



Współczesna szczególna teoria względności

Prezentowane przez: **Johann Rafelski**
Uniwersytet Arizony, Tucson



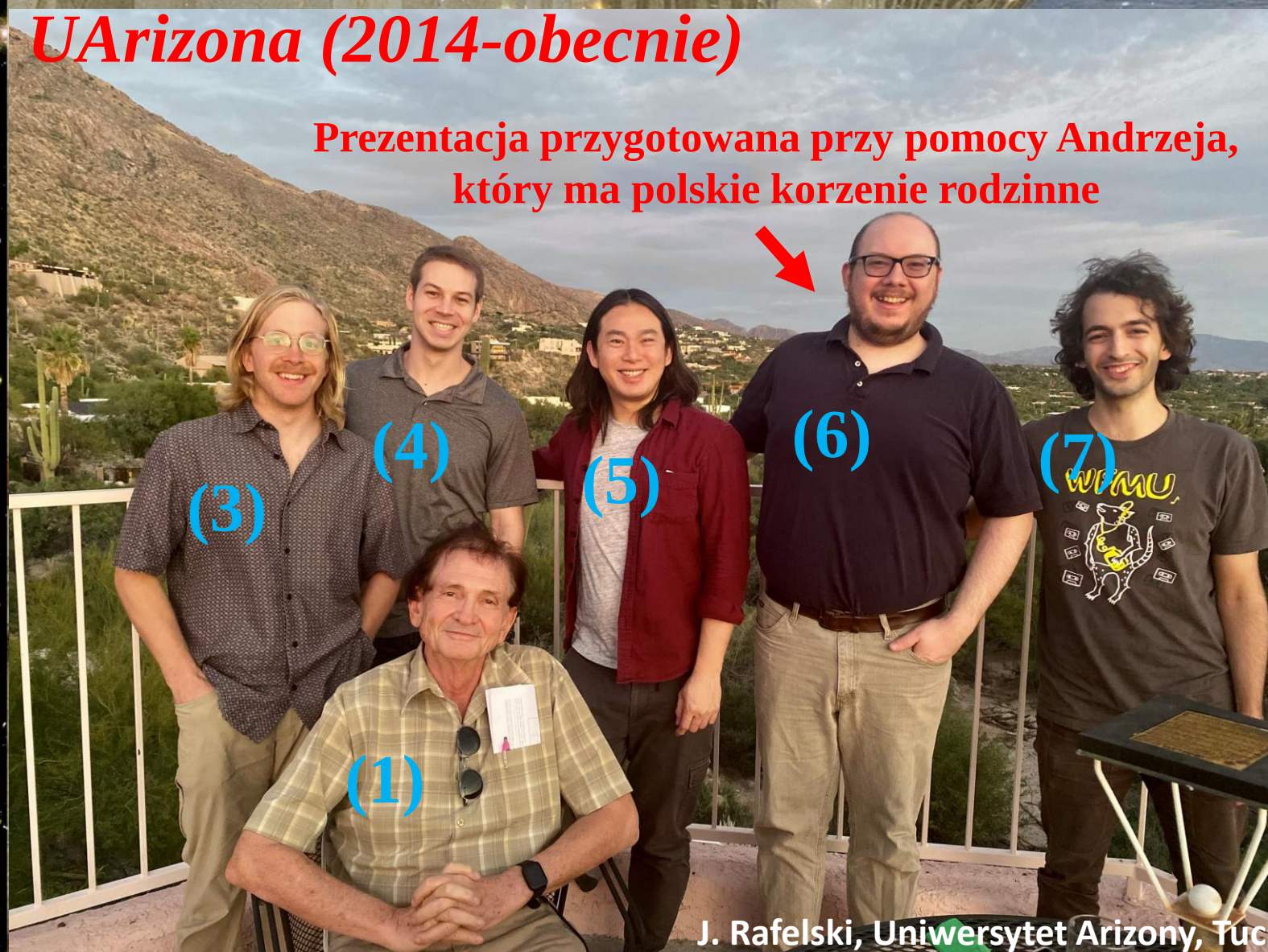
THE UNIVERSITY
OF ARIZONA

Polskie Towarzystwo Fizyczne
Oddział w Katowicach
April 7th, 2022

Grupa badawcza w Tucson, Arizona

UArizona (2014-obecnie)

Prezentacja przygotowana przy pomocy Andrzeja,
który ma polskie korzenie rodzinne



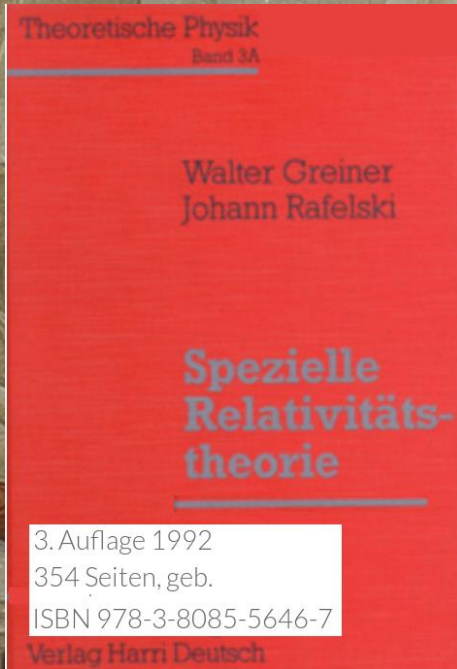
J. Rafelski, Uniwersytet Arizony, Tucson

1. Dr. Johann Rafelski
2. Dr. Martin Formanek
3. Chris Grayson
4. Will Price
5. Cheng Tao Yang
6. Andrew Steinmetz
7. Stefan Evans

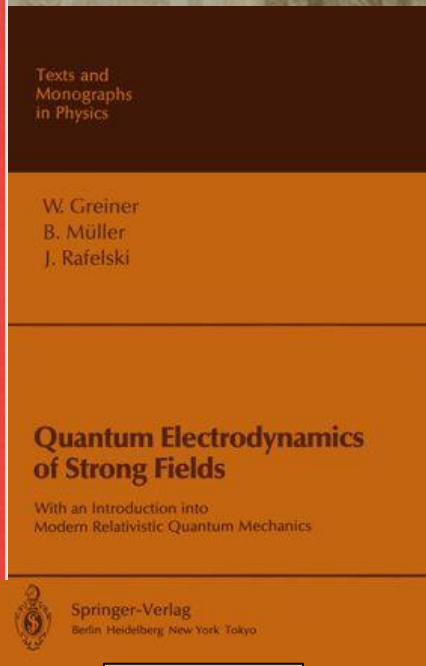
MPI Heidelberg (2021-obecnie)



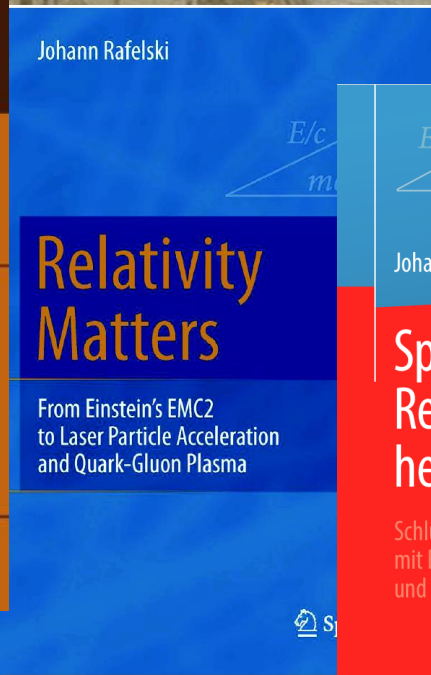
Moje życiowe zainteresowanie szczególnie teorią względności i silnymi polami



(1983-1992)



(1986)

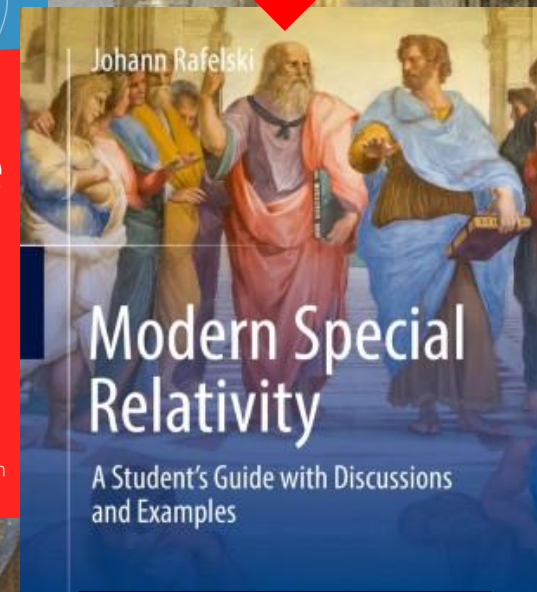


(2006-2016)



(2018)

źródło kluczowych
elementów tej prezentacji



(Marzec 2022)

Czym jest "współczesność" w Szczególnej Teorii Względności?

- Współczesne sposoby nauczania.
- Współczesne osiągnięcia w zrozumieniu pochodzenia materii.
- Książka dostępna dla ucznia opisuje nowe rozumienie jak małe przyspieszenie gromadzi się, aby wygenerować skrócenie ciała i dylatację czasu.
- Eter powraca jako strukturalna próżnia kwantowa.
- Współczesne zastosowania wykorzystania światła do przyspieszania cząstek.
- Perspektywy międzygwiazdnych podróży kosmicznych.



Zakres zmian w ciągu 150 lat od narodzin równan Maxwella, potrzeby dla STW.



"O elektrodynamice ruchomych ciał" A. Einstein, 1905

"Czy bezwładność ciała zależy od jego zawartości energii?" A. Einstein, 1905

3. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper;* *von A. Einstein.*

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen; ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Mag-

13. *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?* *von A. Einstein.*

Die Resultate einer jüngst in diesen Annalen von mir publizierten elektrodynamischen Untersuchung¹⁾ führen zu einer sehr interessanten Folgerung, die hier abgeleitet werden soll.

Jak sugerują tytuły/treści Einsteina, STW dotyczy:

- Elektromagnetyzm • $E = mc^2$
- Skrócenie ciała • Stałość prędkości światła
- Dylatacja czasu

Einstein w 1905 STW wprowadził zasadę względności do EM i zbadał konsekwencje spójności.

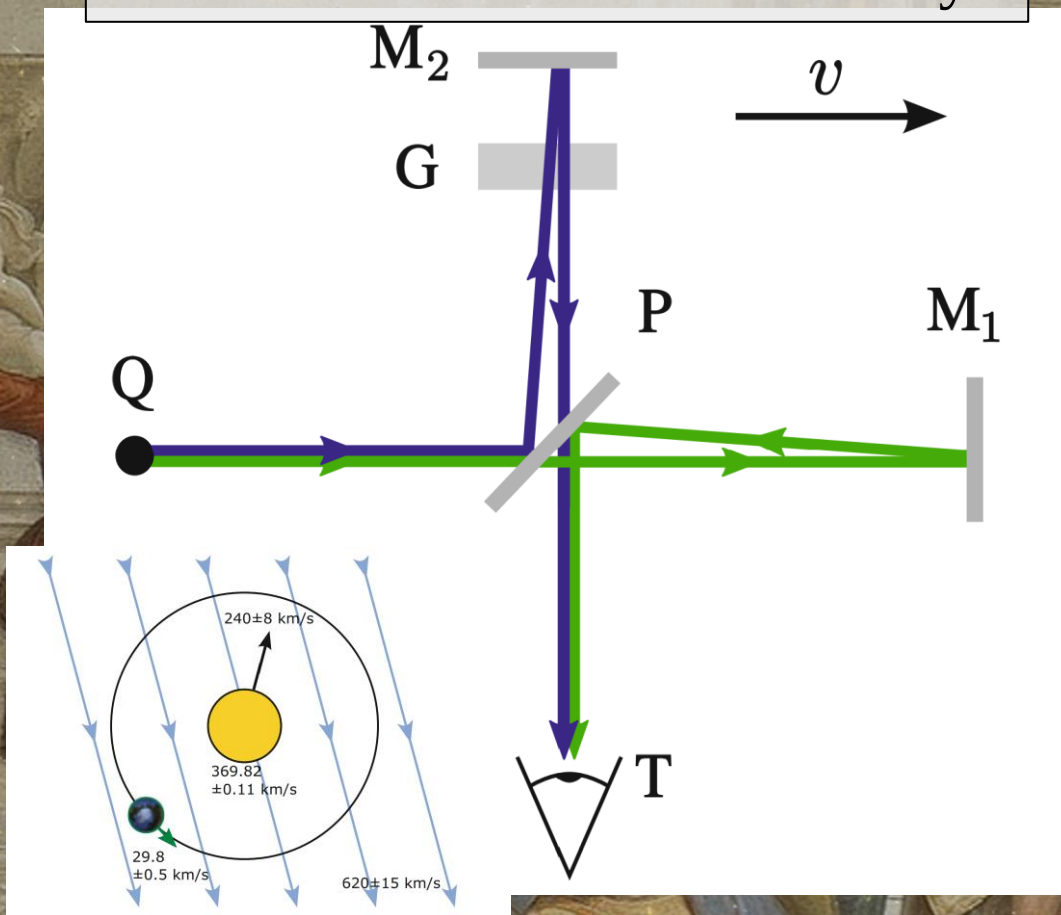
STW nie dotyczy grawitacji i/lub czasoprzestrzeni.

GR →

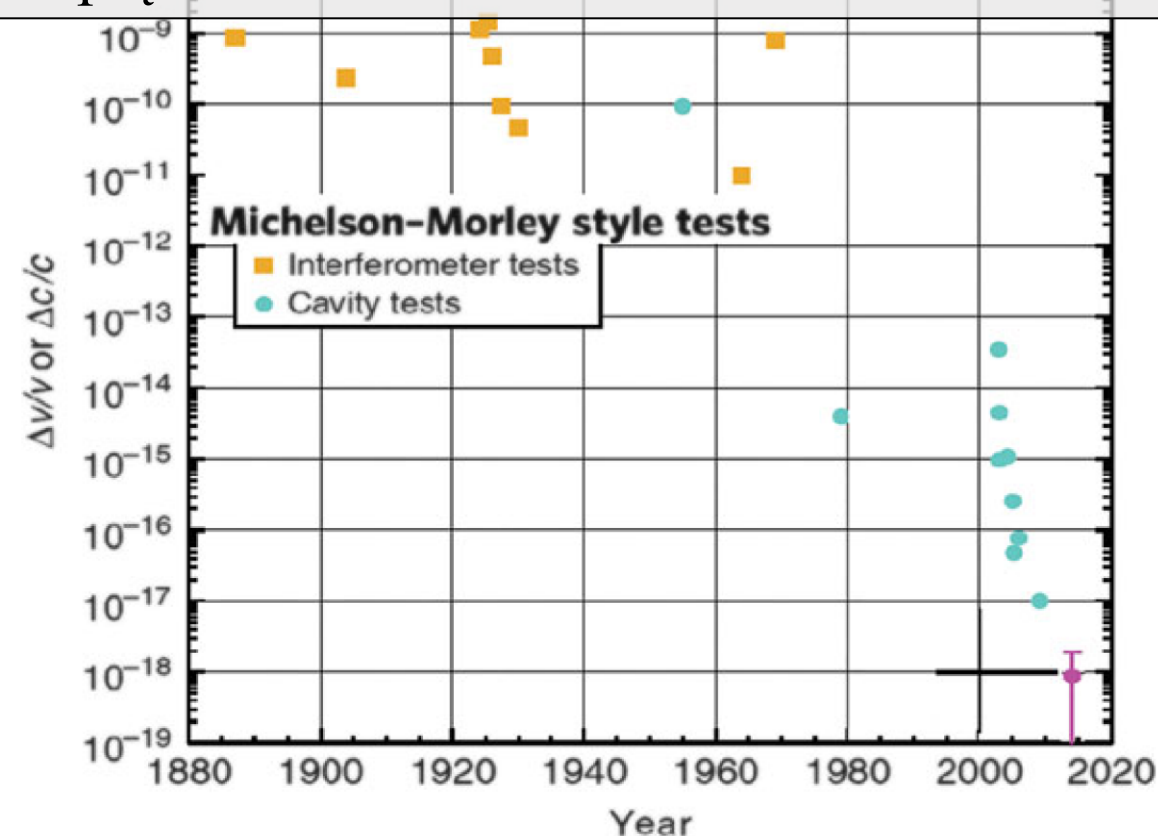


Woda niesie fale wodne, czy coś nie powinno nieść fal świetlnych?

Interferometr Michelsona-Morleya



Brak dowodów na istnienie eteru wrażliwego na prędkość.



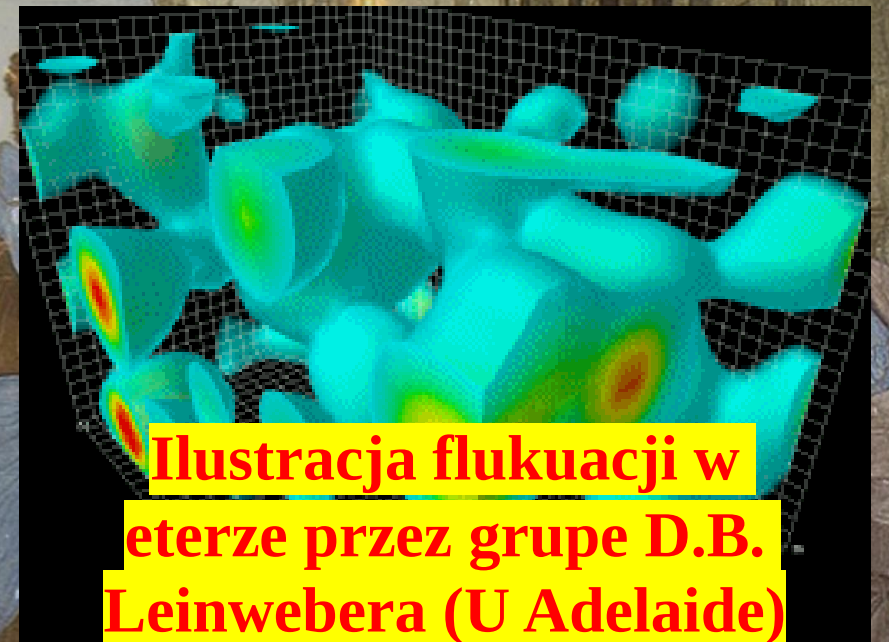
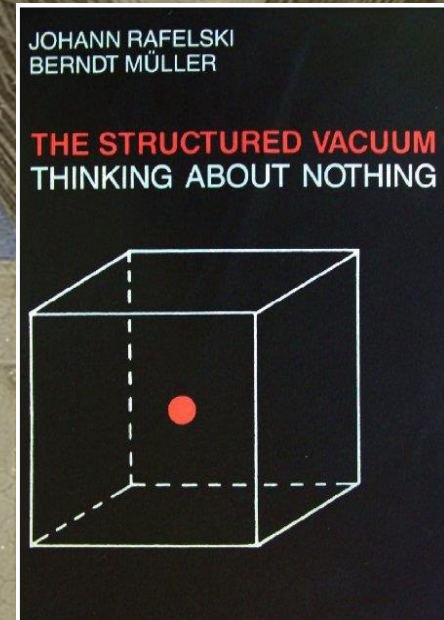
Czternaście lat później (1919/1920): Einstein przywraca eter

“Byłoby bardziej poprawne, gdybym w moich wcześniejszych publikacjach ograniczył się do podkreślania jedynie nieistnienia prędkości etera, zamiast argumentować o całkowitym nieistnieniu etera, ponieważ widzę, że słowem eter nie mówimy nic innego niż to, że przestrzeń musi być zrozumiana jako nośnik cech fizycznych.”

– A. Einstein, 1919 w liście do H. A. Lorentza

Perspektywa:

Dzisiaj współczesne rozumienie eteru jest “strukturalną próżnią kwantową”.



Ilustracja fluktuacji w eterze przez grupę D.B. Leinwebera (U Adelaide)

Klasyczny elektromagnetyzm jest niekompletny!

Mamy dwie oddzielne teorie:

- Biorąc pod uwagę źródła ładunków i prądów, oblicz pola EM.
- Biorąc pod uwagę pola EM, oblicz ruch naładowanych cząstek.

“... nie istnieje całkowite zadowalające zrozumienie reaktywnych skutków promieniowania.”

“... a complete satisfactory treatment of the reactive effects of radiation does not exist.”

– J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics*, s. 781, (1999).

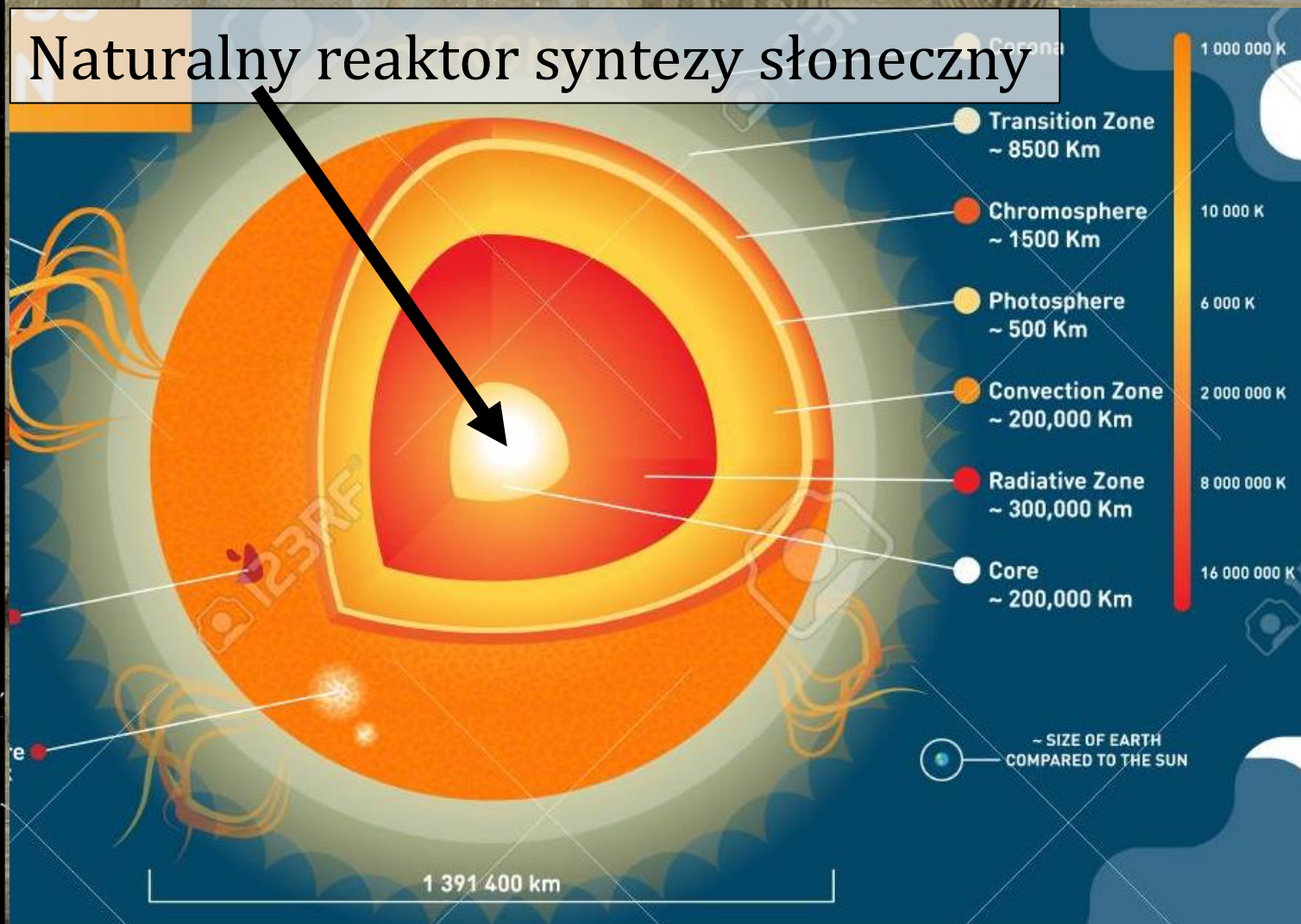
Następuje rozłam, ponieważ przyspieszone ładunki promieniują i tracą energię i pęd, co powinno znaleźć odzwierciedlenie w ich ruchu! Potrzebna jest samospójna reakcja/siła „tarcia”.

Istnieje wiele modeli tarcia radiacyjnego, ale nie ma zasady działania.

Aby rozwiązać problem, musimy połączyć przyspieszenie z STW.

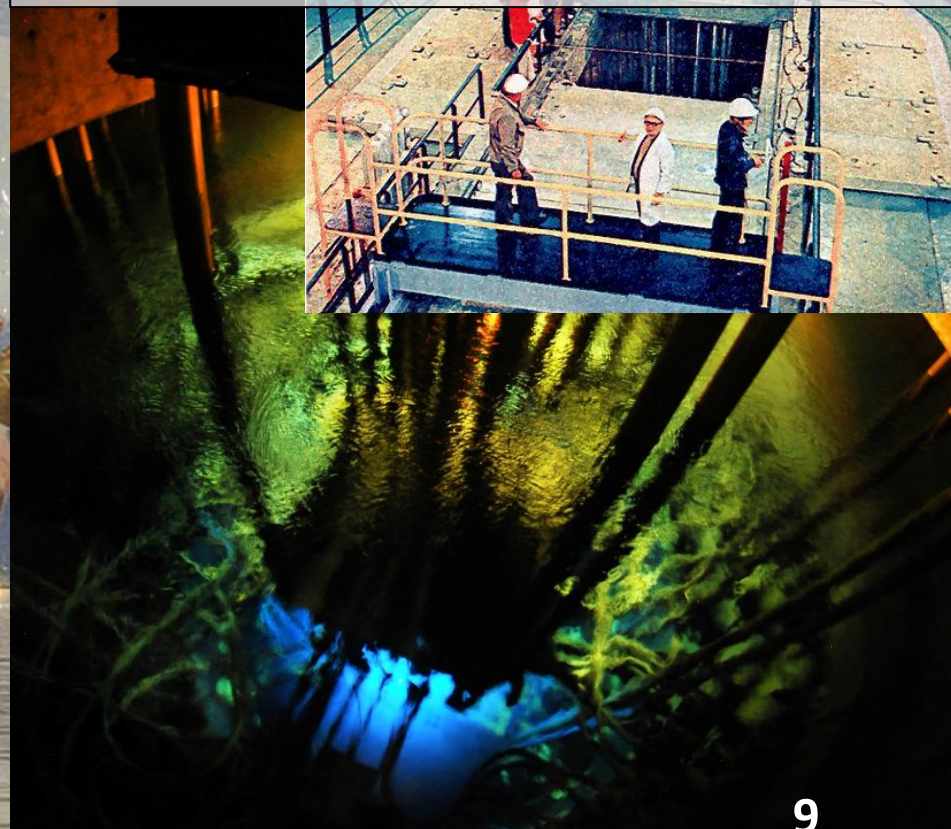
Konwersja materii w energię: $E = mc^2$

Naturalny reaktor syntezy słoneczny



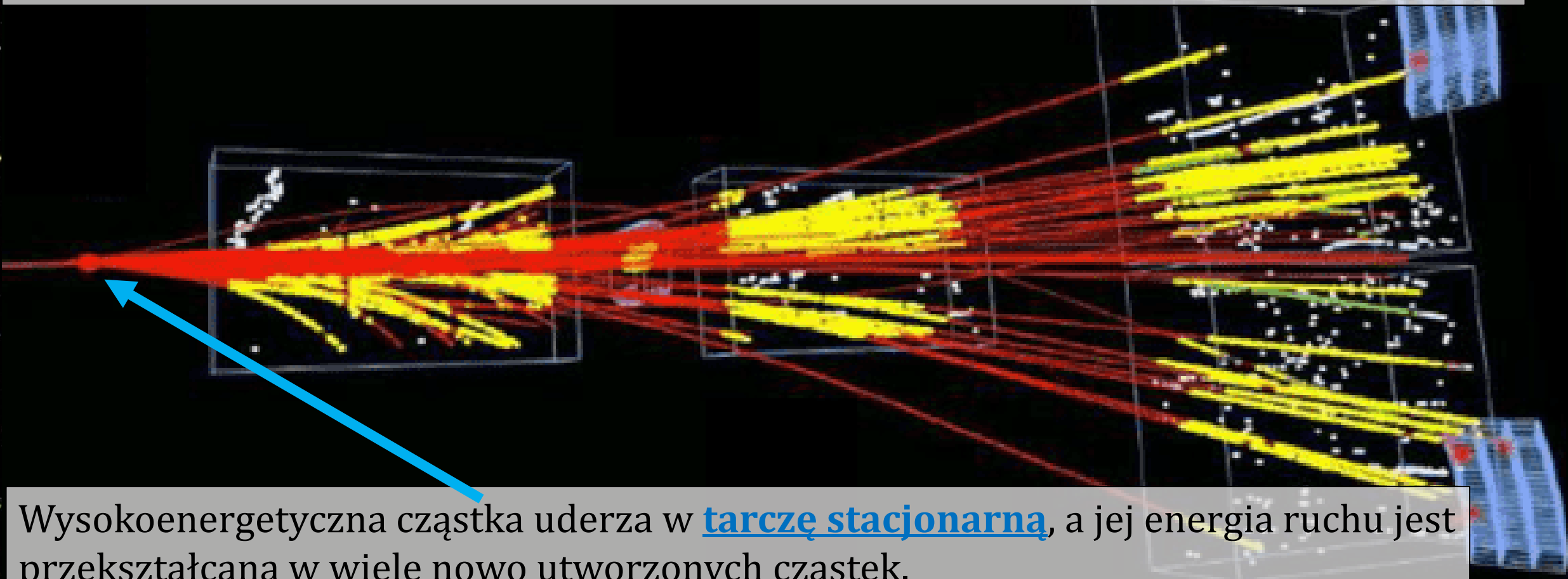
Sztuczny reaktor rozszczepienia

Reaktor Maria w Otwocku-Świerku pod Warszawą



Konwersja energii w materię: $E = mc^2$

NA61/SHINE Collab. (adaptacja z wykładu CERN/Seweryna Kowalskiego)

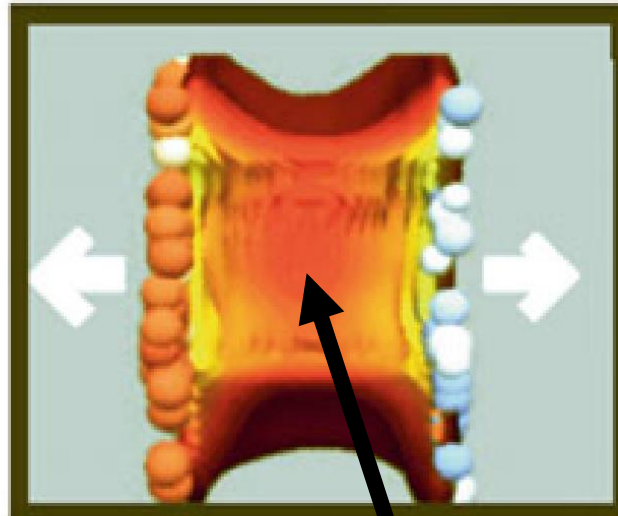
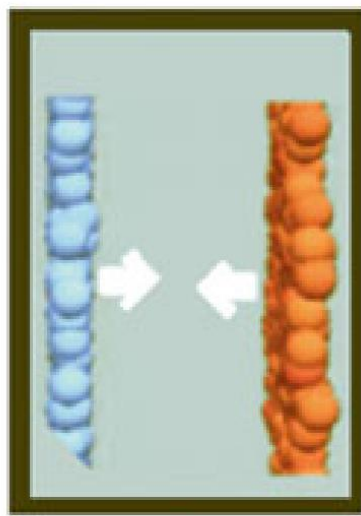


Wysokoenergetyczna cząstka uderza w tarczę stacjonarną, a jej energia ruchu jest przekształcana w wiele nowo utworzonych cząstek.

Skrócenie ciała Lorentza-FitzGeralda i Mechanizm tworzenia materii

Kiedy jądra atomów (lub jakikolwiek obiekt) poruszają się z relatywistyczną prędkością w stosunku do ciebie, stają się ciałem skróconym w kierunku ruchu a więc spłaszczonym jak naleśnik.

Kolidujące jądra zakontraktowane Lorentza to naleśniki.



Tuż po początkowym zderzeniu tworzy się gorąca pierwotna plazma (odtworzająca wczesny Wszechświat)

LETTERS TO THE EDITOR.

**Correspondents are requested to be as brief as possible. The writer's name is in all cases required as proof of good faith.*

The editor will be glad to publish any queries consonant with the character of the journal.

Twenty copies of the number containing his communication will be furnished free to any correspondent on request.

The Ether and the Earth's Atmosphere.

I HAVE read with much interest Messrs. Michelson and Morley's wonderfully delicate experiment attempting to decide the important question as to how far the ether is carried along by the earth. Their result seems opposed to other experiments showing that the ether in the air can be carried along only to an inappreciable extent. I would suggest that almost the only hypothesis that can reconcile this opposition is that the length of material bodies changes, according as they are moving through the ether or across it, by an amount depending on the square of the ratio of their velocity to that of light. We know that electric forces are affected by the motion of the electrified bodies relative to the ether, and it seems a not improbable supposition that the molecular forces are affected by the motion, and that the size of a body alters consequently. It would be very important if secular experiments on electrical attractions between permanently electrified bodies, such as in a very delicate quadrant electrometer, were instituted in some of the equatorial parts of the earth to observe whether there is any diurnal and annual variation of attraction, — diurnal due to the rotation of the earth being added and subtracted from its orbital velocity; and annual similarly for its orbital velocity and the motion of the solar system.

GEO. FRAS. FITZ GERALD.

Dublin, May 2.

Lorentz-FitzGerald skrócenie ciała, 1889

Skrócenie ciała w kierunku ruchu został po raz pierwszy opisany przez FitzGeralda w 1889 roku. Lorentz, raz uświadomiony, nazwał to "Skróceniem ciała FitzGeralda". FitzGerald, który zmarł, zanim STW została w pełni rozwinięta, nie mógł obronić swojego priorytetu.

Przetłumaczenie tekstu FitzGeralda:

“Wiemy, że na siły elektryczne wpływa ruch naelektryzowanych ciał względem eteru i nie wydaje się nieprawdopodobnym przypuszczeniem, że ruch wpływa na siły molekularne i że rozmiar ciała zmienia się w konsekwencji.”

Niektórzy ludzie zaprzeczają fizycznej rzeczywistości szczególnych efektów relatywistycznych. Co to jest "prawdziwe"?

Energia kinetyczna samochodu zależy od układu odniesienia, tak jak pieszy w porównaniu z punktem widzenia kierowcy.



W STW właściwości ciała i upływ czasu zależy od układu odniesienia.

Punkt widzenia ma znaczenie.



Transformacje współrzędnych nie zmieniają ani obiektu obserwowanego ani czasoprzestrzeni

- Transformacje Lorentza pozwalają opisać układy współrzędnych różnych obserwatorów.

“Zbiór” wszystkich możliwych transformacji (obrotów, translacji itp) w pustej czasoprzestrzeni nazywany jest grupą Poincare’a.

Ale bez względu na to, jaką perspektywę przyjmiesz, sam obiekt pozostaje niezmieniony. Transformacje współrzędnych **NIE robią NIC** z obiektem ani z czasoprzestrzenią.



Aby zrozumieć zasady STW,
najlepiej spojrzeć na oryginalną pracę. Dlaczego?

Gra telefoniczna ze skróceniem ciała Lorentza-FitzGeralda:

Oryginalne źródło



FitzGerald

Lorentz

Wszesny podręcznik



Internet



“Ciało jest skrócone.”
Poprawne.

“Długość jest zskrócona.”
Poprawne, ale wymaga kontekstu.

“Odległość jest skrócona”
↓
Mylące.
“Przestrzeń jest skrócona.”
Szmelc!

Zachowaj ostrożność, czytając w Internecie o Szczególnej Teorii Względności

 pl.wikipedia.org/wiki/Szczególna_teoria_względności#Najważniejsze_konsekwencje

Najważniejsze konsekwencje [edytuj | edytuj kod]

Dwa postulaty Einsteina jednoznacznie prowadzą do transformacji Lorentza^[1], a one – do dalszych przewidywań. Jeśli prędkości względne są porównywalne do prędkości światła w próżni (c), to fizyczne wnioski z STW są różne od tych z mechaniki Newtona. Prędkość c jest nieporównywalnie większa niż te, z którymi ludzie się spotykają na co dzień. Dlatego też niektóre konsekwencje szczególnej teorii względności są początkowo sprzeczne z intuicją:

- Względność **jednoczesności** – dwa zdarzenia określone przez jednego obserwatora jako **jednoczesne**, mogą nie być jednoczesne dla innego obserwatora^{[8][9]}.
- **Dylatacja czasu** – czas, jaki mija pomiędzy dwoma **zdarzeniami**, nie jest jednoznacznie określony, lecz zależy od ruchu obserwatora. Odstępy czasowe między zdarzeniami są większe („czas płynie wolniej”), jeśli obserwator się porusza, a nie spoczywa względem ich położenia. Innymi słowy: jeśli zjawisko – zachodzące w jakimś punkcie **przestrzeni** – jest **obserwowane** z układów poruszających się względem tego punktu, to trwa dłużej niż w układzie odniesienia, w którym punkt tego zjawiska spoczywa^{[10][9]}.

Konsekwencją tego zjawiska – w kontekście zawracającego układu inercjalnego – jest **paradoks bliźniąt**. Został sformułowany przez **Langevina**^[potrzebny przypis] i potem był podnoszony przez **Bergsona** jako argument przeciwko STW^[potrzebny przypis].

- **Kontrakcja przestrzeni** lub relatywistyczne **skrócenie długości**, skrócenie Lorentza – odległości między punktami zależą od układu odniesienia. Wszystkie poruszające się przedmioty **obserwuje się** jako krótsze niż wtedy, gdy spoczywają^[1]. Relatywistyczne skrócenie obiektu zawsze wyniesie tyle samo procent dla danej prędkości^[11].

Zjawisko prowadzi do **paradoksu drabiny** – drabina może mieć długość większą niż długość stodoły, ale zmieścić się w tej stodole w całości, jeżeli drabina będzie poruszała się odpowiednio szybko w układzie spoczynku stodoły.

- Relatywistyczne **składanie prędkości**^[1] – prędkości nie transformują się przez dodawanie do i odejmowanie od **względnej prędkości** układów odniesienia. Przykładowo: jeżeli rakieta oddala się od obserwatora z prędkością $2/3 c$ i wysyła pocisk z prędkością $2/3 c$ w układzie swojego spoczynku, to obserwator nie zanotuje prędkości $4/3 c$ ($2/3 c + 2/3 c$), przewyższającej prędkość światła w próżni. W tym przykładzie obserwator widziałby pocisk poruszający się z szybkością $12/13 c$. Podobnie przy dwóch strumieniach cząstek poruszających się z prędkością bliską c – jedno emitowane na lewo od źródła, drugie na prawo – z perspektywy jednych cząstek drugie nie będą uciekały szybciej niż c ^[12].

Konsystencja przekształceń współrzędnych z właściwościami ciała

Transformacje galileuszowe:

$$\begin{aligned}t' &= t & y' &= y \\ x' &= x - v_x t' & z' &= z\end{aligned}$$

Transformacje galileuszowe zapewniają jednoczesność wszystkim obserwatorom.

W przypadku transformacji Lorentza czas się zmienia, więc jednoczesność nie jest zapewniona. Tylko jeden obserwator jest równoczesny.

Transformacje Lorentza (w formie Larmora):

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}} - \frac{v_x}{c^2} x' \quad y' = y$$

- Kiedy $x' = 0$, to t' jest czas zegarowy ciała i mamy dylatację czasu.

$$x' = x \sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}} - v_x t' \quad z' = z$$

- Gdy $t' = 0$, to x' jest obserwowaną długością poruszającego się ciała I mamy skrócenie ciała Lorentza-FitzGerald.

Jednoczesność nie jest chroniona w SR

Wyobraźmy sobie, że dwa wydarzenia występują w tym samym czasie w dwóch różnych miejscach dla jednego obserwatora, tak że

$$\Delta t' = t'_1 - t'_2 = 0$$

Wtedy inny obserwator względnej prędkości zobaczy

$$\Delta t = t_1 - t_2 \neq 0$$

i uwierzy, że te dwa wydarzenia mają miejsce w różnym czasie.

Transformacje Lorentza (w formie Lorentza):

$$\Delta t = \frac{\Delta t' + \frac{v_x}{c^2} \Delta x'}{\sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}}} \quad \Delta x = \frac{\Delta x' + v_x \Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}}}$$

- Jeśli $\Delta t^2 - \frac{\Delta x^2}{c^2} > 0$ to jest dystans „timelike”
- Jeśli $\Delta x^2 - \Delta t^2 c^2 > 0$ to jest dystans „spacelike”
- To pojęcie nigdy się nie zmienia podczas wykonywania transformacji współrzędnych.



Skrócenie ciała Lorentza-FitzGeralda: Czy możemy go bezpośrednio zmierzyć?

Eur. Phys. J. A (2018) 54: 29
DOI 10.1140/epja/i2018-12370-4

Letter

THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A

Measurement of the Lorentz-FitzGerald body contraction

Johann Rafelski^a

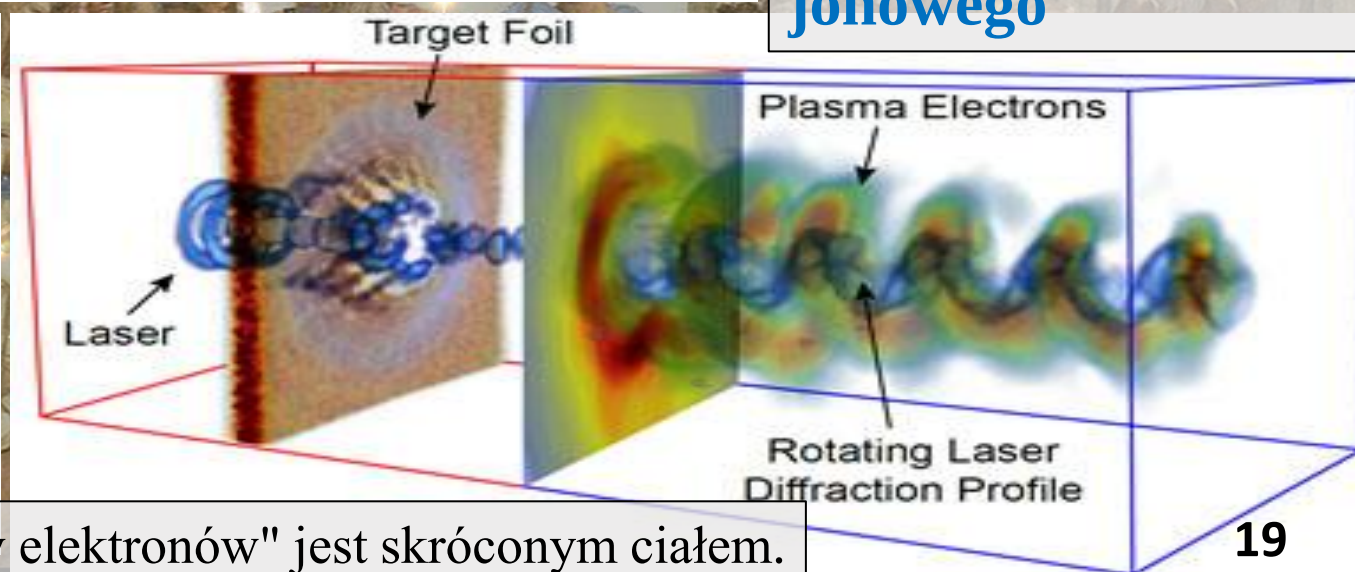
Dedicated to Walter Greiner; October 1935 – October 2016.

Published online: 20 February 2018

Department of Physics, The University of Arizona, Tucson, AZ, 85721, USA

Abstract. A complete foundational discussion of acceleration in the context of Special Relativity (SR) is presented. Acceleration allows the measurement of a Lorentz-FitzGerald body contraction created. It is argued that in the back scattering of a probing laser beam from a relativistic flying electron cloud mirror generated by an ultra-intense laser pulse, a first measurement of a Lorentz-FitzGerald body contraction is feasible.

Rysunek koncepcyjny
akceleratora laserowo-
jonowego



Nagle rozruszone "Ruchome zwierciadło chmury elektronów" jest skróconym ciałem.

Skrócenie ciała Lorentza-FitzGeralda:

Czy pasażer w relatywistycznym pociągu zdaje sobie sprawę, że jest "skróconym ciałem"?

A. Einstein, 1911: "...ale skrócenie ciała Lorentza(-FitzGeralda) istnieje "naprawdę": to znaczy może być zmierzone za pomocą narzędzi fizycznych przez relatywnie nie współporuszającego obserwatora."

"...sie besteht aber "wirklich", d. h. in solcher Weise, daß sie prinzipiell durch physikalische Mittel nachgewiesen werden könnte, für einen nicht mitbewegten Beobachter." - *Physikalische Zeitschrift* 12, s. 509–510 (1911)

J. S. Bell, 1976 (z "Twierdzenia Bella") przywołuje punkt widzenia rzeczywistości Lorentza-Janossy'ego: Za pomocą **przyspieszenia** pasażer przenosi się z jednego inercyjnego układu odniesienia do drugiego. Pozwala to poznać i zmierzyć względne skrócenie.

CERN

1905 March 12

Dear Johann, the only thing I can thoroughly recommend on relativity is my own paper. I enclose a copy. I refer this to the book of Janossy. But it is very long, and insufficiently explicit

that the Einstein approach is perfectly sound, and very elegant and powerful, (but pedagogically dangerous, in my opinion).

Best wishes
John

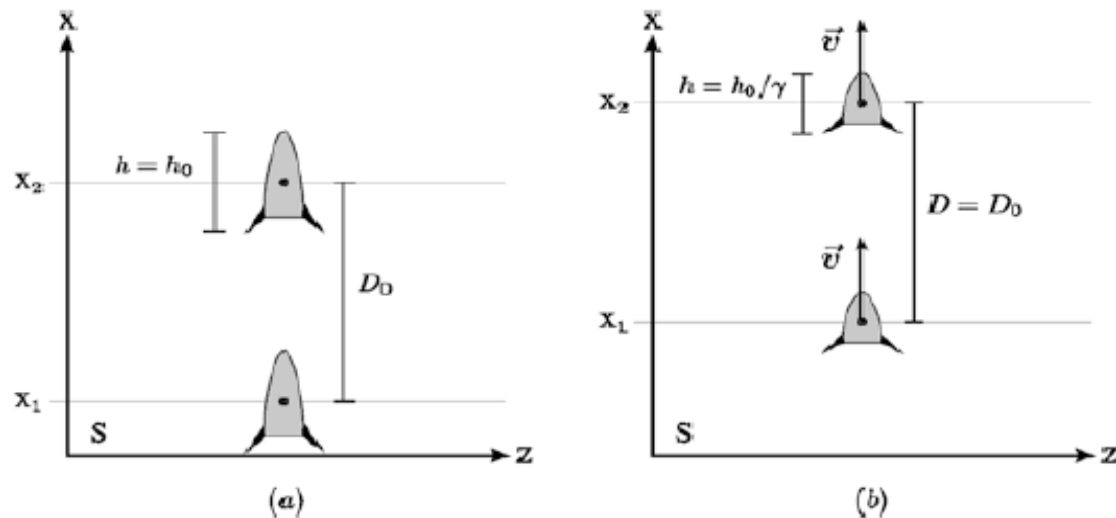


Fig. 10.2 Two rockets of length h separated by distance $D = x_2 - x_1 = D_0$. (a) at rest, and in case (b) moving at velocity $\vec{v}$ acquired at a later time

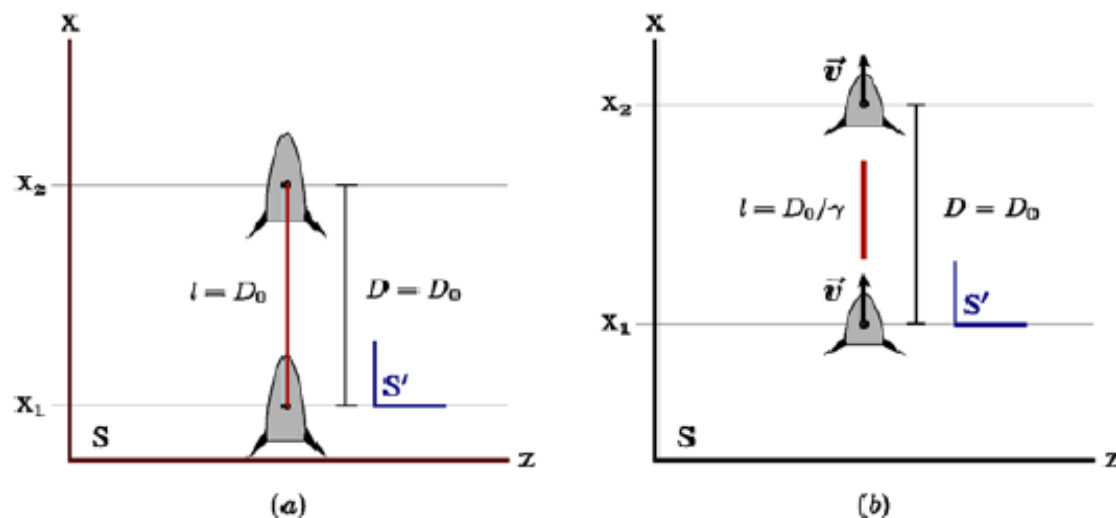


Fig. 10.3 Two rockets separated by distance $D = x_2 - x_1 = D_0$ and connected by a thin thread of (a) at rest, and in case (b) moving at velocity $\vec{v}$ acquired at a later time

Rakiety Bellowe: odległość przestrzenna w stosunku do długości ciała

Jeśli połączysz cienkim sznurkiem dwie rakiety identycznie przyspieszone, każda rakietą i sznurek ma skrócenie ciała.

Cienki sznurek nie poradzi sobie ze stresem i pęknie.

Odległość przestrzenna między rakietami pozostaje jednak niezmienną.

Dylatacja czasu

Jedyną niezależną od obserwatora wielkością czasu jest ten tak zwany niezmiennik Lorentza: Czas własnyściwy τ ciała:

$$c^2\tau^2 - 0 = c^2t^2 - x^2 = c^2t'^2 - x'^2$$

Własny czas ciała ma znaczenie. Powracający podróżny musi się zestarzeć. Dla dwóch samolotów krążących wokół obracającej się Ziemi: Kiedy spotykają się po pełnym okręgu, Ziemia obraca się pod spodem, a jeden podróżuje dalej niż drugi, stąd zegar w samolotach podróżowałby na różne odległości i rejestrował różne upływy czasu. Zauważ, że jeden samolot porusza się z prędkością dodaną do obrotu, podczas gdy drugi porusza się z prędkością odjętą od obrotu.

Eksperyment Hafele-Keating



Around-the-World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains

Abstract. During October 1971, four cesium beam atomic clocks were flown on regularly scheduled commercial jet flights around the world twice, once eastward and once westward, to test Einstein's theory of relativity with macroscopic clocks. From the actual flight paths of each trip, the theory predicts that the flying clocks, compared with reference clocks at the U.S. Naval Observatory, should have lost 40 ± 23 nanoseconds during the eastward trip, and should have gained 275 ± 21 nanoseconds during the westward trip. The observed time differ-

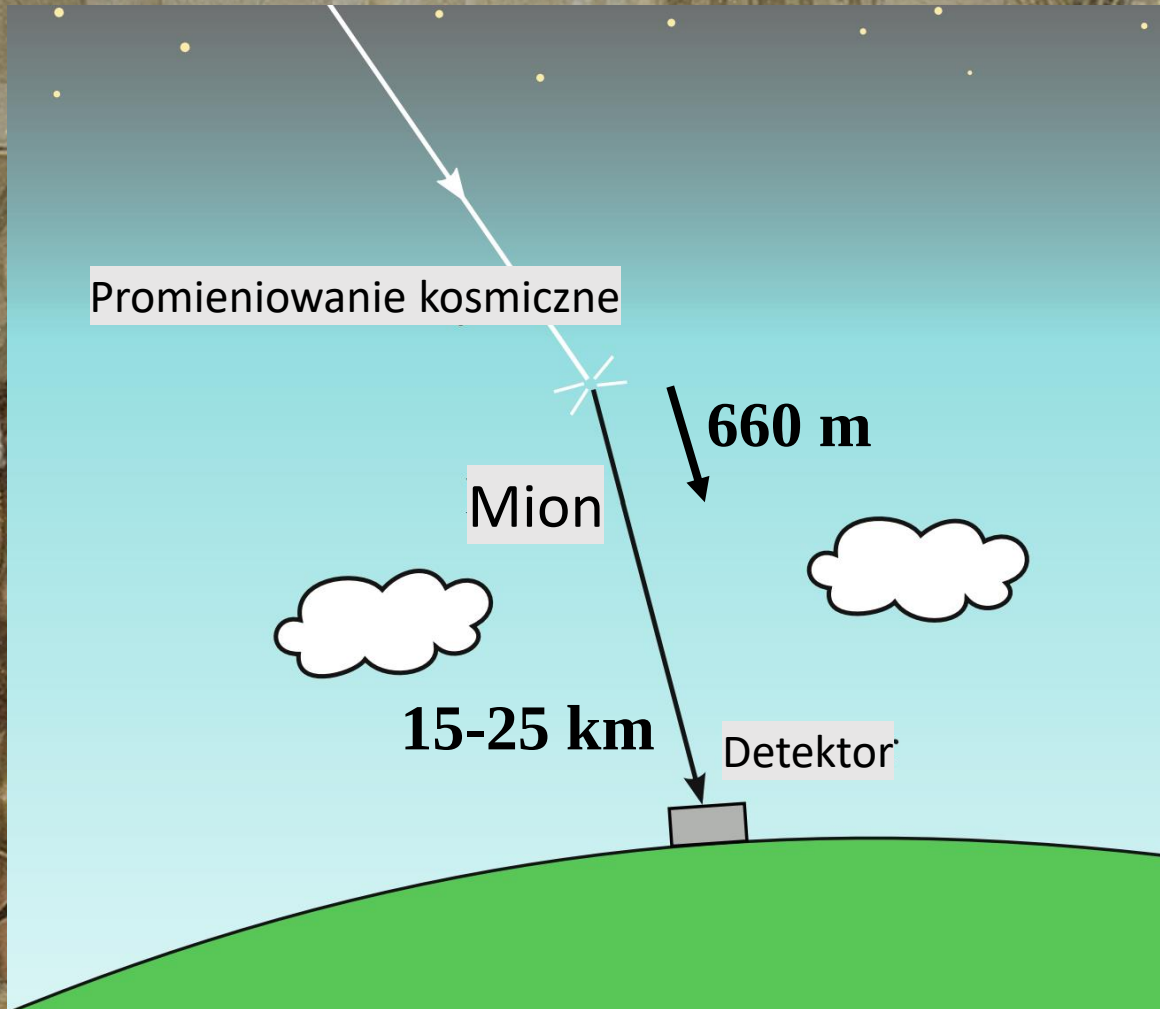
J. C. HAFELE*

Department of Physics, Washington
University, St. Louis, Missouri 63130

RICHARD E. KEATING

Time Service Division, U.S. Naval
Observatory, Washington, D.C. 20390

Dylatacja czasu



Gdy mion jest produkowany w górnych warstwach atmosfery, można by pomyśleć, że powinien on żyć tylko $2,197 \mu\text{s}$ i podróżować około 660 m.

Zamiast tego docierają aż do ziemi. Jak to możliwe?

THE PHYSICAL REVIEW

A Journal of Experimental and Theoretical Physics Established by E. L. Nichols in 1893

VOL. 59, No. 3

FEBRUARY 1, 1941

SECOND SERIES

Variation of the Rate of Decay of Mesotrons with Momentum

BRUNO ROSSI* AND DAVID B. HALL
University of Chicago, Chicago, Illinois
(Received December 13, 1940)

Dylatacja czasu: Zakres cząstek niestabilnych

Wyobraź sobie, że obserwujesz mion w międzygalaktycznej pustej przestrzeni (bez pobliskich gór), aby nie było skurczu ciała LFG czegokolwiek. Korzystając z niezmienniczej właściwej długości życia cząstki i jej względnej prędkości do obserwatora, uzyskujemy odległość przebytą w pustej przestrzeni, jak donosi obserwator.

$$c^2\tau^2 = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) c^2 t^2$$

Dylatacja czasu

$$\frac{E}{mc^2} \approx 39$$

$$v = \frac{x}{t}$$

$$x^2 = c^2 t^2 - c^2 \tau^2$$

$$c^2\tau^2 = c^2 t^2 - x^2$$

**Interval
czasoprzestrzenny**

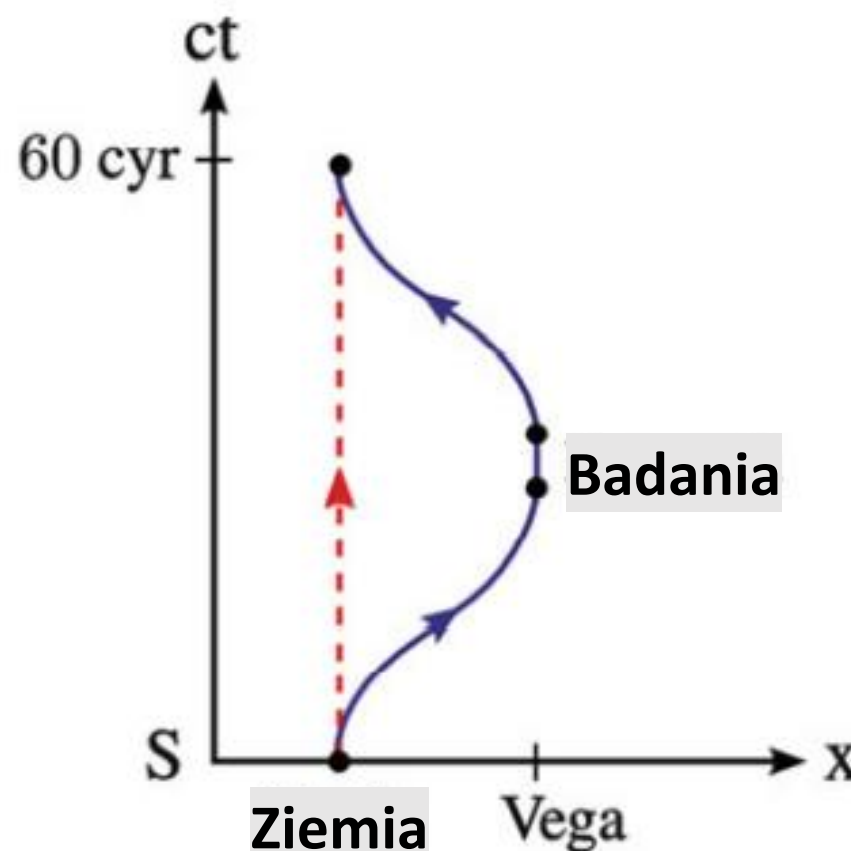
$$x = \frac{\tau v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{(2.197 \mu\text{s})(0.99968c)}{\sqrt{1 - 0.99968^2}} = 26 \text{ km}$$

Mion pokonuje dystans przedłużony faktorem Lorentza na dłuższym dystansie podczas swojego życia τ .

Wycieczka do gwiazd: Podróż do Vega i z powrotem

Dwie drużyny planują wyjazd do gwiazdy Vega. Jednak pierwsza drużyna pozostaje w bazie, podczas gdy druga leci rakieta do Vega.

Zespół rakietowy musi przyspieszyć co najmniej cztery razy aby odwiedzić Vegę i wrócić. Z tego powodu ten zespół rakietowy będzie młodszy niż zespół bazowy.



Zobacz s. 435-436 w
“Modern Special Relativity”

$$\Delta t_E = 54.1 \text{ lat}$$

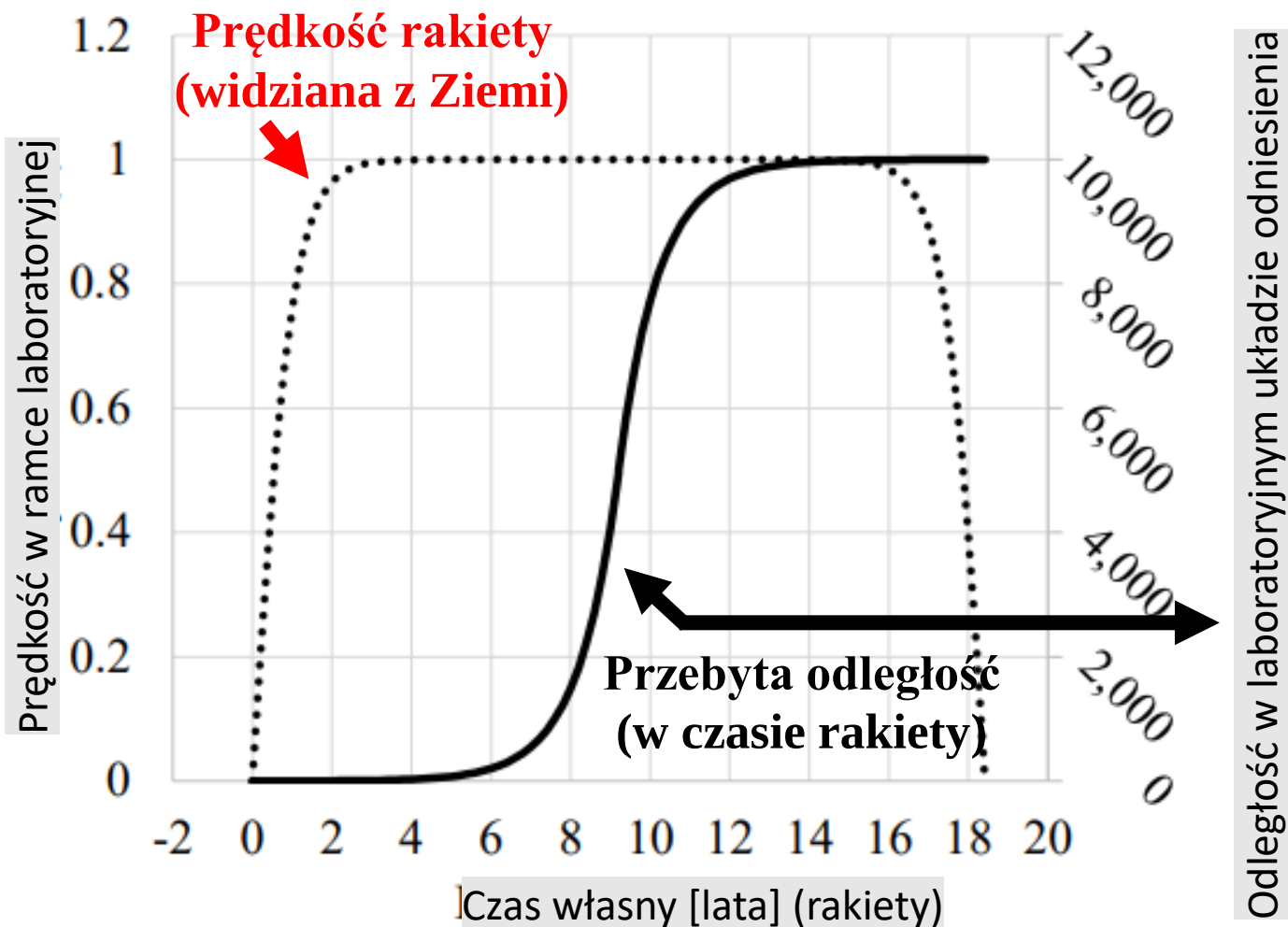
$$\Delta t_T = 13.4 \text{ lat}$$

$$a_T = 1 \text{ g} = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Wyprawa na skraj galaktyki: Podróż w jedną stronę trwająca 10 000 lat świetlnych

Duże przyspieszenie nie jest potrzebne do odwiedzenia gwiazd. Zamiast tego potrzebujemy tylko niewielkiego przyspieszenia w długim okresie czasu.

Rakieta z przyspieszeniem $1g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ może podróżować wiele tysięcy lat świetlnych w ciągu ludzkiego życia.





Nowe badania w STW odbywają się każdego dnia!

PHYSICAL REVIEW D **105**, 016024 (2022)

Radiation reaction and limiting acceleration

Will Price^{✉,*}, Martin Formanek^{✉,†} and Johann Rafelski^{✉,‡}

Department of Physics, The University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA



(Received 9 December 2021; accepted 7 January 2022; published 26 January 2022)

We investigate the strong acceleration properties of the radiation reaction force and identify a new and promising limiting acceleration feature in the Eliezer-Ford-O'Connell model; in the strong field regime, for many field configurations, we find an upper limit to acceleration resulting in a bound to the rate of radiation emission. If this model applies, strongly accelerated particles are losing energy at a much slower pace than predicted by the usual radiation reaction benchmark, the Landau-Lifshitz equation, which certainly cannot be used in this regime. We explore examples involving various “constant” electromagnetic field configurations and study particle motion in a light plane wave as well as in a material medium.

DOI: [10.1103/PhysRevD.105.016024](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.016024)

Świętuję pięćdziesiąt lat opublikowanej pracy w silnych polach i STW

VOLUME 27, NUMBER 14

PHYSICAL REVIEW LETTERS

4 OCTOBER 1971

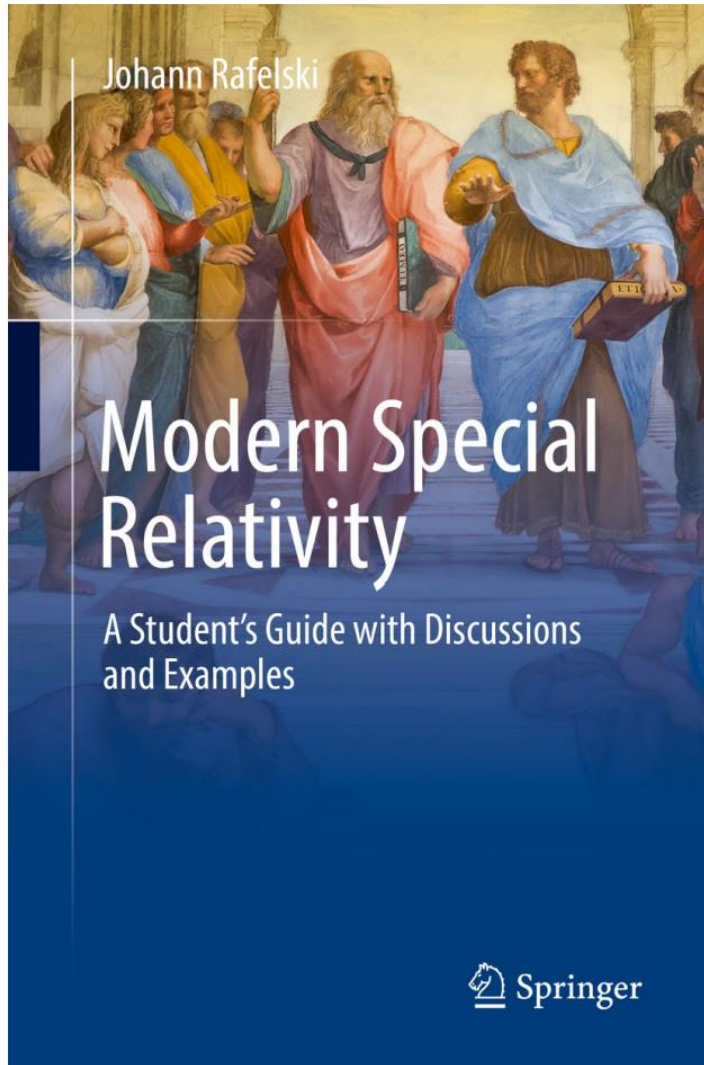
Superheavy Elements and an Upper Limit to the Electric Field Strength*

Johann Rafelski, Lewis P. Fulcher,[†] and Walter Greiner

Institut für Theoretische Physik der Universität Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany

(Received 9 August 1971)

An upper limit to the electric field strength, such as that of the nonlinear electrodynamics of Born and Infeld, leads to dramatic differences in the energy eigenvalues and wave functions of atomic electrons bound to superheavy nuclei. For example, the $1s_{1/2}$ energy level joins the lower continuum at $Z = 215$ instead of $Z = 174$, the value obtained when Maxwell's equations are used to determine the electric field.



Special offer / Get 20% off the printed book or eBook!

Enter the following coupon code at checkout on link.springer.com to apply discount.

Dd027YOAY4NNCX / Valid Mar 28, 2022 – Apr 25, 2022

J. Rafelski

Modern Special Relativity

A Student's Guide with Discussions and Examples

- Designed for students, it provides many solved problems that help master the subject
- The concepts of special relativity are introduced in a clear and simple way, without making use of four-vector formalism
- Presents the existing connections between special relativity and particle, nuclear, and high intensity pulsed laser physics

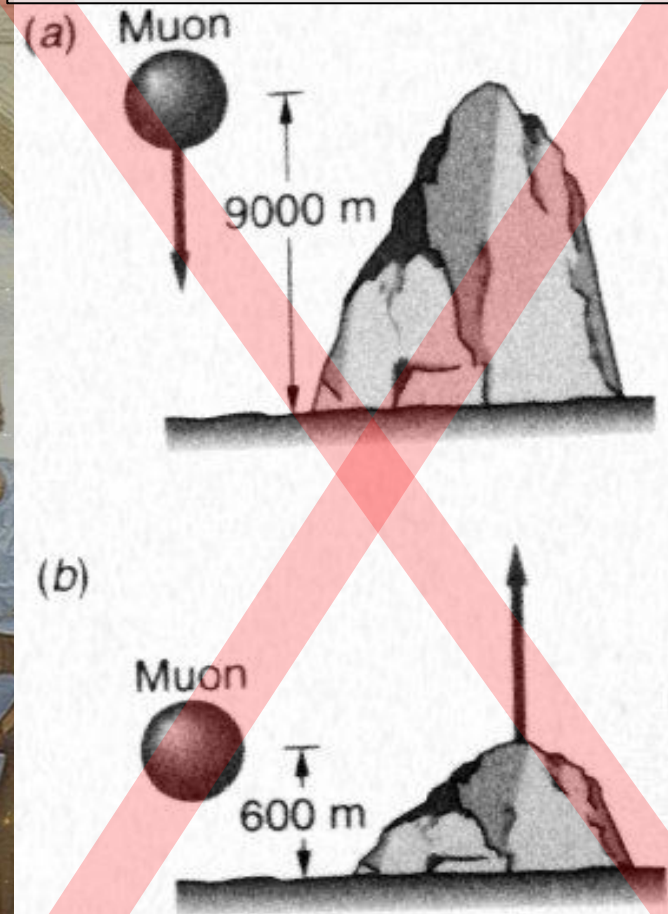
The background of the slide is a reproduction of Plato and Aristotle from Raphael's fresco 'The School of Athens'. The scene is set in a grand classical building with a high vaulted ceiling. Plato, an older man with a long white beard wearing a red robe, points his right index finger towards the sky. Aristotle, a younger man with a dark beard wearing a blue robe, holds his right hand palm-down towards the earth. They are surrounded by other philosophers in various poses and robes. The entire image is overlaid with a subtle pattern of small, glowing golden particles.

Slajdy uzupełniające
(PO ANGIELSKU)

SR teacher facing students

- Books claims Lorentz contraction and time dilation are the same and that one confirms the other. This is wrong.
- Books claim that SR has “paradoxes” or “not real” effects whereas frame-dependant phenomena are well established in other areas of physics.
- Students fact-check you live against internet prophets and their wrong but entertaining videos.
- I think SR is a living and evolving theory while SR is taught as a footnote of GR.

From a serious book that millions of students have used.



Internet Misconceptions: Reinventing Lorentz-FitzGerald body contraction.

- **Many prophets claim space is contracted. NO!**
Before GR (gravity!) nobody would confound the properties of a material body with space-time. SR is flat space-time for everyone.
- **Others say this is distance contraction. What does that mean?**
No free ride! Either causes confusion or leads back to body contraction. A coordinate transformation (measured by physical clocks and rulers) must be consistent with the behavior of material bodies. Coordinate transformation of the body ends, measured at equal time in observers frame, is consistent with the Lorentz-FitzGerald body contraction.
- **Some claim this is an apparent and unphysical contraction. !? !? !?**
Einstein wrote in 1911 explaining that his and Lorentz's views agree: Body contraction is physical and real.

Strong forces imply strong acceleration creating new challenges

Einstein developed SR invoking only inertial observers. The word acceleration does not appear in his 1905 work. Is the Lorentz force complete?

In daily life, all accelerations are far below the natural “unit-1” value of acceleration.

$$a_{cr} = m_e c^2 \frac{c}{\hbar} = 2.33 \times 10^{29} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

This is also the acceleration generated by Schwinger “critical” EM fields:

$$E_{cr} = \frac{(m_e c^2)^2}{e \hbar c} = 1.323 \times 10^{18} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$B_{cr} = \frac{(m_e c^2)^2}{e \hbar c^2} = 4.414 \times 10^9 \text{ T}$$

SR absorbs nano-acceleration setting $\Delta v = a \Delta t$ but Langevin was clear: **Accelerated twins age slower compared to inertial twins.**

Ultra-relativistic electron in a magnetic field of 4.41 T at CERN:

$$a_{CERN} = \left(\frac{e}{m_e} \right) v \times B = 2.33 \times 10^{20} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \sim \text{nano } a_{cr}$$

Maybe acceleration is not what we think: Connecting temperature and acceleration

Strong Fields

Temperature

Acceleration

Interpretation of external fields as temperature

Temperature representation of Euler-Heisenberg action in electric-dominated fields.

Notes on black-hole evaporation

Thermal background (Unruh temperature) experienced by an observer undergoing constant acceleration in a field-free vacuum.

W. H. Unruh

Gravity Swing, Taipei 101, (2012)

B. Müller, W. Greiner, and J. Rafelski. "Interpretation of external fields as temperature." *Physics Letters A* 63.3 (1977)

W. G. Unruh, "Notes on black-hole evaporation." *Physical Review D* 14.4 (1976)

L. Labun and J. Rafelski, "Acceleration and vacuum temperature." *Phys. Rev. D* 86, 041701(R) (2012)

Time dilation requires acceleration which unlike velocity cannot be “removed” by choice of a suitable observer: velocity is “relative,” acceleration is “absolute”

L'ÉVOLUTION DE L'ESPACE ET DU TEMPS

47

tions de la physique doivent conserver leur forme quand on passe de l'un à l'autre. Pour de tels systèmes tout se passe comme s'ils étaient immobiles par rapport à l'éther: une translation uniforme dans l'éther n'a pas de sens expérimental.

Mais il ne faut pas conclure pour cela, comme on l'a fait parfois prématurément, que la notion d'éther doit être abandonnée, que l'éther est inexistant, inaccessible à l'expérience. Seule une vitesse uniforme par rapport à lui ne peut être décelée, mais tout changement de vitesse, toute accélération a un sens absolu. En particulier c'est un point fondamental

L'ÉVOLUTION DE L'ESPACE ET DU TEMPS

49

aura moins vieilli entre son départ et son retour que si elle n'avait pas subi d'accélération, que si elle était restée immobile par rapport à un système de référence en translation uniforme.

On peut dire encore qu'il suffit de s'agiter, de subir des accélérations pour vieillir moins vite; nous allons voir dans un instant combien l'on peut espérer gagner de cette manière.

“...a uniform translation motion in the æther is not experimentally detectable... From this it should not be concluded, as has sometimes happened prematurely, that the æther must be abandoned having no physical reality since it cannot be experimentally probed. Only the uniform velocity relative to the æther cannot be detected, any change of velocity, that is, any acceleration, has an absolute meaning.”

“Concluding, we can say it is sufficient to be set in motion, to experience acceleration in order to age less quickly.”

- Langevin, Scientia X (1911)

Simultaneity is not protected in SR

Imagine if two explosions occur at the same time in two different places for one observer O' so that

$$\Delta t' = t'_1 - t'_2 = 0$$

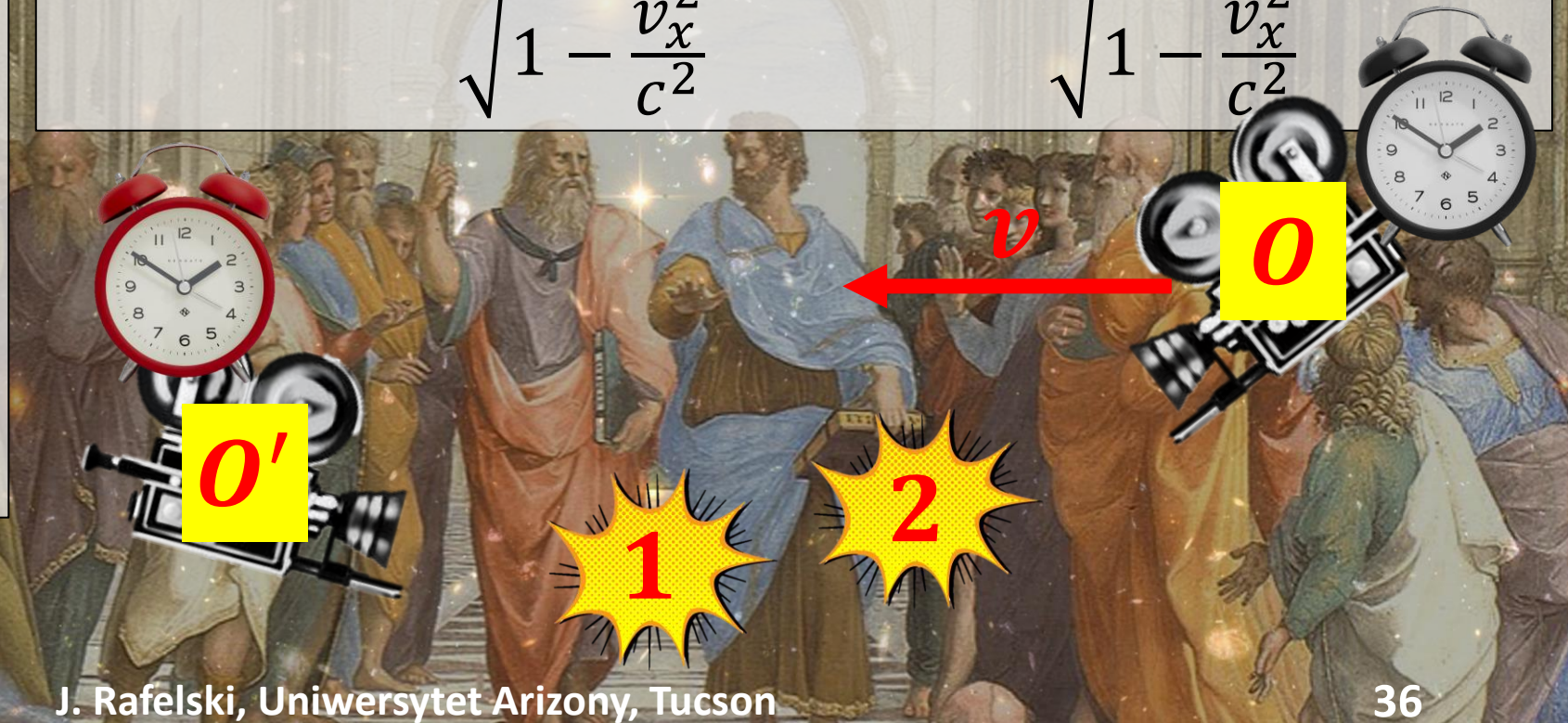
Then another observer O with relative velocity v will see

$$\Delta t = t_1 - t_2 \neq 0$$

And will believe the explosions happen at different times.

Lorentz transformations (in Lorentz form):

$$\Delta t = \frac{\Delta t' + \frac{v_x}{c^2} \Delta x'}{\sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}}} \quad \Delta x = \frac{\Delta x' + v_x \Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}}}$$



Relativistic Doppler effect (RDE):

No relation to time dilation

Time dilation of the source cannot be part of RDE since the relative speed with respect to the yet undetermined observer cannot be known at the time of light emission.

Einstein's 1905 paper works in the following way: The light wave carries to the observer information about the source allowing the determination of the RDE shift in frequency and wavelength and position aberration at the time of actual observation of the light signal.

$$\Phi = \Phi'$$

$$\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{x} = \omega' t' - \mathbf{k}' \cdot \mathbf{x}'$$

Use the Lorentz transformation for $\mathbf{x}'$ and t' to obtain Doppler effect including aberration.

As Einstein's argument is very terse and he presents without detailed calculation, it can be easily misunderstood. von Laue's SR book discussing RDE can also be misread.

~~Beobachter untersucht werden~~ — Durch Anwendung der in § 6 gefundenen Transformationsgleichungen für die elektrischen und magnetischen Kräfte und der in § 3 gefundenen Transformationsgleichungen für die Koordinaten und die Zeit erhalten wir unmittelbar:

$$\begin{aligned} X' &= X_0 \sin \Phi', & L' &= L_0 \sin \Phi', \\ Y' &= \beta \left(Y_0 - \frac{v}{V} N_0 \right) \sin \Phi', & M' &= \beta \left(M_0 + \frac{v}{V} Z_0 \right) \sin \Phi', \\ Z' &= \beta \left(Z_0 + \frac{v}{V} M_0 \right) \sin \Phi', & N' &= \beta \left(N_0 - \frac{v}{V} Y_0 \right) \sin \Phi', \\ \Phi' &= \omega' \left(\tau - \frac{a' \xi + b' \eta + c' \zeta}{V} \right), \end{aligned}$$

wobei

$$\begin{aligned} \omega' &= \omega \beta \left(1 - a \frac{v}{V} \right), & a' &= \frac{a - \frac{v}{V}}{1 - a \frac{v}{V}}, \\ b' &= \frac{b}{\beta \left(1 - a \frac{v}{V} \right)}, & c' &= \frac{c}{\beta \left(1 - a \frac{v}{V} \right)} \end{aligned}$$

gesetzt ist.

Aus der Gleichung für ω' folgt: Ist ein Beobachter relativ zu einer unendlich fernen Lichtquelle von der Frequenz ν mit der Geschwindigkeit v derart bewegt, daß die Verbindungslinie „Lichtquelle–Beobachter“ mit der auf ein relativ zur Lichtquellerruhendes Koordinatensystem bezogenen Geschwindigkeit des Beobachters den Winkel φ bildet, so ist die von dem Beobachter wahrgenommene Frequenz ν' des Lichtes durch die Gleichung gegeben:

$$\nu' = \nu \frac{1 - \cos \varphi \frac{v}{V}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V} \right)^2}}.$$

Dies ist das Doppellersche Prinzip für beliebige Geschwindig-

How did the mix up between time dilation and Doppler effect happen?

Ives and Stilwell in 1938 measure (transverse) Doppler shift claiming they measure time dilation.

Ives–Stilwell experiment

From Wikipedia, the free encyclopedia

https://en.wikipedia.org/wiki/Ives–Stilwell_experiment

The **Ives–Stilwell experiment** tested the contribution of relativistic **time dilation** to the **Doppler shift** of light.^{[1][2]} The result was in agreement with the formula for the **transverse Doppler effect** and was the first direct, quantitative confirmation of the time dilation factor.



Ives–Stilwell experiment (1938). "Ca mostly H_2^+ and H_3^+ ions) were acce

Resnick around 1960 learns using what appears to be garbled translation of von Laue's SR book and relies on the language of Ives-Stilwell. **This is copied in most English language books and is today found all over the internet.**

Further reading on Relativistic Doppler Effect

teaching and education



JOURNAL OF
SYNCHROTRON
RADIATION

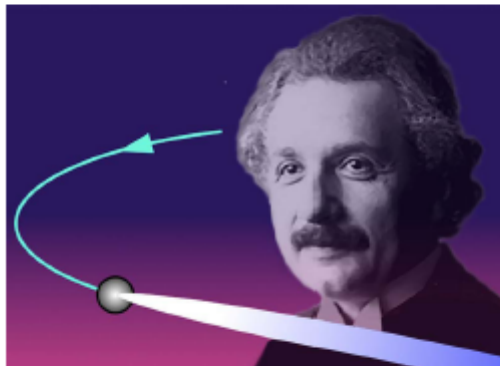
ISSN 1600-5775

Received 4 April 2017

Accepted 24 May 2017

Edited by M. Eriksson, Lund University, Sweden

Keywords: special relativity; Doppler;
time dilation; Lorentz transformation.



OPEN  ACCESS

The relativistic foundations of synchrotron radiation

Giorgio Margaritondo^{a*} and Johann Rafelski^b

^aFaculté des Sciences de Base, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne 1015, Switzerland, and

^bDepartment of Physics, The University of Arizona, Tucson, AZ, USA. *Correspondence e-mail: giorgio.margaritondo@epfl.ch

Special relativity (SR) determines the properties of synchrotron radiation, but the corresponding mechanisms are frequently misunderstood. Time dilation is often invoked among the causes, whereas its role would violate the principles of SR. Here it is shown that the correct explanation of the synchrotron radiation properties is provided by a combination of the Doppler shift, not dependent on time dilation effects, contrary to a common belief, and of the Lorentz transformation into the particle reference frame of the electromagnetic field of the emission-inducing device, also with no contribution from time dilation. Concluding, the reader is reminded that much, if not all, of our argument has been available since the inception of SR, a research discipline of its own standing.



Distinct features of radiation reaction models

LAD

- Requires self-interaction
- Unphysical runaway solutions
- Computationally impossible

Kinematic variables only
 $a^\mu, \dot{a}^\mu$

LL

- Equivalent to LAD in perturbative limit
- Useless for strong accelerations

Field variables only
 $F^{\mu\nu}, \dot{F}^{\mu\nu}$

EFO

- Maximum limiting acceleration.
- Equivalent to LL for weak acceleration.

Kinematic and Fields
 $a^\mu, \dot{F}^{\mu\nu}$

Name	Covariant equation	Year
Lorentz-Abraham-Dirac (LAD)	$ma^\mu = \mathcal{F}^\mu + \tau_0 P_\nu^\mu \frac{d}{d\tau} (ma^\nu)$	1938
Eliezer-Ford-O'Connell (EFO)	$ma^\mu = \mathcal{F}^\mu + \tau_0 P_\nu^\mu \frac{d}{d\tau} (e F^{\nu\alpha} u_\alpha)$	1948, 1991
Landau-Lifshitz (LL)	$ma^\mu = \mathcal{F}^\mu + \tau_0 (e \frac{d}{d\tau} (F^{\mu\nu}) u_\nu + \frac{e^2}{m} P_\nu^\mu F^{\nu\alpha} F_{\alpha\beta} u^\beta)$	1962
Mo-Papas (MP)	$ma^\mu = \mathcal{F}^\mu + e\tau_0 P_\nu^\mu F^{\nu\alpha} a_\alpha$	1971

W. Price, M. Formanek, and J. Rafelski. "Radiation reaction and limiting acceleration". In preparation. (2021)

P. A. M. Dirac, "Classical theory of radiating electrons," Proc. R. Soc. A 167, 148 (1938)

L. D. Landau and E. M. Lifshitz, The Classical Theory of Fields, 2ed, London, England: Pergamon (1962)

S. E. Gralla, A. I. Harte, R. M. Wald. "A Rigorous Derivation of Electromagnetic Self-force." Rev. D80, 024031(2009)