aby całą tę sytuację mogła opisać Karolinka w układzie nieinercjalnym?

TS: Tak. To była zresztą jedna z motywacji Einsteina, aby rozszerzyć szczególną teorię względności na układy nieinercjalne. Można to zrobić w ramach tzw. ogólnej teorii względności. Jest to jednak bardzo trudne i zaawansowane matematycznie. Nie będziemy w ogóle dotykały tego tematu. Dodajmy tylko, że w tej teorii uwzględniony jest również fakt, że prawo powszechnego ciężenia Newtona (o czym w ogóle nie mówiliśmy) jest niezgodne ze szczególną teorią względności. Ogólna teoria względności to nowa teoria, która pozwala opisać ruch w dowolnym układzie odniesienia i uwzględnić oddziaływania grawitacyjne. Ale jak powiedziałem, nic więcej na ten temat nie powiemy.

MT: Zatem znamy już wszystkie wnioski ze szczególnej teorii względności.

TS: Ależ skąd!! W następnym odcinku opowiemy sobie, jak w teorii względności mierzy się odległość i powiemy o nowym zjawisku: SKRÓCENIU DŁUGOŚCI. Powiemy też co to jest linijka w teorii względności i czym się różni Pani linijka od mojej. Serdecznie zapraszam! ●

