



Zbigniew Osiak

Giganci

Teorii Względności

Linki do moich publikacji naukowych i popularnonaukowych, e-booków oraz audycji telewizyjnych i radiowych są dostępne w bazie ORCID pod adresem internetowym: <http://orcid.org/0000-0002-5007-306X>

Zbigniew Osiak (Tekst)

GIGANCI

(PREKURSORZY, TWÓRCY I PROPAGATORZY)

TEORII WZGLĘDNOŚCI

Małgorzata Osiak (Portrety)

*Zuzi,
mojej wnuczce poświęcam*

© Copyright 2012 by Zbigniew Osiak (text) and Małgorzata Osiak (illustrations)

Wszelkie prawa zastrzeżone. Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji zabronione bez pisemnej zgody autora tekstu i autorki ilustracji.

Portret autora zamieszczony na okładkach przedniej i tylnej
Rafał Pudło

Wydawnictwo: Self Publishing

ISBN: 978-83-272-3359-2

e-mail: zbigniew.osiak@gmail.com

Linki do moich publikacji naukowych i popularnonaukowych, e-booków oraz audycji telewizyjnych i radiowych są dostępne w bazie ORCID pod adresem internetowym:
<http://orcid.org/0000-0002-5007-306X>

SPIS TREŚCI

Strona tytułowa	3
Strona praw autorskich	4
Teoria względności i jej kulisy	6
Teoria względności	7
• Postulaty teorii względności	7
• 30 czerwca 1905 uważany jest za datę powstania szczególnej teorii względności	7
• 25 listopada 1915 uważany jest za datę powstania ogólnej teorii względności	7
• Podstawowe równania teorii względności	7
• Podstawowe wyniki STW	7
• OTW i grawitacja	7
• Podstawowe wyniki OTW	8
• Wybrane testy STW	8
• Wybrane testy OTW	8
• Niefortunna nazwa	8
• Bardzo krótka historia teorii względności	9
• Czy to co zmierzylem jest tym co chciałem zmierzyć?	9
Słowniczek podstawowych pojęć	10
Kulisy teorii względności	12
• Dlaczego Einstein nie był kobietą?	12
• Kto odkrył transformacje Lorentza?	12
• Einstein a Poincaré	12
• Einstein a Hilbert	12
• Einstein a de Sitter	12
• Einstein a Kaluza	12
• Einstein a Friedman	13
• Pechowcy	13
• Szczęściarze	13
• Stchórzyli	14
• Nie dane im było ...	14
• Wielcy fizycy nie czytają prac kolegów	14
Portrety prekursorów teorii względności	15
Portrety twórców i propagatorów teorii względności	39
Albert Einstein	89
• Portret Alberta Einsteina	90
• Notka biograficzna	91
• Główne wyniki	91
Spis prac Einsteina dotyczących STW i OTW oraz jednolitej teorii pola	92
Alfabetyczny spis portretów	115
Chronologiczny spis portretów	119

TEORIA WZGLĘDNOŚCI I JEJ KULISY

TEORIA WZGLĘDNOŚCI

Postulaty teorii względności

Szczególne Teoria Względności (STW) bada wnioski wynikające z założeń, że:

- Maksymalna wartość prędkości rozchodzenia się sygnałów w próżni jest taka sama we wszystkich inercjalnych układach odniesienia.
- Definicje wielkości fizycznych oraz prawa (równania) fizyki można tak sformułować, aby ich ogólne postacie były niezależne od wyboru inercjalnego układu odniesienia.

W Ogólnej Teorii Względności (OTW) powyższe dwa postulaty rozszerza się na dowolne układy odniesienia i dodatkowo przyjmuje się, że:

- Metryka czasoprzestrzeni jest zależna od rozkładu gęstości energii wszelkiej postaci (w tym gęstości energii równoważnej masie oraz ciśnienia).
- Masa inercyjna jest równa masie grawitacyjnej.

30 czerwca 1905 uważany jest za datę powstania szczególnej teorii względności

W tym dniu do redakcji czasopisma *Annalen der Physik* wpłynęła praca Einsteina *Zur Elektrodynamik bewegter Körper (O elektrodynamice poruszającego się ciała)* [praca 1].

25 listopada 1915 uważany jest za datę powstania ogólnej teorii względności

W tym dniu na posiedzeniu Królewskiej Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie Einstein przedstawił pracę *Die Feldgleichungen der Gravitation (Równania pola grawitacyjnego)* [praca 37]. Doniesienie to zakończyło trwający osiem lat etap tworzenia ogólnej teorii względności, zostały w nim podane poprawne równania pola grawitacyjnego.

Podstawowe równania teorii względności

Podstawowymi równaniami w STW są transformacje Lorentza, a w OTW – równania pola. W obu teoriach równania ruchu oraz równania Maxwella zostały zapisane w postaci współzmienniczej. Wymagało to przededefiniowania większości pojęć znanych w fizyce przed powstaniem teorii względności.

Podstawowe wyniki STW

- Analiza pojęcia równoczesności zdarzeń
- Relatywistyczna dylatacja czasu
- Relatywistyczna kontrakcja długości
- Relatywistyczne równania ruchu
- Wzory transformacyjne dla prędkości, pędu, przyspieszenia, siły oraz innych wielkości
- Równoważność masy i energii
- Wzory transformacyjne dla wielkości charakteryzujących pole elektromagnetyczne i jego źródła
- Poprzeczny efekt Dopplera

OTW i grawitacja

W ramach OTW pole grawitacyjne można scharakteryzować dziesięcioma wielkościami będącymi niezależnymi składowymi tensora metrycznego. Wielkości te są rozwiązaniami równań pola Einsteina, które opisują deformacje czasoprzestrzeni spowodowane przez masy, energie i ciśnienia. Swobodne cząstki poruszają się w przestrzeni po torach, którym w czasoprzestrzeni odpowiadają linie geodezyjne. Oddziaływania grawitacyjne nie są siłami!

Podstawowe wyniki OTW

- Grawitacyjna dyfrakcja światła
- Grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni
- Obrót peryhelium planety
- Kołysanie się orbity planety
- Grawitacyjna dylatacja czasu
- Grawitacyjna kontrakcja odległości
- Równania ruchu swobodnej cząstki w zdeformowanej czasoprzestrzeni
- Różne modele kosmologiczne rozszerzającego się wszechświata
- Czarne dziury
- Fale grawitacyjne
- Uogólnione równania Maxwella opisujące wpływ pola grawitacyjnego na przebieg zjawisk elektromagnetycznych

Wybrane testy STW

- Doświadczenie Ivesa-Stilwella (1938 i 1941) – eksperymentalne potwierdzenie poprzecznego efektu Dopplera
- Zjawisko wydłużenia czasu życia poruszających się cząstek elementarnych
- Zjawisko anihilacji pary cząstka antycząstka
- Zjawisko kreacji pary cząstka antycząstka
- Defekt masy
- Reakcja rozszczepienia
- Reakcja termojądrowa (fuzja)

Wybrane testy OTW

- Ugięcie promieni świetlnych przelatujących w pobliżu Słońca
- Obrót peryhelium Merkurego
- Doświadczenie Pounda-Rebki (1960) – pomiar przesunięcia linii widmowych w polu grawitacyjnym Ziemi
- Doświadczenie Shapiro (1964) – wykazanie, że czas przelotu sygnału radarowego na trasie Ziemia-Wenus (Merkury)-Ziemia w pobliżu Słońca jest dłuższy niż czas przelotu z dala od Słońca
- Pośredni (astronomiczny) dowód istnienia fal grawitacyjnych

Niefortunna nazwa

- Teoria względności powinna mieć inną nazwę ze względu na badane w jej ramach zagadnienia. Powinna nazywać się teorią współmienniczości i niezmienniczości.
- Szczególna teoria względności bada współmienniczość równań i niezmienniki w układach inercjalnych w nieobecności pola grawitacyjnego.
- Ogólna teoria względności bada współmienniczość równań i niezmienniki w dowolnych układach odniesienia w obecności pola grawitacyjnego.
- Planck nazwał (1906) teorię Einsteina zasadą względności [[das Prinzip der Relativität](#)].
- Einstein używał nazw zasada względności [[das Relativitätsprinzip](#)] oraz teoria względności [[die Relativitätstheorie](#)].
- W 1914 Einstein wprowadził nazwę ogólna teoria względności [[die allgemeine Relativitätstheorie](#)] dla opracowywanej przez niego ogólnie współmienniczej teorii grawitacji [praca 29].
- W 1916 Einstein zaproponował nazwę szczególna teoria względności [[die spezielle Relativitätstheorie](#)] dla teorii sformułowanej przez niego w 1905 [praca 38].

Bardzo krótka historia teorii względności

- Riemann wprowadził pojęcie wielowymiarowej zakrzywionej przestrzeni (rozmaitości), która może być zdeformowana (ściśnięta lub rozciągnięta) w stosunku do płaskiej przestrzeni.
- Christoffel, Ricci-Curbastro, Levi-Civita i Grossmann stworzyli podstawy rachunku tensorowego, który jest językiem teorii względności.
- Michelson i Eötvös wykonali doświadczenia, których wyniki stanowią potwierdzenie założeń STW i OTW.
- Lorentz znalazł transformacje, względem których równania Maxwella są współzmiennicze.
- Einstein i Poincaré niezależnie od siebie opublikowali prace o STW.
- Należy podkreślić, że Einstein pracując nad STW nie wiedział o doświadczeniu Michelsona i nie znał pracy Lorentza o transformacjach. Uwaga ta nie odnosi się do Poincaré, który zaproponował nazwę transformacje Lorentza, nadając im jednocześnie poprawną postać.
- Minkowski postulował, aby trójwymiarową przestrzeń i czas połączyć w czterowymiarową czasoprzestrzeń. Umożliwiło to zapisanie równań STW w eleganckiej postaci i ułatwiło Einsteinowi sformułowanie OTW.
- Einstein przewidział na podstawie OTW grawitacyjną dyfrakcję, grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni, istnienie fal grawitacyjnych, wyjaśnił anomalny obrót peryhelium Merkurego oraz zaproponował pierwszy model kosmologiczny wszechświata.
- Hilbert niezależnie od Einsteina podał poprawną postać równań pola.
- Eddington przeprowadził obserwacje ugięcia promieni świetlnych, które jednoznacznie potwierdziły słuszność wniosku wynikającego z OTW.
- De Sitter, Schwarzschild, Friedman, Weyl, Tolman, Gödel i Kerr znaleźli dokładne rozwiązania równań pola dla najbardziej realnych przypadków.
- Cartan zauważył, że przestrzeń może ulegać skręceniu. Rozszerzył OTW tak, aby równania pola opisywały wszystkie możliwe deformacje czasoprzestrzeni.
- Kaluza podjął próbę unifikacji grawitacji i elektromagnetyzmu w ramach pięciowymiarowej teorii.
- Hubble odkrył ucieczkę galaktyk, co stanowiło dowód słuszności teorii Friedmana rozszerzającego się wszechświata.
- Penzias i Wilson zarejestrowali mikrofalowe promieniowanie tła, uwiarygodniając tym samym teorię Wielkiego Wybuchu lansowaną przez Lemaître.
- Oppenheimer opisał grawitacyjny kolaps, dało to początek burzliwemu rozwojowi fizyki czarnych dziur.
- Penrose i Hawking przeanalizowali zagadnienie osobliwości w czasoprzestrzeni.
- Guth stworzył teorię inflacji, która wyjaśniała ówczesne problemy związane z Wielkim Wybuchem.
- Einsteinowi zawdzięczamy głęboką, spójną i konsekwentną rewizję pojęć przestrzeni i czasu dokonaną w ramach STW i OTW.

Czy to co zmierzylem jest tym co chciałem zmierzyć?

Teoria względności zajmuje się badaniem wpływu przebiegu zjawiska na akt pomiaru, a mechanika kwantowa – wpływem aktu pomiaru na przebieg zjawiska. Z takiego punktu widzenia są one nierozzerwalnie ze sobą związane i stanowią punkt wyjścia dla powstającej dopiero teorii pomiarów [nie mylić z istniejącą już od dawna teorią błędów pomiarowych]. Przedmiotem badań teorii pomiarów jest odpowiedź na tytułowe pytanie.

SŁOWNICZEK PODSTAWOWYCH POJĘĆ

- **Czarna dziura:**

ciało kuliste, dla którego stosunek masy do promienia jest większy od stosunku kwadratu wartości prędkości światła w próżni do podwojonej wartości stałej grawitacyjnej.

- **Czas własny:**

odstęp czasu między dwoma zdarzeniami, zachodzącymi w tym samym miejscu inercjalnego układu odniesienia, zmierzony zegarem znajdującym się w tym miejscu.

- **Fale grawitacyjne:**

zaburzenia pola grawitacyjnego rozchodzące się w przestrzeni z prędkością o wartości równej wartości prędkości światła w próżni.

- **Gęstość energii:**

wielkość fizyczna mierzona w dżulach na metr sześcienny. Przykładem tej wielkości jest ciśnienie.

- **Grawitacyjna dyfrakcja:**

zjawisko polegające na ugięciu promieni świetlnych przelatujących w pobliżu Słońca lub innej gwiazdy.

- **Grawitacyjna dylatacja czasu:**

zjawisko polegające na tym, że odległość czasowa między dwoma blisko siebie położonymi punktami czasoprzestrzeni jest tym większa, im słabsze jest pole grawitacyjne.

- **Grawitacyjna kontrakcja odległości:**

zjawisko polegające na tym, że odległość przestrzenna między dwoma blisko siebie położonymi punktami czasoprzestrzeni jest tym mniejsza, im słabsze jest pole grawitacyjne.

- **Grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni:**

zjawisko polegające na tym, że widmo światła docierającego do Ziemi, ze źródła znajdującego się na masywnym obiekcie nieruchomym względem Ziemi, jest przesunięte ku czerwieni w stosunku do widma światła emitowanego z identycznego źródła znajdującego się na Ziemi.

- **Grawitacyjny kolaps:**

ciągłe kurczenie się dostatecznie masywnej gwiazdy po wyczerpaniu się w niej wszystkich termojądrowych źródeł energii.

- **Linia geodezyjna:**

najkrótsza linia łącząca dwa punkty w danej przestrzeni.

- **Masa grawitacyjna:**

masa ciała, rozumiana jako miara jego zdolności do oddziaływania grawitacyjnego z innymi ciałami.

- **Masa inercjalna:**

masa ciała, rozumiana jako miara jego bezwładności.

- **Metryka:**

wyrażenie określające odległość między dwoma punktami danej przestrzeni.

- **Niezmiennik danych transformacji:**

wielkość skalarna, której wartość jest taka sama we wszystkich układach współrzędnych należących do zbioru układów o ustalonych własnościach. Wartość niezmiennika nie ulega zmianie po dokonaniu transformacji współrzędnych pozwalających na przejście między tymi układami. W teorii względności podstawowymi niezmiennikami są maksymalna wartość prędkości rozchodzenia się sygnałów, masa oraz ładunek elektryczny.

- **Poprzeczny efekt Dopplera:**

zjawisko polegające na pozornej zmianie częstotliwości źródła światła spowodowanej względnym ruchem obserwatora i źródła w przypadku gdy źródło światła porusza się prostopadle do kierunku obserwacji.

- **Relatywistyczna dylatacja czasu:**

zjawisko polegające na tym, że odstęp czasu między dwoma danymi zdarzeniami zachodzącymi w poruszającym się układzie inercyjnym, zmierzony przez spoczywającego obserwatora zegarami znajdującymi się w jego układzie w miejscach zachodzenia tych zdarzeń, jest większy od czasu własnego. Przy czym, odległość czasoprzestrzenna między tymi zdarzeniami jest dla wszystkich inercjalnych obserwatorów taka sama.

- **Relatywistyczna kontrakcja długości:**

zjawisko polegające na tym, że pomiar długości pręta poruszającego się względem obserwatora daje wynik mniejszy od długości pręta spoczywającego względem obserwatora.

- **Równania pola:**

równania opisujące w OTW metrykę czasoprzestrzeni. Są to równania różniczkowe łączące składowe tensora metrycznego ze składowymi tensora energii-pędu. Rozwiązanie dziesięciu równań pola Einsteina, przy zadanych dziesięciu składowych tensora energii-pędu, polega na znalezieniu dziesięciu składowych tensora metrycznego spełniających te równania.

- **Równanie relatywistyczne:**

równanie, w którym uwzględniony jest wpływ dużych wartości prędkości (porównywalnych z wartością prędkości światła w próżni w układach inercjalnych) na przebieg zjawiska.

- **Równania ruchu:**

równania opisujące ruch cząstki, układu cząstek lub bryły sztywnej pod wpływem działających na nie sił lub momentów sił.

- **Równanie współzmiennicze względem danych transformacji:**

równanie, którego ogólna postać jest taka sama we wszystkich układach współrzędnych należących do zbioru układów o ustalonych własnościach. Inaczej mówiąc, ogólna postać współzmienniczego równania nie ulega zmianie po dokonaniu transformacji współrzędnych pozwalających na przejście między tymi układami.

- **Równoważność masy i energii:**

masie ciała, spoczywającego względem inercjalnego układu odniesienia, równoważna jest energia będąca iloczynem masy i kwadratu wartości prędkości światła w próżni.

- **Tensor energii-pędu:**

tensor drugiego rzędu o dziesięciu niezależnych składowych zawierających informacje o źródłach pola grawitacyjnego.

- **Tensor metryczny:**

tensor drugiego rzędu o dziesięciu niezależnych składowych będących współczynnikami w wyrażeniu określającym kwadrat odległości czasoprzestrzennej dwóch blisko siebie położonych zdarzeń.

- **Tensor n-tego rzędu:**

wielkość, dla określenia której należy podać w czterowymiarowej czasoprzestrzeni 4^n liczb ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) nazywanych składowymi (współzrędnymi) tensora n-tego rzędu. Przy zmianie układu współrzędnych składowe tensora transformują się według ściśle określonych wzorów.

- **Transformacje Lorentza:**

relacje między kartezjańskimi współzrędnymi danego punktu czasoprzestrzeni wyznaczonymi w dwóch różnych inercjalnych układach odniesienia.

- **Układ inercjalny:**

układ, w którym swobodna cząstka pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym wtedy i tylko wtedy, gdy suma działających na nią sił zewnętrznych jest równa zeru.

- **Zdarzenie:**

punkt czasoprzestrzeni.

KULISY TEORII WZGLĘDNOŚCI

Dlaczego Einstein nie był kobietą?

Odpowiedź na to pytanie stanie się jasna, gdy prześledzimy przebieg kariery naukowej rówieśnicy Einsteina, wybitnej matematyczki niemieckiej, jaką była Amalie Emmy Noether (1882-1935).

- Ojcem Emmy był Max Noether (1844-1921), znany matematyk niemiecki, rektor Uniwersytetu w Erlangen. Jego córka, zgodnie z ówczesnie panującym prawem, mogła studiować w latach 1900-1903 jedynie bez matrykulacji, uczęszczając jako wolna słuchaczka na wykłady z lingwistyki i matematyki.
- 1904 przyznano kobietom prawo do studiowania na uniwersytetach.
- W 1919 przyznano kobietom prawo do habilitacji.

Kto odkrył transformacje Lorentza?

- Poprawną postać transformacji nie zmieniających postaci równań Maxwella znaleźli w 1905 niezależnie od siebie Einstein i Poincaré, który nazwał je transformacjami Lorentza.
- Voigt otrzymał w 1887 transformacje, podobne do przekształceń Lorentza, nie zmieniające postaci równania falowego.
- Larmor zaproponował w 1900, cztery lata wcześniej niż Lorentz, relatywistyczne przekształcenia współrzędnych przestrzennych i czasu nie zmieniające postaci równań Maxwella. Przekształcenia podane przez Larmora i Lorentza były identyczne, zawierały ten sam błąd.

Einstein a Poincaré

- Einstein i Poincaré niemal równocześnie sformułowali szczególną teorię względności. Wyniki opublikowali odpowiednio 30 czerwca i 23 lipca 1905.
- Podstawowa różnica między ich pracami polegała na interpretacji wniosków wynikających z transformacji Lorentza. Einstein uważał, że wskutek ruchu układu odniesienia deformacji ulegają czas i przestrzeń. Poincaré twierdził, że deformacje dotyczą ciał materialnych.

Einstein a Hilbert

- 20 listopada 1915 na posiedzeniu Królewskiego Towarzystwa Naukowego w Getyndze Hilbert przedstawił ogólnie współzmiennicze równania pola grawitacyjnego, wyprowadzając je z zasady wariacyjnej.
- 25 listopada 1915 na posiedzeniu Królewskiej Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie Einstein również zaprezentował poprawne równania pola.

Einstein a de Sitter

- 24 czerwca 1916 na posiedzeniu Królewskiej Akademii Nauk w Amsterdamie de Sitter podał powszechnie obecnie stosowaną postać równań pola grawitacyjnego.
- 10 kwietnia 1919 na posiedzeniu Królewskiej Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie Einstein po raz pierwszy wykorzystał równania pola grawitacyjnego w postaci zaproponowanej przez de Sittera.

Einstein a Kaluza

- Kaluza dokonał w 1921 unifikacji pola grawitacyjnego i elektromagnetycznego w ramach pięciowymiarowej przestrzeni. Einstein początkowo odniósł się sceptycznie do koncepcji Kaluzy. Później rozwinął jego pomysł w 10 pracach opublikowanych w latach 1923-1941.

Einstein a Friedman

- Einstein zbyt impulsywnie zareagował na teorię Friedmana. W polemicznej bardzo krótkiej notatce w 1922 stwierdził między innymi:

Wyniki dotyczące niestacjonarnego świata, zawarte w pracy Friedmana, wydają mi się podejrzane. W rzeczywistości okazuje się, że podane w niej rozwiązanie nie spełnia równań pola.

- Kilka miesięcy później w 1923 twórca OTW, odwołał swoje błędne poglądy dotyczące teorii Friedmana:

W poprzedniej uwadze poddałem krytyce pracę wymienioną wyżej. Jednakże moja krytyka, jak się przekonałem z listu Friedmana, dostarczonego mi przez pana Krutkowa, oparta była na błędzie w obliczeniach. Uważam, że wyniki Friedmanna są prawidłowe i przedstawiają nowy świat. Okazuje się, że równania pola dopuszczają na równi ze statycznymi także dynamiczne (tzn. zmienne w czasie) sferycznie symetryczne rozwiązania dla struktury przestrzeni.

- W 1931 Einstein wyznał, że bardziej przykryj pomyłki, niż dotyczącej oceny pracy Friedmana, w swoim życiu nie popełnił.

Pechowcy

- János Bolyai (1802-1860) niezależnie od Łobaczewskiego, ale sześć lat później, odkrył (1832) geometrię nieeuklidesową.
- Larmor zaproponował w 1900, cztery lata wcześniej niż Lorentz, przekształcenia współrzędnych przestrzennych i czasu nie zmieniające postaci równań Maxwella. Poincaré nazwał je w 1905 transformacjami Lorentza.
- Poincaré prawie równocześnie z Einsteinem sformułował szczególną teorię względności, ogłaszając ją w języku francuskim we włoskim czasopiśmie matematycznym.
- Hilbert tydzień wcześniej niż Einstein przedstawił ogólnie współzmiennicze równania pola grawitacyjnego.
- Dlaczego więc za twórcę teorii względności powszechnie uważa się Einsteina? Odpowiedź jest prosta, ten genialny uczony poświęcił tematyce szeroko pojętej teorii względności przez pięćdziesiąt lat około stu pięćdziesięciu prac i wiele książek.
- Johannes Droste (1886-1963), wychodząc z koncepcji Einsteina, że pole grawitacyjne ma charakter tensorowy, zaproponował 30 grudnia 1914 w układzie współrzędnych kartezjańskich postać tensora metrycznego czasoprzestrzeni w przypadku punktowej masy źródłowej. Przedstawił 27 maja 1916 zewnętrzne rozwiązanie próżniowych równań pola Einsteina dla punktowej masy źródłowej. Analogiczne rozwiązanie podał Karl Schwarzschild 13 stycznia 1916. Wyniki Droste'go nie zostały wtedy zauważone.
- Lemaître niezależnie od Friedmana podał pięć lat później (1927) rozwiązanie równań pola Einsteina opisujące rozszerzający się wszechświat. Wyniki opublikował w języku francuskim w belgijskim czasopiśmie.
- Komitet Nagrody Nobla pominął Freda Hoyle'a (1915-2001), gdy nagradzano W. A. Fowlera w 1983 za wkład do pracy zespołu B²FH. [E. Margaret Burbidge, G. R. Burbidge, William A. Fowler, F. Hoyle: *Synthesis of the Elements in Stars*. *Reviews of Modern Physics* **29** (1957) 547-650.]
- Burnell (Susan) Jocelyn Bell (ur. 1943), będąc doktorantką Hewisha, odkryła w 1967 pierwszego pulsara. Za co jej promotor otrzymał w 1974 Nagrodę Nobla z fizyki.

Szczęściarze

- Penzias i Wilson przypadkowo odkryli w 1965 mikrofalowe promieniowanie tła, początkowo sądząc, że rejestrują szumy układu pomiarowego.

Stchórz yli

- Giovanni Girolamo Saccheri (1667-1733), usiłując udowodnić nie wprost postulat o równoległych, otrzymał według niego bardzo dziwne wyniki. Był pierwszym matematykiem, który mógł sformułować geometrię nieeuklidesową w 1733.
- Gauss odkrył geometrię nieeuklidesową, ale nie opublikował wyników w obawie, że nie zostaną zaakceptowane.

Nie dane im było ...

- Riemann, Minkowski, Schwarzschild, Friedman – tym co łączy tych wielkich uczonych, którzy współtworzyli teorię względności, jest przedwczesna śmierć każdego z nich wkrótce po ogłoszeniu ich teorii. Nie dane im było cieszyć się sławą na jaką zasłużyli.

Wielcy fizycy nie czytają prac kolegów

- Wielcy fizycy nie czytają prac swoich kolegów. Mogą zatem więcej czasu poświęcić na niezależne twórcze myślenie, pozostawiając historykom nauki dociekania dotyczące pierwszeństwa dokonania danego odkrycia.
- Einstein nie znał teoretycznych prac Larmora (1900) i Lorentza (1904) o transformacjach współrzędnych przestrzennych i czasu nie zmieniających postaci równań Maxwella a także doświadczalnych prac Michelsona (1881) oraz Michelsona i Morley'a (1887).
- Lemaître niezależnie od Friedmana podał pięć lat później (1927) rozwiązanie równań pola Einsteina opisujące rozszerzający się wszechświat.
- Landau utrzymywał stałe naukowe kontakty z wieloma uczniami i kolegami. Były one dla Lwa Dawidowicza także źródłem informacji. Oryginalna cecha stylu jego pracy polegała na tym, że od 1935 prawie nie czytał sam artykułów oraz książek. Tym niemniej zawsze orientował się we wszystkich nowinkach w fizyce. Wiedzę czerpał z licznych dyskusji podczas wykładów na prowadzonym przez niego seminarium.
- R. A. Alpher i R. C. Hermann oszacowali w 1948 obecną temperaturę mikrofalowego promieniowania tła na około 5 K. [R. A. Alpher & R. Herman: *Evolution of the Universe*. Nature **162**, 4124 (November 13, 1948) 774-775.] Penzias i Wilson, w doniesieniu z 1965 o odkryciu mikrofalowego promieniowania tła, nie zacytowali pracy Alphera i Hermanna. Miesiąc po otrzymaniu przez Penziasa i Wilsona Nagrody Nobla w 1978 Alpher doznał ataku serca.

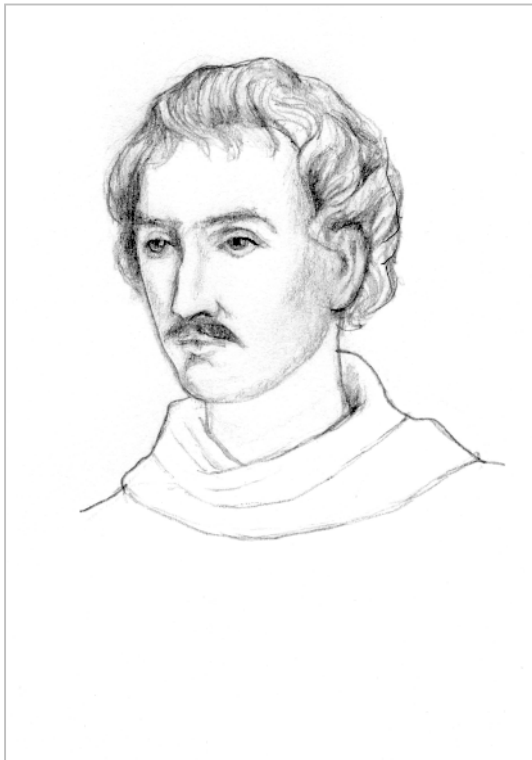
PORTRETY PREKURSORÓW TEORII WZGLĘDNOŚCI

KOPERNIK, Mikołaj (1473-1543), polski astronom, matematyk, ekonomista i lekarz



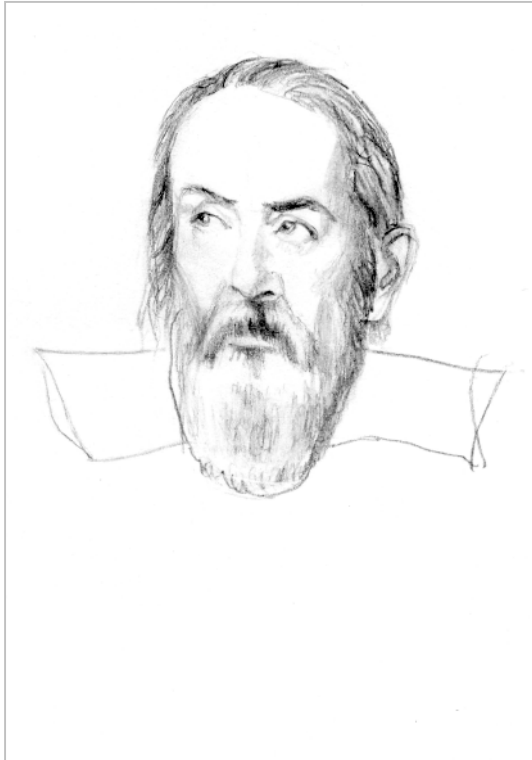
- Zaproponował (1543) do opisu ruchu planet i Słońca układ heliocentryczny.
- Zwrócił jako pierwszy uwagę na względność ruchu i rolę układu odniesienia.

BRUNO, Giordano (1548-1600), włoski filozof



- Wyrokiem Inkwizycji 17 lutego 1600 w Rzymie został spalony na stosie za popieranie poglądów Kopernika.

GALILEI, Galileo [Galileusz] (1564-1642), włoski fizyk, matematyk, astronom i filozof

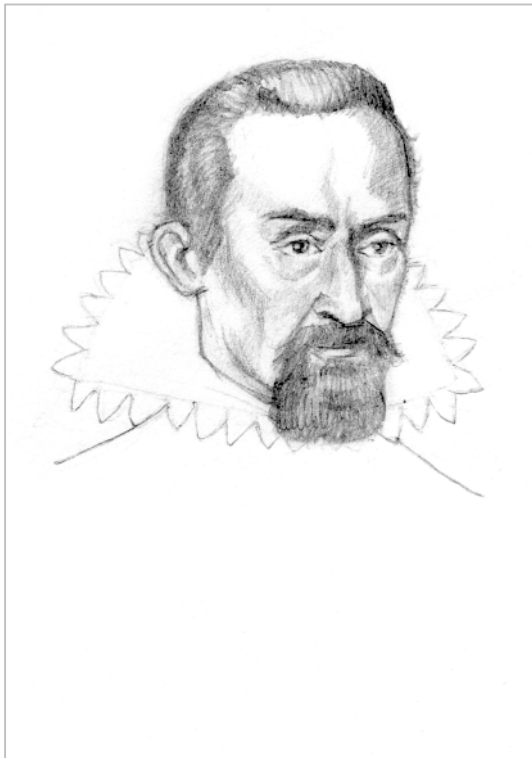


- Sformułował (1632, 1638) zasadę względności.
- Zwrócił uwagę na rolę doświadczenia w fizyce.
- Wyrokiem Inkwizycji został skazany (1633) na bezterminowy areszt domowy za popieranie heliocentrycznej teorii Kopernika.

Zasada względności

W układach inercjalnych wszystkie zjawiska z zakresu mechaniki przebiegają tak samo.

KEPLER, Johannes (1571-1630), niemiecki astronom i matematyk



- Odkrył (1609, 1619) trzy prawa rządzące ruchem planet na podstawie danych obserwacyjnych zebranych przez astronoma Tychona de Brahego (1546-1601), którego był asystentem.

DESCARTES, René du Perron [Kartezjusz] (1596-1650), francuski filozof, fizyk, matematyk i fizjolog



- Przekonywał, że językiem nauki powinna być matematyka.
- Największym jego osiągnięciem było wprowadzenie (1637) pojęcia układu współrzędnych.
- Precyzyjnie sformułował (1644) zasadę bezwładności.

Zasada bezwładności

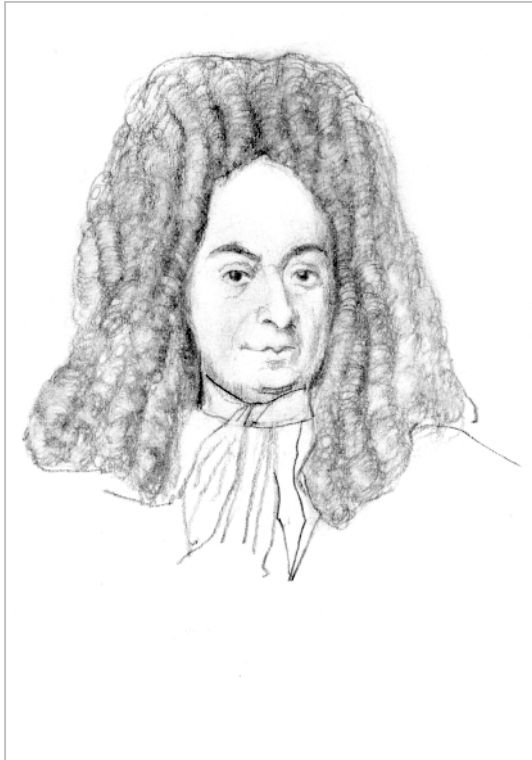
Istnieje układ odniesienia (zwany układem inercyjnym), w którym ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, gdy nie działa na to ciało żadna siła lub siły działające znoszą się.

NEWTON, Sir Isaac (1643-1727), angielski fizyk i matematyk



- Sformułował (1665) prawo grawitacji.
- Stworzył (1687) podstawy mechaniki.

RØMER, Ole (lub Olaus) Christensen (1644-1710), duński astronom



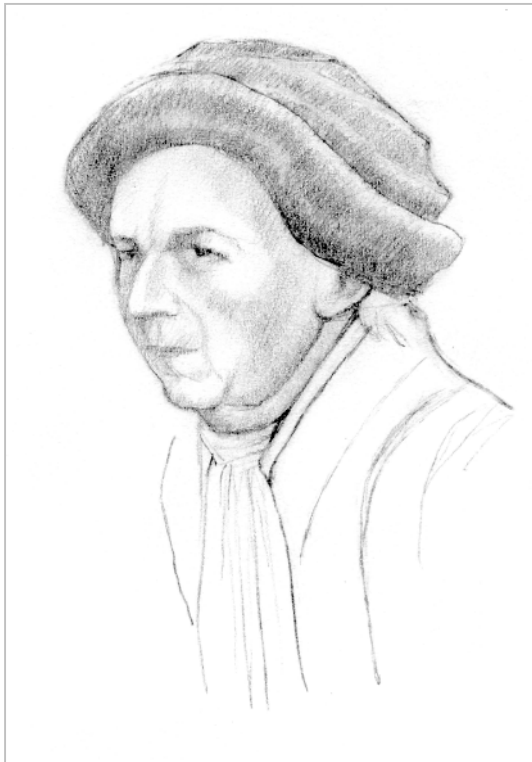
- Na podstawie obserwacji księżyców Jowisza doszedł do wniosku (1675), że prędkość światła ma skończoną wartość.

BRADLEY, James (1693-1762), angielski astronom



- Odkrył (1728) zjawisko aberracji światła gwiazd.
- Obliczył (1728) wartość prędkości światła z pomiaru kąta aberracji jako 10210 razy większą niż wartość orbitalnej prędkości Ziemi.
- Zaobserwował (1728) i opisał (1748) oscylacyjny ruch osi Ziemi, towarzyszący jej precesji, nazywając go nutacją.

EULER, Leonhard (1707-1783), szwajcarski matematyk, fizyk i astronom



- Sformułował na gruncie rachunku wariacyjnego zasadę najmniejszego działania, według której cząstki poruszają się po trajektoriach, wzdłuż których działanie jest najmniejsze.
- Jest jednym z twórców hydrodynamiki (równania Eulera) (1757).

Trzy równania Eulera bilansujące pęd cieczy doskonałej oraz równanie bilansu energii, po odpowiednim uogólnieniu, można zapisać w postaci znikającej dywergencji z tensora energii-pędu. Po znalezieniu tensora krzywizny o znikającej dywergencji, Einstein nadał równaniom pola grawitacyjnego niezwykle elegancką postać.

$$G_{ik} = -\kappa T_{ik}$$

Gdyby Euler nie sformułował wcześniej równań bilansujących pęd cieczy, ktoś inny musiałby to zrobić przed powstaniem OTW.

ALEMBERT, Jean Le Rond d' (1717-1783), francuski matematyk, fizyk, encyklopedysta i filozof

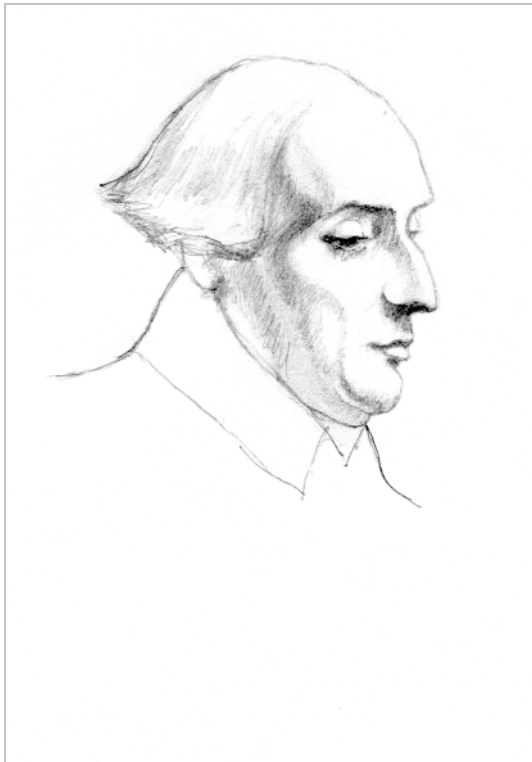


- Sformułował (1743) „zasadę d'Alemberta”, pozwalającą opisywać ruchy ciał z więzami. Rola więzów ruchu może okazać się nader istotną w OTW.
- Z jego nazwiskiem związany jest operator d'Alemberta (d'Alembertjan).

Ciekawostki

- Był nieślubnym dzieckiem markizy de Tencin i hrabiego Destouches-Canon. Wychowywał się w rodzinie zastępczej, pod dyskretną opieką swego biologicznego ojca.

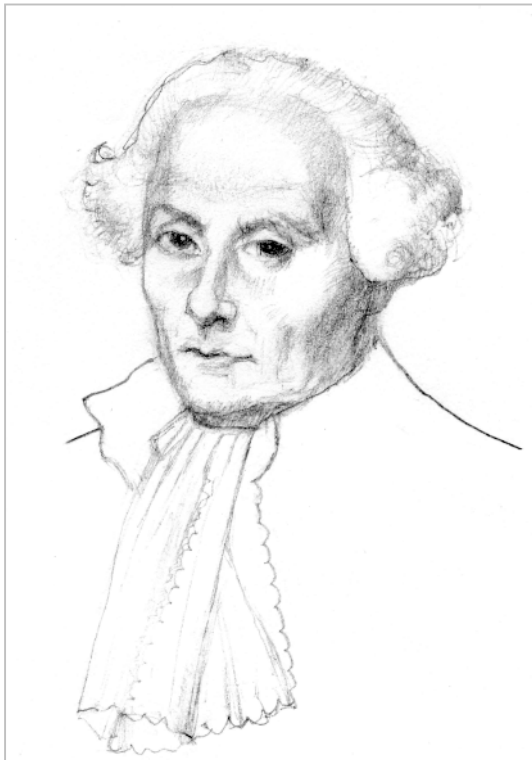
LAGRANGE, Joseph Louis de (1736-1813), francuski matematyk



- Stworzył (1788) mechanikę analityczną – równania Lagrange’a (funkcja Lagrange’a, lagranżjan).
- Rozwinął rachunek wariacyjny.
- Badając problem trzech ciał, znalazł pięć punktów leżących w płaszczyźnie orbity ziemskiej (zwanymi punktami Lagrange’a) takich, że satelita umieszczony w dowolnym z tych punktów będzie obiegał Słońce w płaszczyźnie orbity ziemskiej w ciągu roku.

Bez prac Lagrange’a, Hamiltona, Jacobiego nie pojawiłyby się eleganckie sformułowania STW i OTW, startujące z zasady najmniejszego działania, jakie można znaleźć u Plancka, Hilberta oraz w wyrafinowanej postaci w kultowym podręczniku Landaua i Lifszica – „Teoria pola”.

LAPLACE, Marquise Pierre Simon de (1749-1827), francuski astronom, fizyk i matematyk



- Zawdzięczamy mu między innymi: operator Laplace’a (laplasjan) związany z pojęciem potencjału (1785) i wzór na rozwinięcie Laplace’a wyznacznika według wierszy lub według kolumn.
- Potencjał pola elektrycznego (grawitacyjnego) poza obszarem źródłowych ładunków (mas) spełnia równanie Laplace’a.
- Uważany jest za twórcę naukowej kosmologii.

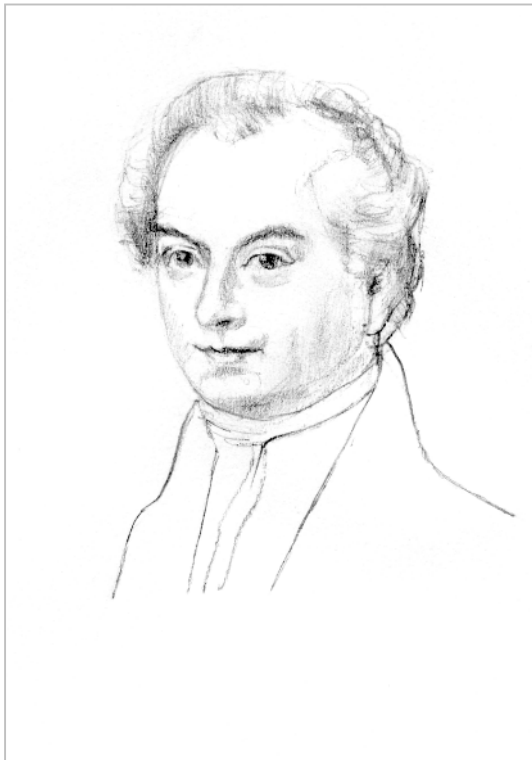
LEGENDRE, Adrien Marie (1752-1833), francuski matematyk



- Wprowadzone przez niego wielomiany są niezwykle przydatne przy rozwijaniu funkcji w szeregi potęgowe.

Potencjał pola elektrycznego (grawitacyjnego), którego źródłem jest dowolny rozkład ładunków (mas), można przedstawić w postaci szeregu zawierającego człony: monopolowy, dipolowy, kwadrupolowy, oktopolowy itd.

OLBERS, Heinrich Wilhelm Matthias (1758-1840), niemiecki astronom i lekarz



- Sformułował (1826) paradoks fotometryczny, zwany paradoksem Olbersa: „Skoro wszechświat jest statyczny, jednorodny i nieskończony w czasie i przestrzeni, to dlaczego niebo w nocy jest ciemne?”.

Paradoks ten został rozwiązany dopiero prawie sto lat później w ramach teorii rozszerzającego się wszechświata Friedmana i bazującej na niej hipotezie Wielkiego Wybuchu. Niebo w nocy jest ciemne, ponieważ wiek wszechświata jest skończony i światło z odległych gwiazd jeszcze nie zdążyło dotrzeć do nas, a ponadto jego widmo jest przesunięte ku czerwieni. Olbers próbował wytłumaczyć go, przyjmując, że materia międzygwiazdna pochłania zdążające ku Ziemi światło.

Ciekawostki

- Szwajcarski astronom Jean-Philippe Loys de Chéseaux (1718-1751) sformułował paradoks ciemnego nieba nocnego już w 1774.

YOUNG, Thomas (1773-1829), brytyjski fizyk i lekarz



- Jest jednym z twórców optyki falowej. W szczególności wykazał, że światło jest falą poprzeczną.

GAUSS, Carl Friedrich (1777-1855), niemiecki matematyk, fizyk i astronom



- Z wielu dokonanych przez niego odkryć w dziedzinie matematyki i fizyki wymienimy choćby powszechnie znane i stosowane twierdzenie Gaussa” (1813) umożliwiające zamianę całek powierzchniowych na objętościowe oraz „prawo Gaussa” (1839).
- Wprowadził (1827) współrzędne krzywoliniowe.

Z prawa Gaussa wynika, że wewnątrz jednorodnej kuli bezwzględna wartość natężenia pola grawitacyjnego rośnie liniowo wraz z odległością od centrum, gdzie jest równa zero.

W centrum jednorodnej czarnej dziury nie ma pola grawitacyjnego!

Ciekawostki

- Gauss nazywany jest księciem matematyków.
- Gauss odkrył geometrię nieeuklidesową, ale nie opublikował wyników w obawie, że nie zostaną zaakceptowane.

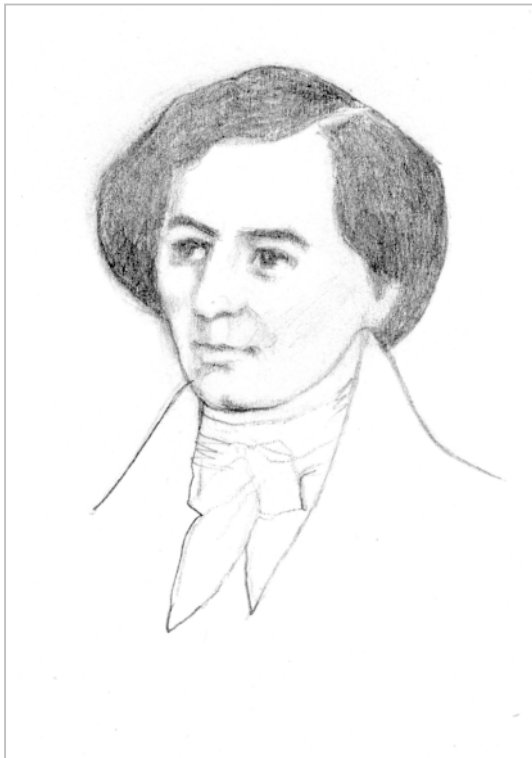
POISSON, Siméon Denis (1781-1842), francuski matematyk i fizyk-teoretyk



- Zastosował (1811) matematyczną teorię potencjału w elektrostatyce oraz rozszerzył ją (1813) w teorii grawitacji na przypadek wewnątrz źródłowych mas – równanie Poissona.

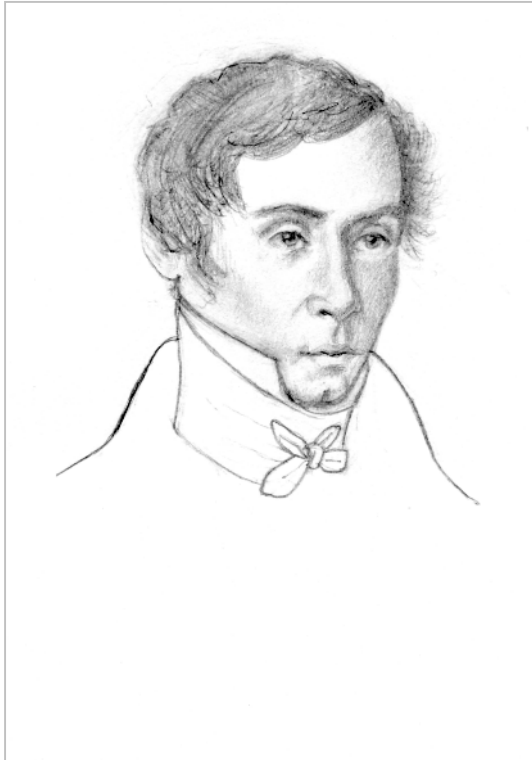
Wykorzystanie równania Poissona w newtonowskiej teorii stacjonarnego pola grawitacyjnego niewątpliwie ułatwiło Einsteinowi znalezienie równań pola w ramach OTW. Równania Einsteina w przypadku słabego stacjonarnego pola w przybliżeniu nierelatywistycznym redukują się do równania Poissona.

ARAGO, Dominique François Jean (1786-1853), francuski astronom i fizyk



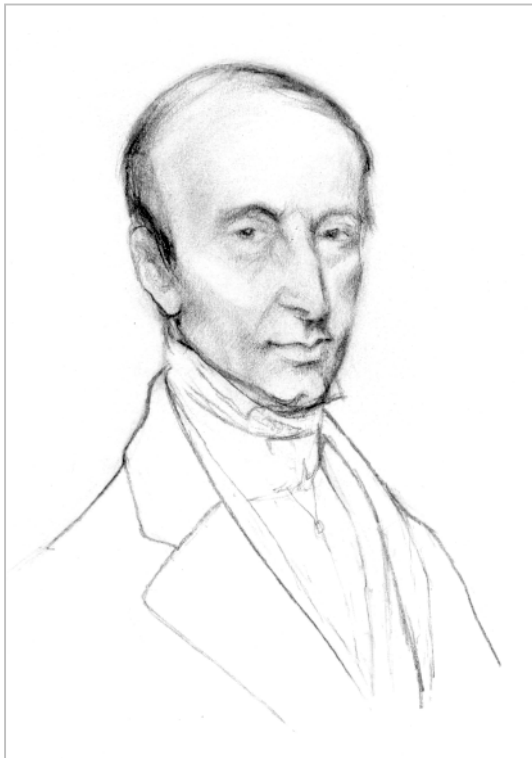
- Wykazał doświadczalnie, że światło jest falą poprzeczną.

FRESNEL, Augustin Jean (1788-1827), francuski fizyk i inżynier



- Podał (1818) wzór na wartość prędkości światła w poruszającym się ośrodku, zawierający tzw. współczynnik unoszenia.
- Wykazał (1821), że światło jest falą poprzeczną.

CAUCHY, Baron Augustin Louis (1789-1857), francuski matematyk i fizyk

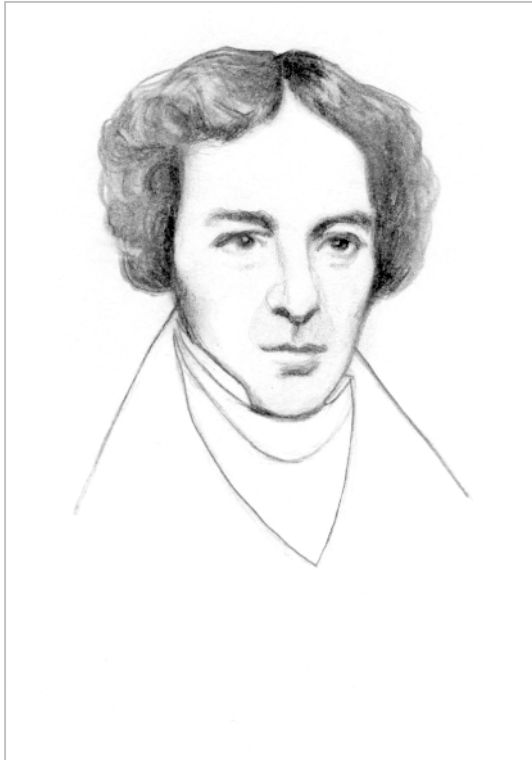


- Wprowadził pojęcie tensora.
- Znajdowanie rozwiązania układu równań różniczkowych cząstkowych, spełniającego dane warunki początkowe i brzegowe, nazywa się problemem Cauchy'ego.

Ciekawostki

- Nazwa tensor została zaproponowana w 1900 przez Woldemara Voigta (1850-1919).
- Gregorio Ricci-Curbastro (1853-1925) i Tullio Levi-Civita (1873-1941), twórcy rachunku tensorowego (bezwzględnego rachunku różniczkowego), nazywali (1901) tensory układami.

FARADAY, Michael (1791-1867), brytyjski [angielski] fizyk i chemik

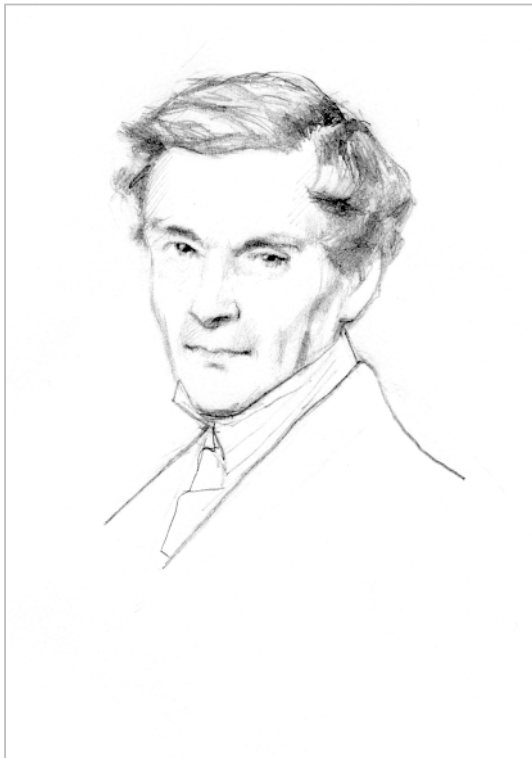


- Odkrył (1831) indukcję elektromagnetyczną.
- Wprowadził (1834) pojęcie linii sił.
- Zapoczątkował (1852) polowe podejście do opisu zjawisk elektrycznych i magnetycznych.

Ciekawostki

- Faraday był samoukiem.

CORIOLIS, Gaspard Gustave de (1792-1843), francuski fizyk i inżynier

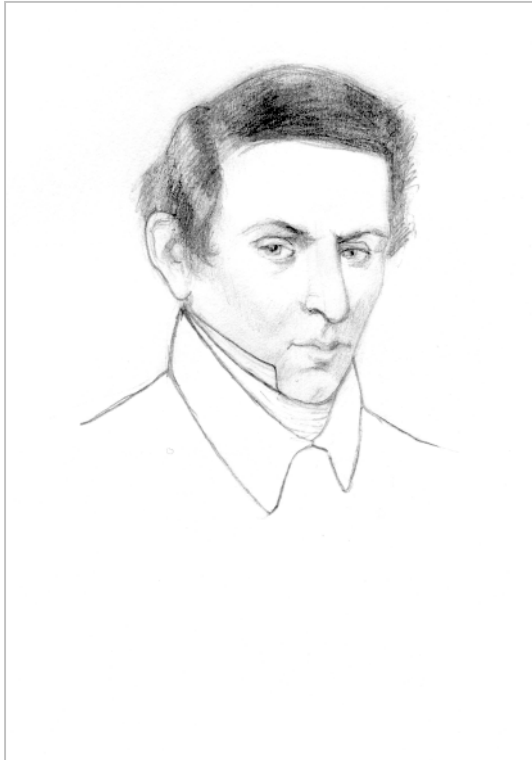


- Podał (1829) definicję pracy i energii kinetycznej.
- Odkrył (1835) siłę bezwładności działającą na poruszający się punkt w obracającym się układzie odniesienia – siła Coriolisa.

Ciekawostki

- Siła Coriolisa powoduje, że dla orbity kołowej w płaszczyźnie równikowej istnieją dwie różne wartości pierwszej prędkości kosmicznej. Satelitę należy wystrzelić w kierunku wschodnim z prędkością 7,4 km/s, a w kierunku zachodnim z prędkością 8,4 km/s. Okres obiegu orbity w kierunku wschodnim jest większy niż w kierunku zachodnim.

LOBACZEWSKI, Nikołaj Iwanowicz (1793-1856), rosyjski matematyk



- Jest jednym z twórców geometrii nieeuklidesowej, którą sformułował w 1826.

Ciekawostki

- Wg angielskiego matematyka W. K. Clifforda (1845-1879) Łobaczewski jest Kopernikiem geometrii.
- Bliscy odkrycia geometrii nieeuklidesowej byli Giovanni Girolamo Saccheri (1667-1733) oraz Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Saccheri usiłując udowodnić nie wprost postulat o równoległych, otrzymał według niego bardzo dziwne wyniki. Gauss wprawdzie odkrył geometrię nieeuklidesową, ale nie opublikował wyników w obawie, że nie zostaną zaakceptowane. Sześć lat po Łobaczewskim geometrię nieeuklidesową niezależnie sformułował János Bolyai (1802-1860).

DOPPLER, Christian Johann (1803-1853), austriacki fizyk, matematyk i astronom



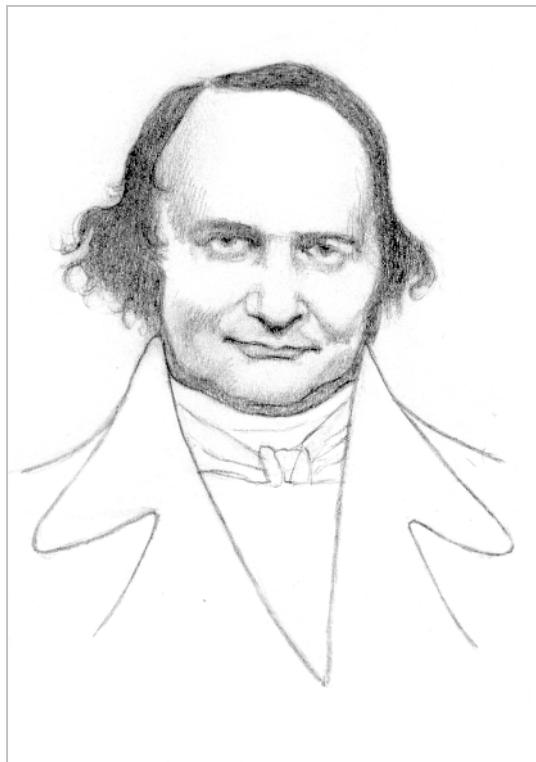
- Teoretycznie uzasadnił (1842) wpływ ruchu źródła i obserwatora na częstotliwość fal.

Bez znajomości optycznego zjawiska Dopplera niemożliwe byłoby odkrycie ucieczki galaktyk przez Hubble'a.

Ciekawostki

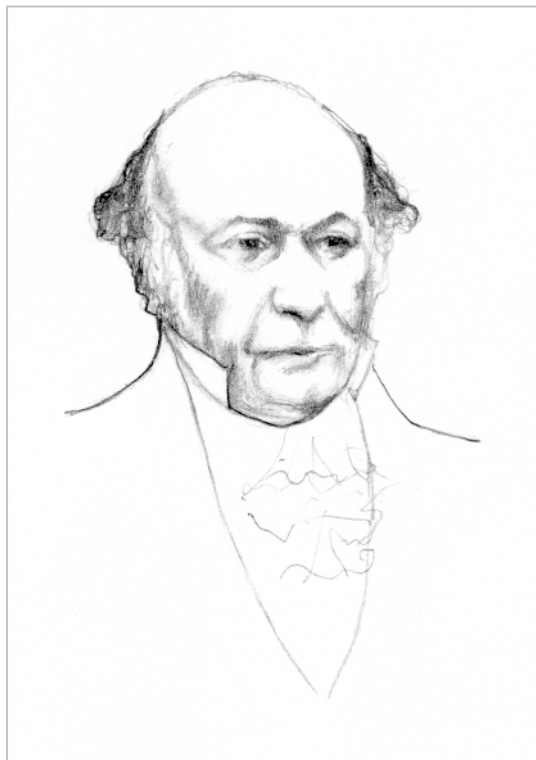
- Akustyczny efekt Dopplera został potwierdzony doświadczalnie po raz pierwszy w roku 1845 w Utrechcie przez C. H. D. Buys-Ballota (1817-1890). Źródłem dźwięku był poruszający się pociąg z trębaczami.

JACOBI, Carl Gustav Jacob (1804-1851), niemiecki matematyk



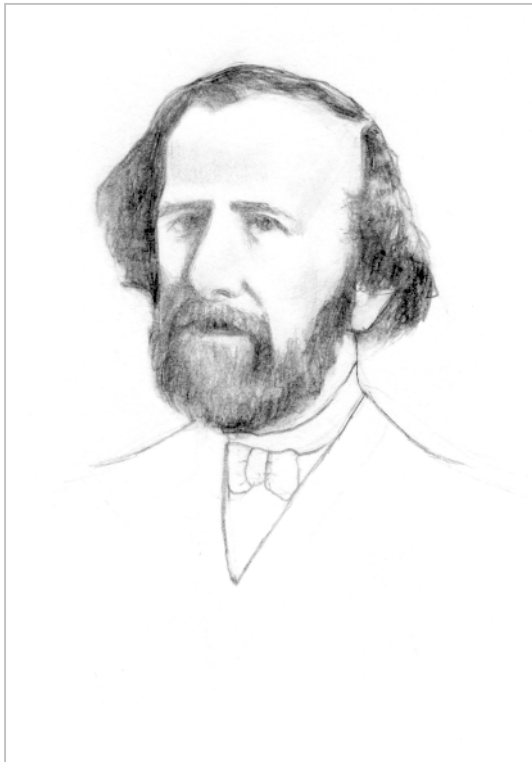
- Wprowadził (1841) wyznacznik funkcyjny – jacobian.
- Nadał równaniom ruchu nową postać (Równania Hamiltona-Jacobiego).
- Zaproponował powszechnie używane oznaczenie dla operatora pochodnej cząstkowej.

HAMILTON, Sir William Rowan (1805-1865), irlandzki matematyk i fizyk



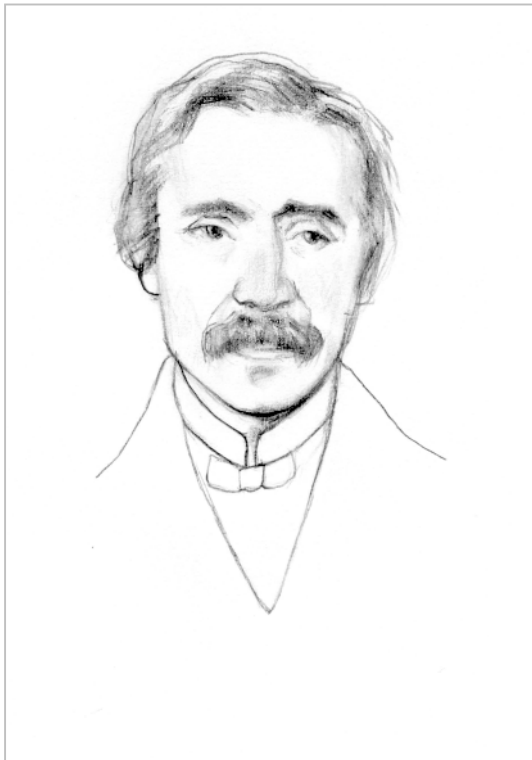
- Precyzyjnie sformułował (1834) zasadę najmniejszego działania.
- Zapisał (1834) równania ruchu w tzw. kanonicznej postaci – równania Hamiltona (funkcja Hamiltona, hamiltonian).
- Opracował (1843) algebrę kwaternionów.

FIZEAU, Armand Hippolyte Louis (1819-1896), francuski fizyk



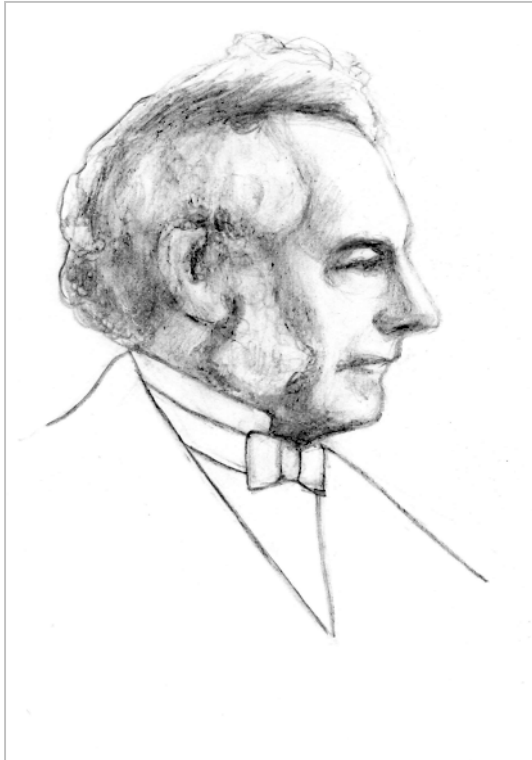
- Jako pierwszy zmierzył (1849) wartość prędkości światła w laboratorium metodą „koła zębatego”.
- Wykazał (1850), że wartość prędkości światła w wodzie jest mniejsza niż w powietrzu. Potwierdzało to falową teorię światła.
- Pomiary (1851) wartości prędkości światła w spoczywającej i poruszającej się wodzie wskazywały, że klasyczny wzór na składanie prędkości nie jest prawdziwy w przypadku światła.
- Badał (1848) efekt Dopplera dla fal świetlnych.

FOUCAULT, Jean Bernard Léon (1819-1868), francuski fizyk-eksperymentator



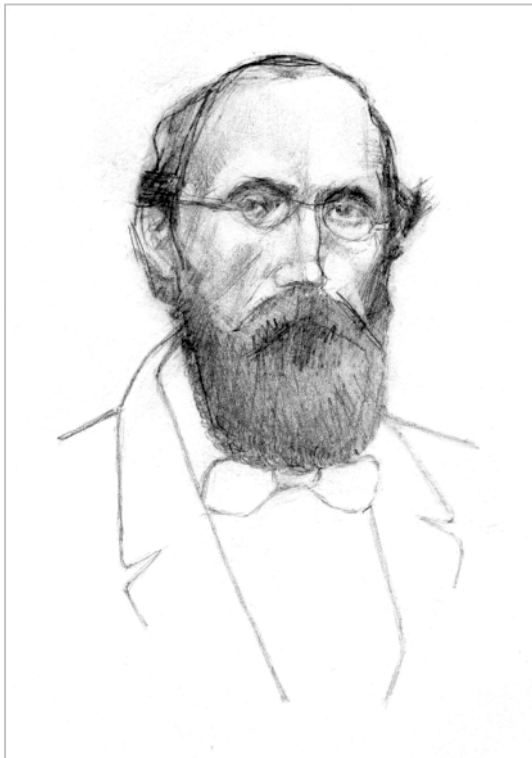
- Zmierzył (1850) metodą obracającego się zwierciadła, że wartość prędkości światła w wodzie jest mniejsza niż w powietrzu. Potwierdzało to falową teorię światła.

STOKES, Sir George Gabriel (1819-1903), brytyjski matematyk i fizyk



- Badał (1845) przepływ cieczy z uwzględnieniem tarcia wewnętrznego. Podobne wyniki niezależnie uzyskali Navier, Poisson, oraz Saint-Venant.
- Sformułował twierdzenie umożliwiające zamianę całek powierzchniowych na krzywoliniowe (twierdzenie Stokesa).

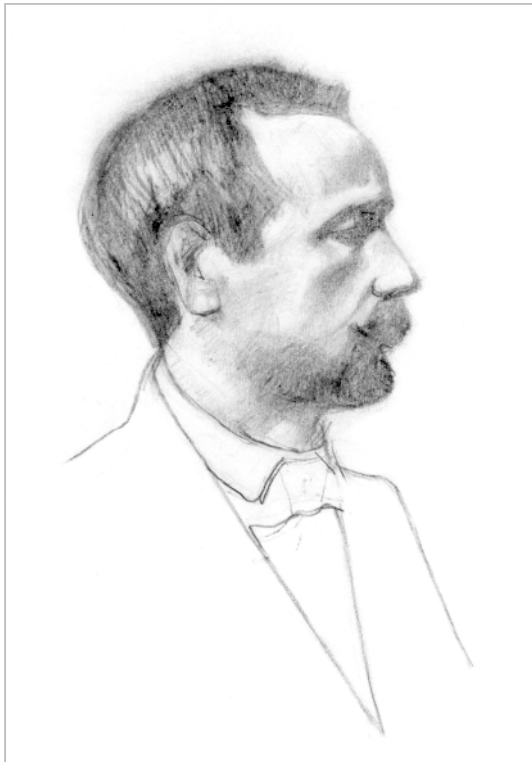
RIEMANN, Georg Friedrich Bernhard (1826-1866), niemiecki matematyk i fizyk-teoretyk



- Wprowadził (1854) pojęcie n-wymiarowej zakrzywionej przestrzeni z zadaną lokalnie metryką w postaci kwadratowej formy różniczkowej $ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$.

W ogólnej teorii względności zakłada się, że gęstość energii wszelkiej postaci (w tym gęstość energii równoważnej masie oraz ciśnienie) określa metrykę czasoprzestrzeni. Gęstość energii jest wielkością mierzoną w dżulach na metr sześcienny.

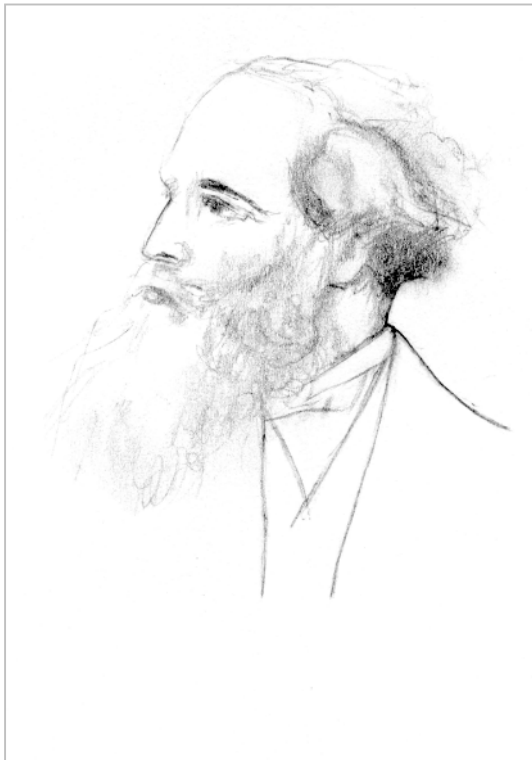
CHRISTOFFEL, Elwin Bruno (1829-1900), niemiecki matematyk



- Wprowadził trójskładnikowe symbole zwane obecnie symbolami Christoffela pierwszego i drugiego rodzaju, zaproponował również czteroskładnikowe symbole znane jako składowe kowariantnego tensora krzywizny Riemanna-Christoffela czwartego rzędu, zdefiniował pojęcie tensora kowariantnego w ogólnym przypadku i operację różniczkowania kowariantnego (1868 i 1869).

Christoffel nie używał nazwy tensor.

MAXWELL, James Clerk (1831-1879), szkocki fizyk-teoretyk

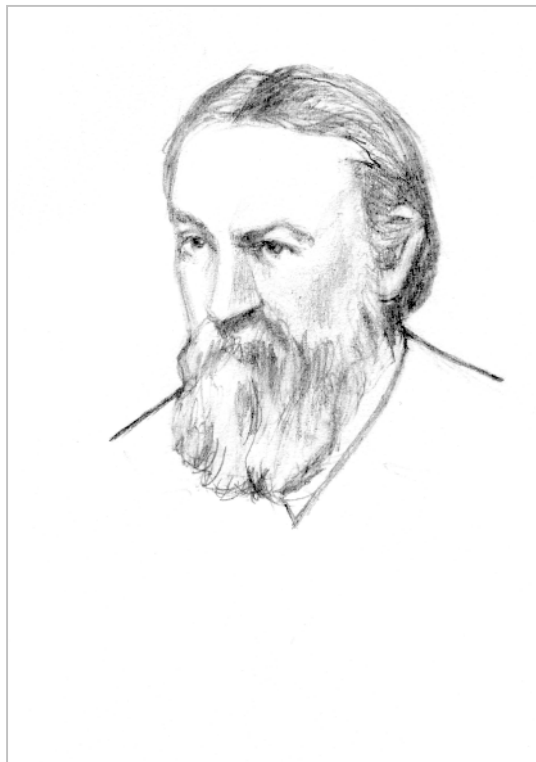


- Wprowadził (1861) pojęcie prądu przesunięcia.
- Podał (1864) określenie pola elektromagnetycznego.
- Przedstawił (1865) zbiór dwudziestu równań opisujących pole elektromagnetyczne.
- Przewidział (1865) istnienie fal elektromagnetycznych oraz sformułował koncepcję o elektromagnetycznej naturze światła.
- Opublikował (1873) *Treatise on Electricity and Magnetism*.

Ciekawostki

- Przypisywane Maxwellowi równania miały zupełnie inną postać matematyczną. Powód był prosty. W czasie, gdy Maxwell pracował nad elektrodynamiką, Hermann Günter Grassmann (1809-1877) dopiero tworzył podstawy współczesnej analizy wektorowej.
- Clerk nie jest drugim imieniem lecz pierwszym członem nazwiska, które w pełnej postaci brzmi – Clerk Maxwell.

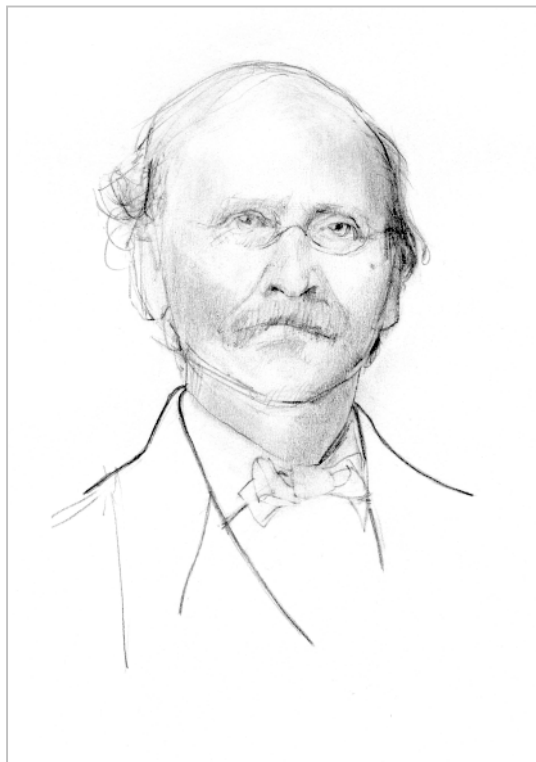
MACH, Ernst (1838-1916), austriacki fizyk i filozof



- Postulował (1883), że bezwładność jest skutkiem wzajemnego oddziaływania ciał we wszechświecie.

Twierdzenie to Einstein nazywał zasadą Macha.

MORLEY, Edward Williams (1838-1923), amerykański chemik i fizyk



- Wspólnie z Michelsonem przeprowadzili (1887) eksperyment, z którego wynikało, że wartość prędkości światła nie zależy od ruchu Ziemi względem Słońca.

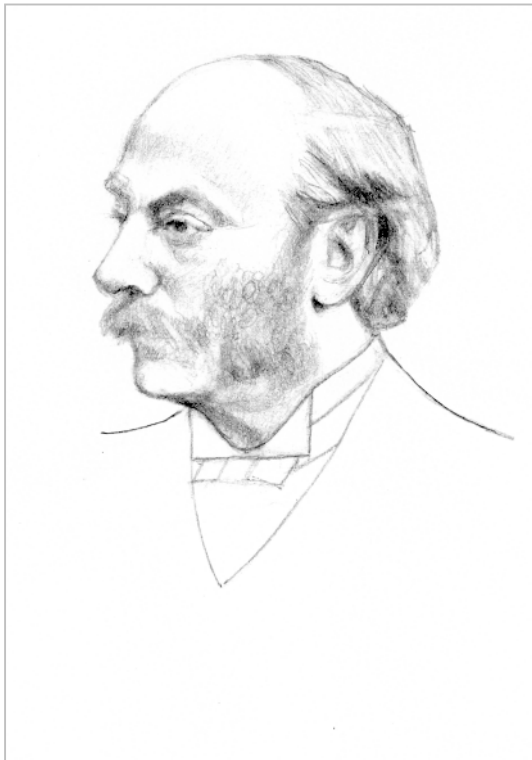
- Edward W. Morley i Dayton Clarence Miller powtórzyli (1902-1904) eksperyment Michelsona-Morley'a z 1887.

LIE, Marius Sophus (1842-1899), norweski matematyk



- Stworzył (1893) teorię ciągłych grup przekształceń, zwanych grupami Liego.

RAYLEIGH, John William Strutt (1842-1919), brytyjski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1904

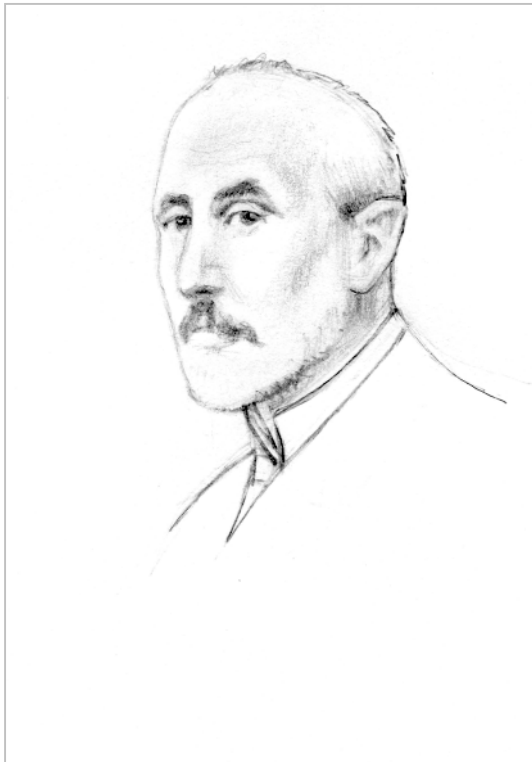


- Jest autorem czterystu trzydziestu prac i jednej książki.
- W przeprowadzonym eksperymencie nie stwierdził (1902) oczekiwanego podwójnego załamania światła, które miał spowodować ruch przezroczystego ciała przez eter. Gdyby istniał eter, to zjawisko takie wg Rayleigha byłoby konsekwencją kontrakcji Lorentza-FitzGerala. Doświadczenie to powtórzył (1904) de Witt Bristol Brace. Nazywane jest ono doświadczeniem Rayleigha-Brace'a.

Ciekawostki

- Książkę napisał, pływając barką po Nilu.
- Posiadał prywatne laboratorium.
- Badał solitony.

EÖTVÖS, Baron Roland von (1848-1919), węgierski geofizyk

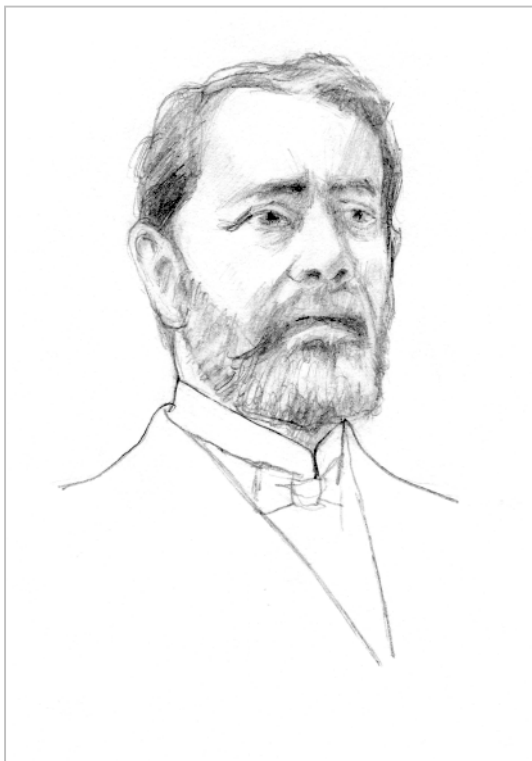


- Wykazał doświadczalnie (1888-1908) równość masy grawitacyjnej i inercyjnej z dokładnością do $5 \cdot 10^{-9}$.

Na cienkim drucie ze stopu platyny i irydu podwiesił poprzecznie lekki pręt. Na jego końcach znajdowały się ciężarki o identycznym kształcie i jednakowych masach grawitacyjnych, wykonane z różnych materiałów. Gdyby masa grawitacyjna nie była proporcjonalna do masy inercyjnej, to na ciężarki działałyby różne siły bezwładności będące skutkiem ruchu wirowego Ziemi. Wynik doświadczenia był negatywny, Eötvös nie stwierdził skręcenia drutu.

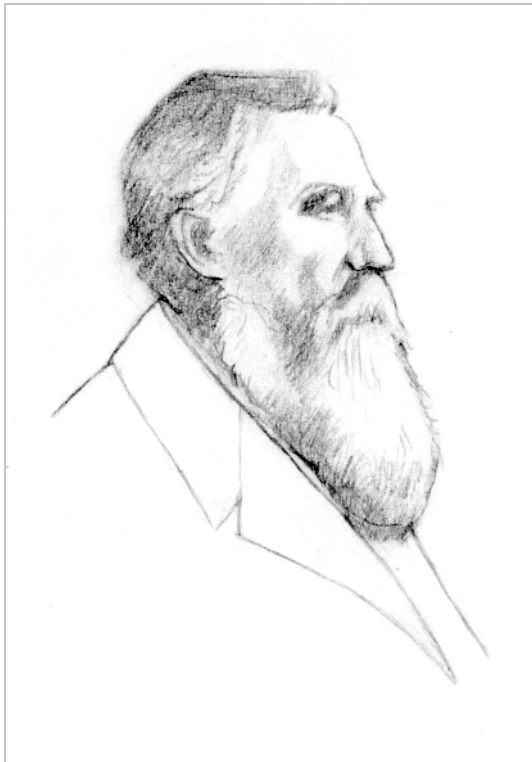
Doświadczenia Eötvösa stanowią potwierdzenie dla sformułowanej przez Einsteina zasady równoważności, która legła u podstaw OTW. Wg tej zasady pole grawitacyjne (jednorodne w nieskończonej małej objętości) można w pełni zamienić przyspieszonym układem odniesienia.

KLEIN, Felix Christian (1849-1925), niemiecki matematyk



- Sformułował (1872) tzw. program erlangeński traktujący każdą geometrię jako teorię niezmienników pewnej grupy przekształceń. Geometria, której odpowiada najbardziej ogólna grupa przekształceń nazywana jest topologią.
- Zaproponował (1872) klasyfikację geometrii na:
 - Paraboliczną – opisaną przez Euklidesa;
 - Hiperboliczną – daną przez Łobaczewskiego i Bolyaia, obowiązującą na powierzchniach o stałej ujemnej krzywiznie, w szczególności na pseudo-sferze;
 - Eliptyczną – spełnioną na sferze.
- Uprościł (1917) metodę wyprowadzania równań pola grawitacyjnego z zasady wariacyjnej.
- Badał (1918) prawo zachowania pędu i energii w OTW.

VOIGT, Woldemar (1850-1919), niemiecki fizyk-teoretyk

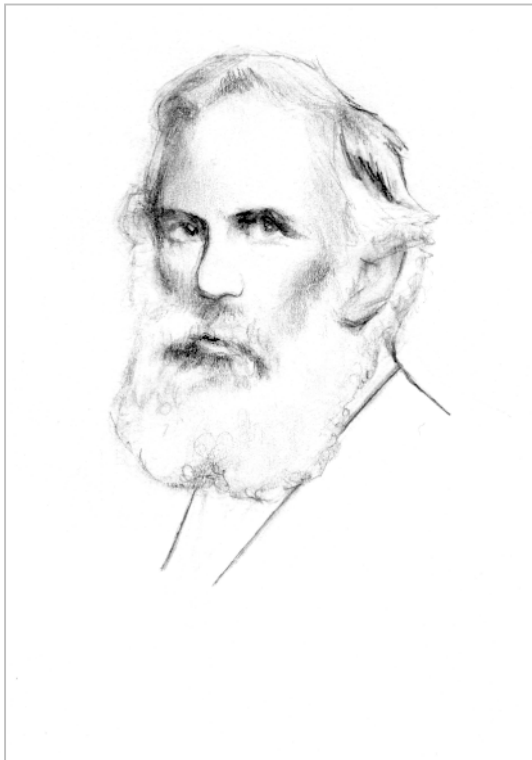


- Znalazł (1887) transformacje, podobne do przekształceń Lorentza, nie zmieniające postaci równania falowego.
- Wprowadził (1900) nazwę tensor dla wielkości charakteryzujących elastyczne własności ciał.

Kolejne etapy powstawania transformacji Lorentza

- 1887 – Voigt
- 1895 – Lorentz
- 1897 – Larmor
- 1899 – Lorentz
- 1900 – Larmor
- 1904 – Lorentz
- 1905 – Poincaré
- 1905 – Einstein

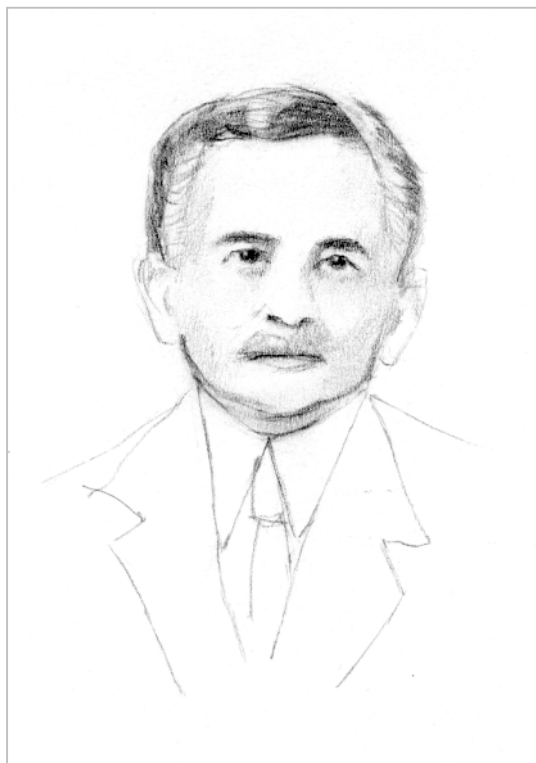
FITZGERALD, George Francis (1851-1901), irlandzki fizyk



- Sugerował (1889), że wynik doświadczenia Michelsona-Morleya może być spowodowany skróceniem ciał materialnych w kierunku ruchu wskutek oddziaływania z eterem (skrócenie FitzGeralda-Lorentza).

Według Einsteina kontrakcja jest wynikiem własności czasoprzestrzeni a nie oddziaływania pręta z hipotetycznym eterem.

MICHELSON, Albert Abraham (1852-1931), amerykański fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1907

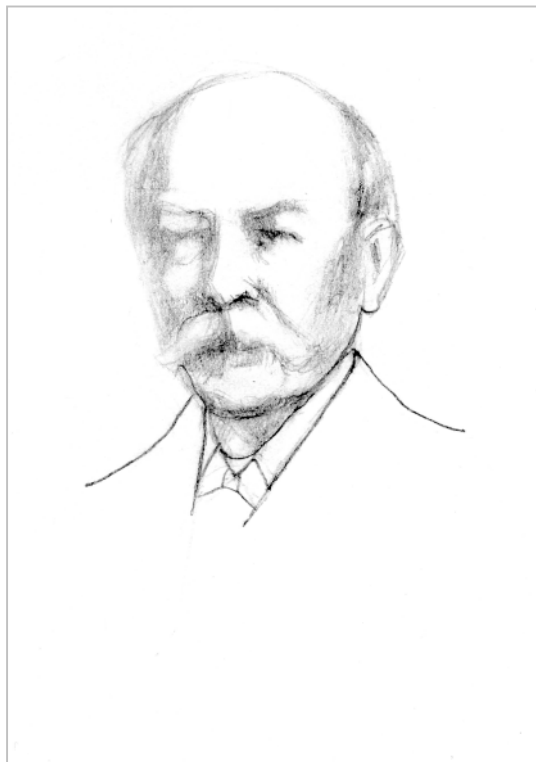


- Skonstruował interferometr, co pozwoliło mu doświadczalnie ustalić niezależność wartości prędkości światła od ruchu Ziemi względem Słońca, najpierw samemu w Berlinie (1881) a później wspólnie z Morley'em (1887). Należy podkreślić, że doświadczenia te były planowane jako rozstrzygające o istnieniu eteru.

Komentarz

- Z historycznego punktu widzenia eksperyment Michelsona był źródłem inspiracji dla wielu fizyków, znajdowali się wśród nich Brace, FitzGerald, Lodge, Lorentz, Noble, Poincaré, Rayleigh oraz Trouton. Należy wyraźnie podkreślić, że negatywne wyniki doświadczeń, które miały potwierdzić unoszenie hipotetycznego eteru przez poruszające się w nim ciała, nie miały wpływu na poglądy Alberta Einsteina, gdy tworzył on w 1905 podstawy szczególnej teorii względności. Powód był bardzo prosty, Einstein z zasady nie czytał prac kolegów.

POYNTING, John Henry (1852-1914), angielski fizyk

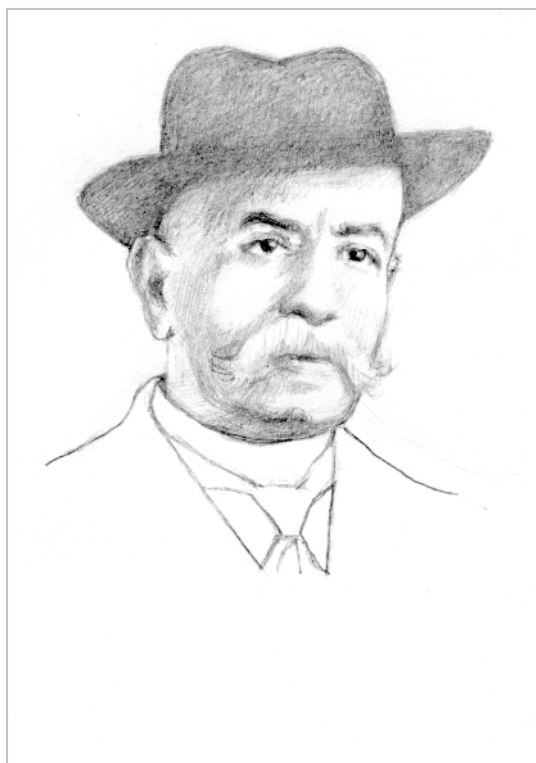


- Wprowadził (1884) pojęcie strumienia energii pola elektromagnetycznego – wektor Poyntinga.
- Wyznaczył (1891) średnią gęstość Ziemi i stałą grawitacyjną metodą torsyjną.
- Sugerował (1903), że małe cząstki powinny obiegać Słońce po orbitach o zmniejszającym się promieniu. Zjawisko to, nazwane efektem Poyntinga, jest wynikiem wywierania ciśnienia przez promieniowanie Słońca na orbitujące małe cząstki.

Ciekawostki

- Pojęcie strumienia energii pola elektromagnetycznego wprowadził dziesięć lat wcześniej Nikołaj Aleksiejewicz Umow (1846-1915), dlatego wielkość ta nazywana jest wektorem Umowa-Poyntinga.
- Howard Percy Robertson (1903-1961) podał w 1937 relatywistyczny opis efektu Poyntinga (efekt Poyntinga-Robertsona).

RICCI-CURBASTRO, Gregorio (1853-1925), włoski matematyk

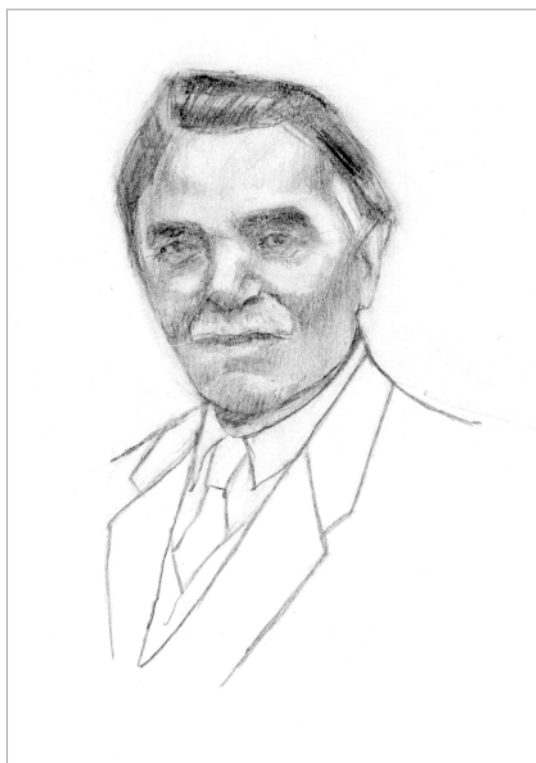


- Stworzył, poczynając od 1886, absolutny rachunek różniczkowy zwany obecnie rachunkiem tensorowym.

Główna idea tego rachunku polega na tym, aby wszystkie wzory analizy matematycznej były niezależne od przyjętego układu współrzędnych. Innymi słowy, aby wzory rachunku różniczkowego były współmiennicze względem określonej grupy transformacji układu współrzędnych w przestrzeni o zadanej metryce. W teorii względności żąda się, aby wszystkie podstawowe prawa były współmiennicze względem transformacji, których niezmiennikiem jest maksymalna wartość prędkości rozchodzenia się sygnałów.

Na przykład wszystkie prawa szczególnej teorii względności są współmiennicze względem transformacji Lorentza w czasoprzestrzeni Minkowskiego.

BIANCHI, Luigi (1856-1928), włoski matematyk

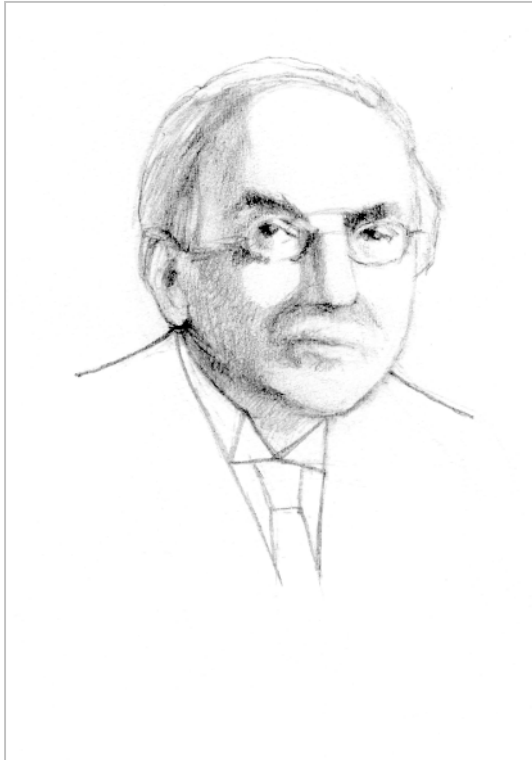


- Udowodnił (1902) tożsamości bardzo użyteczne w rachunku tensorowym, zwane tożsamościami Bianchi.
- W oparciu o prace R. Lipschitza (1870), W. Killinga (1892) oraz S. Liego (1888, 1893) podał (1898) kompletną klasyfikację klas izometrii trójwymiarowych rozmaitości Riemanna, dzieląc je na dziewięć typów oznaczonych rzymskimi cyframi I-IX.

Ciekawostki

- W 1951 Abraham Taub wykorzystał typy Bianchi do klasyfikacji przestrzennie jednorodnych kosmologicznych rozwiązań równań pola grawitacyjnego Einsteina. Rozwiązania kosmologiczne Kurta Gödla z 1949 i 1952 należą odpowiednio do VIII i IX typu Bianchi.

LARMOR, Joseph (1857-1942), irlandzki fizyk-teoretyk i matematyk



- Zaproponował (1900), cztery lata wcześniej niż Lorentz, relatywistyczne przekształcenia współrzędnych przestrzennych i czasu, nie zmieniające postaci równań Maxwella oraz regułę składania prędkości.

Ciekawostki

- Przekształcenia podane przez Larmora i Lorentza były identyczne, zawierały ten sam błąd.

Kolejne etapy powstawania transformacji Lorentza

- 1887 – Voigt
- 1895 – Lorentz
- 1897 – Larmor
- 1899 – Lorentz
- 1900 – Larmor
- 1904 – Lorentz
- 1905 – Poincaré
- 1905 – Einstein

HERTZ, Heinrich Rudolf (1857-1894), niemiecki fizyk



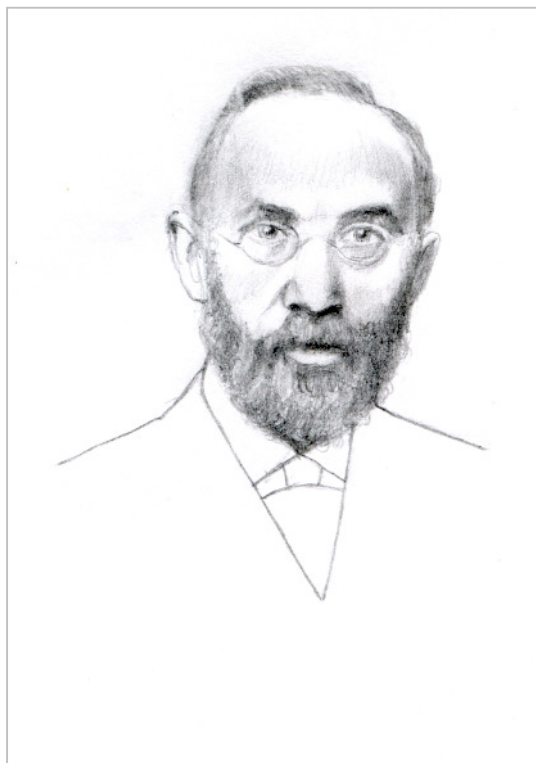
- Odkrył (1887) zjawisko fotoelektryczne.
- Eksperymentalnie potwierdził (1888) istnienie fal elektromagnetycznych przewidzianych przez Maxwella w 1865.
- Nadał (1890) równaniom elektrodynamiki współczesną postać (równania Maxwella-Hertza).

Ciekawostki

- W obu pracach z 1890 Hertz przedstawił podstawowe równania elektrodynamiki w postaci rozwiniętej.
- Olivier Heaviside (1850-1925) jako pierwszy zapisał (1892) równania Maxwella, używając operatorów rotacji i dywergencji.

**PORTRETY
TWÓRCÓW I PROPAGATORÓW
TEORII WZGLĘDNOŚCI**

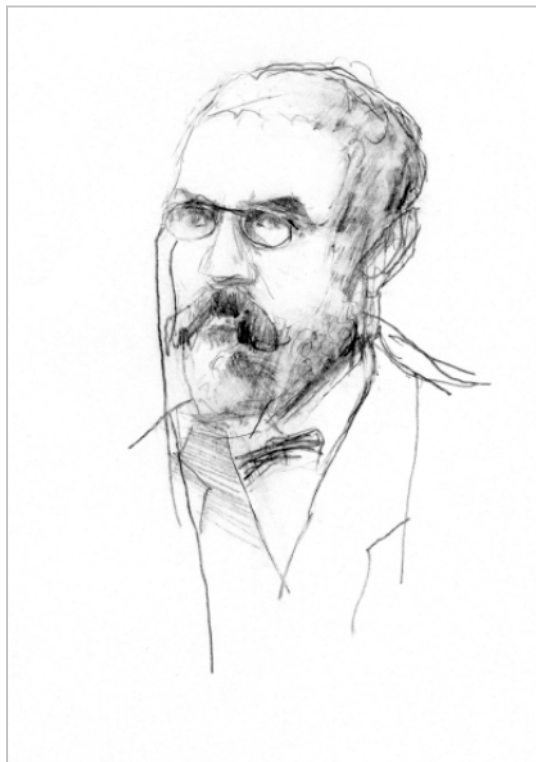
LORENTZ, Hendrik Antoon (1853-1928), holenderski fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1902



- H. A. Lorentz niezależnie od G. F. FitzGerala tłumaczył (1892) negatywny wynik doświadczenia Michelsona-Morley'ego skróceniem długości ciała [ramion interferometru] wzdłuż kierunku ruchu Ziemi względem eteru.
- Opisał (1892) siłę działającą w polu elektromagnetycznym na naładowane cząstki, zwaną siłą Lorentza.
- Zaproponował (1904) transformacje współrzędnych przestrzennych i czasu, nie zmieniające postaci równań Maxwella.
- Badał (1916-1917) związek równań pola Einsteina z równaniami ruchu.

Doświadczenia Lodge'ego (1893), Rayleigha-Brace'ego (1902 i 1904), Troutona-Noble'ego (1903) oraz Troutona-Rankine'ego (1908) wykazały, że hipoteza FitzGerala-Lorentza jest błędna. Według Einsteina kontrakcja jest wynikiem własności czasoprzestrzeni, a nie oddziaływania pręta z eterem.

POINCARÉ, Jules Henri (1854-1912), francuski matematyk, fizyk i filozof

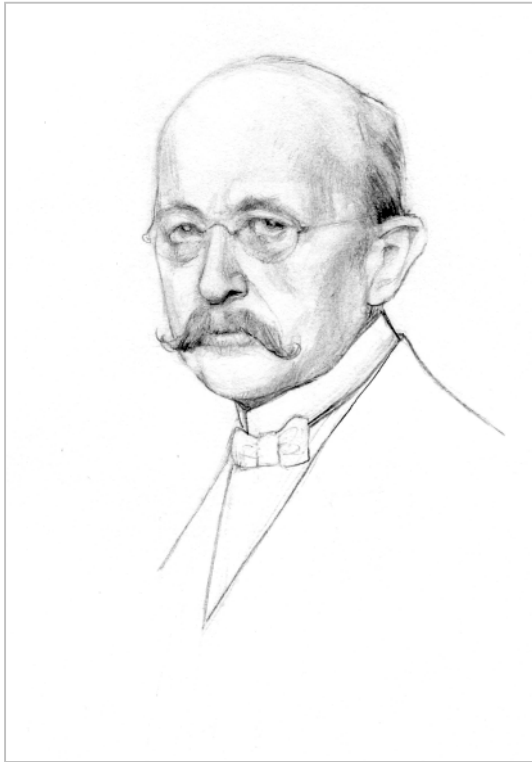


- Wprowadził (1905) urojoną współrzędną czasową ict .
- Zmodyfikował (1905) podane w 1904 przez Lorentza transformacje współrzędnych przestrzennych i czasu.
- Zaproponował (1905) nazwy transformacje Lorentza i skrócenie Lorentza.
- Pokazał, że transformacje Lorentza tworzą grupę, przedstawiając obrót w przestrzeni x, y, z, ict wokół środka nieruchomego układu współrzędnych. Przy okazji otrzymał relatywistyczną regułę składania prędkości.
- Badał niezmienniki tych transformacji.
- Niezależnie od Einsteina sformułował 23 lipca 1905 szczególną teorię względności.

Ciekawostki

- Henri Poincaré posiadał fotograficzną pamięć.
- Pracował w charakterystyczny dla niego sposób, najpierw problem rozwiązywał całkowicie w głowie, i dopiero ostateczny wynik przelewał na papier.

PLANCK, Max Karl Ernst Ludwig (1858-1947), niemiecki fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1918

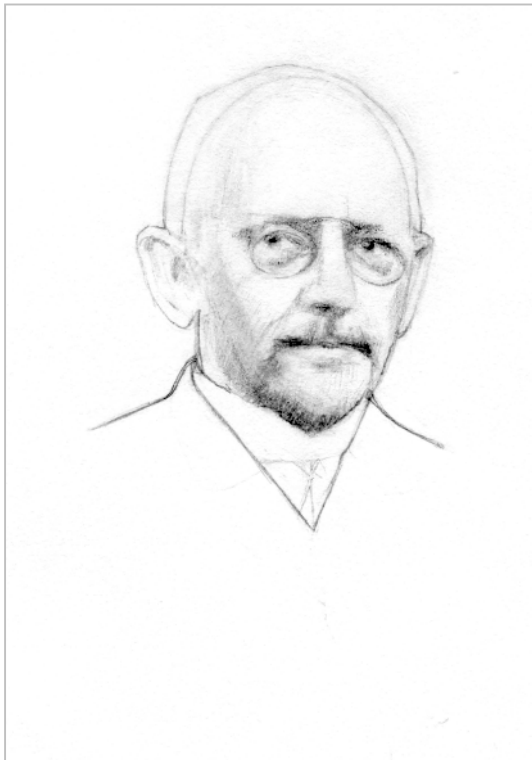


- Zaproponował (1906) nazwę [zasada względności] **teoria względności**.
- Podał (1906) trójwymiarowe relatywistyczne równania ruchu, wyrażenia dla funkcji Lagrange'a i Hamiltona oraz pędu cząstki.
- Stworzył (1907) podstawy relatywistycznej termodynamiki.

Ciekawostki

- Max Planck jest znany przede wszystkim jako twórca fizyki kwantowej. Sformułował w 1900 i opublikował w 1901 hipotezę, że emisja energii przez atomy i cząsteczki odbywa się skokowo w postaci kwantów.

HILBERT, David (1862-1943), niemiecki matematyk



- Znalazł ogólnie kowariantne równania pola grawitacyjnego, wyprowadzając je z zasady wariacyjnej. Wyniki przedstawił na posiedzeniu Królewskiego Towarzystwa Naukowego w Getyndze 20 listopada 1915.

Ciekawostki

- Pięć dni później na posiedzeniu Królewskiej Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie Einstein również zaproponował poprawne równania pola.

MINKOWSKI, Hermann (1864-1909), niemiecki matematyk i fizyk-teoretyk



- Nadał (1908) STW elegancką czterowymiarową formę matematyczną.
- Wprowadził (1908) pojęcia takie, jak czterowymiarowa czasoprzestrzeń, linia świata, stożek świetlny, wektor przestrzenny oraz wektor czasowy.
- Przedstawił (1908) równania Maxwella oraz równania mechaniki punktu materialnego w czterowymiarowej postaci tensorowej. Minkowski nie używał słowa tensor.
- Prace Minkowskiego ułatwiły przejście od STW do OTW.

Ciekawostki

- Herman Minkowski był strykiem Rudolpha Leo Bernharda Minkowskiego (1895-1976), znanego astronoma. Ojcem Rudolpha był Oskar Minkowski (1858-1931), profesor patologii, który odkrył, że przyczyną cukrzycy jest brak pewnej substancji wydzielanej przez trzustkę (insuliny).

ZEEMAN, Pieter (1865-1943), holenderski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1902

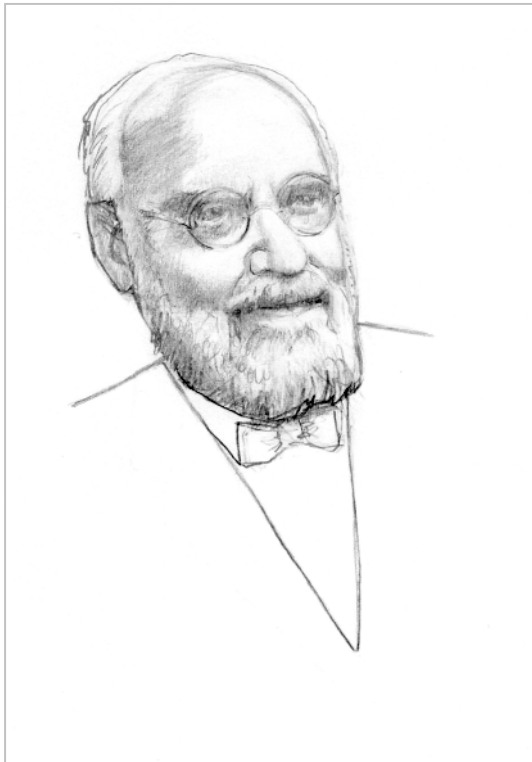


- Badał (1914-1915) wartość prędkości światła w szybko poruszającym się ośrodku, potwierdzając istnienie członu Lorentza we współczynniku unoszenia Fresnela.
- Wykazał doświadczalnie, że wartość prędkości światła w gęstych ośrodkach zależy od długości fali.
- Potwierdził (1917) doświadczalnie z dużą dokładnością (10^{-7}) równość masy inercyjnej i grawitacyjnej.

Ciekawostki

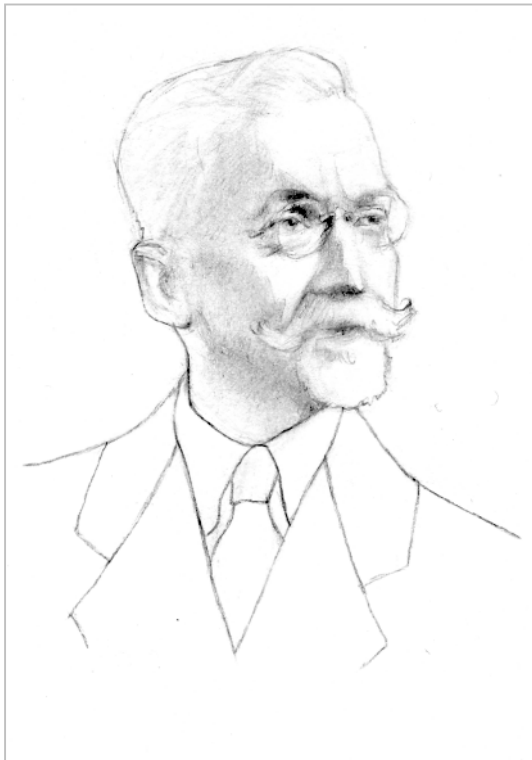
- Pieter Zeeman znany jest przede wszystkim z odkrycia (1896) rozszczepienia linii widmowych w zewnętrznym polu magnetycznym. Zjawisko to nazwano efektem Zeemana.

MIE, Gustav Adolf (1868-1957), niemiecki fizyk



- Opracował (1912) teorię grawitacji nie spełniającą zasady równoważności.

CARTAN, Élie Joseph (1869-1951), francuski matematyk

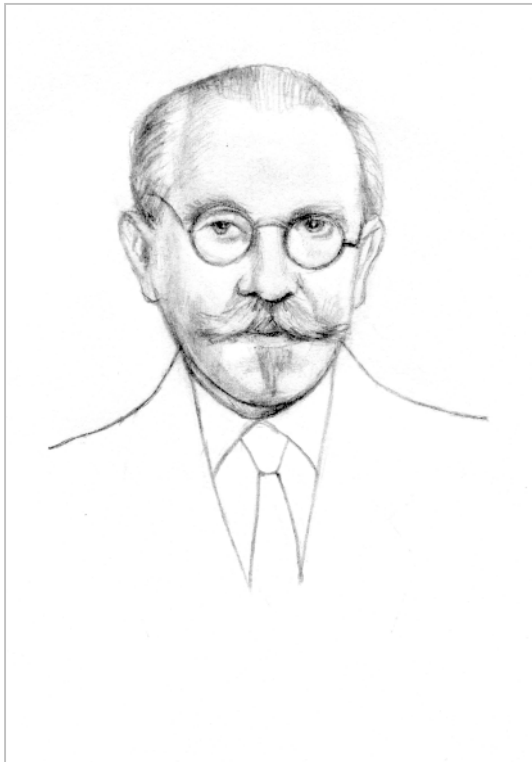


- Odkrył (1913) spinory.
- Wprowadził (1922) tensor skręcenia.
- Zaproponował (1923-1925) modyfikację OTW zwaną teorią Einsteina-Cartana.
- Zapisał (1923/24) równania Maxwella w postaci ogólnie kowariantnej.
- Opracował (1928, 1937) metodę ruchomego repetra.

Ciekawostki

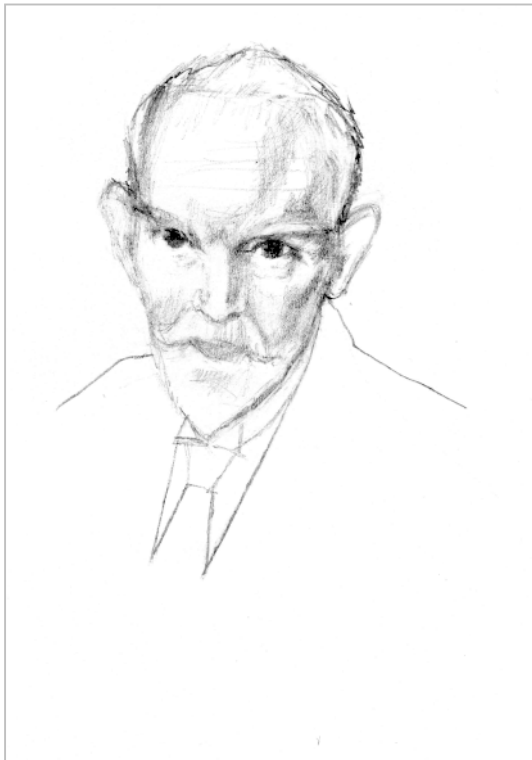
- Ojciec Cartana był kowalem.
- Syn Élie Josepha Cartana – Henri Paul Cartan (1904-2008) – był również matematykiem.
- Równania Maxwella w postaci ogólnie kowariantnej przedstawili niezależnie od siebie: Kottler w 1912, Einstein w 1913 [praca 21], a następnie w 1914 [praca 29] oraz w 1916 [praca 40], Cartan w 1923-1924 i van Dantzig w 1934.
- Élie Joseph Cartan został w 1923 pierwszym członkiem zagranicznym Polskiego Towarzystwa Matematycznego.

LANGEVIN, Paul (1872-1946), francuski fizyk



- Zwrócił uwagę (1911) na paradoks zegarów.
- Jako pierwszy wprowadził (1913) pojęcie defektu masy.

SITTER, Willem de (1872-1934), holenderski matematyk, astronom i kosmolog



- Zapisał 24 czerwca 1916 równania pola grawitacyjnego Einsteina w postaci $R_{ab} - \frac{1}{2}g_{ab}R = -\kappa T_{ab}$.
- Uogólnił 24 czerwca 1916 równanie Droste'a z 1914 opisujące pole grawitacyjne masy rozmieszczonej symetrycznie wokół środka układu współrzędnych.
- Jest autorem pionierskich prac z kosmologii relatywistycznej. Znalazł 31 marca 1917 rozwiązanie równań pola z członem kosmologicznym opisujące wszechświat bez materii traktowany jako czasoprzestrzeń o stałej krzywiznie.

Ciekawostki

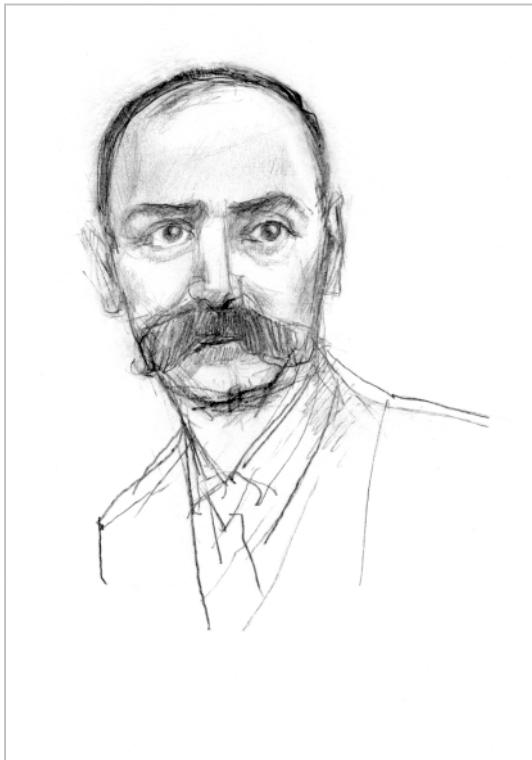
- Praca o OTW Einsteina [Niemcy] dotarła do Edingtona [Anglia] za pośrednictwem de Sittera [Holandia]. W toczącej się w Europie I Wojnie Światowej [1914-1918] Anglia i Niemcy były wrogami. Holandia, jako państwo neutralne, utrzymywała stosunki z Anglią i Niemcami.

LEVI-CIVITA, Tulio (1873-1941), włoski matematyk



- Jest (1901) współtwórcą absolutnego rachunku różniczkowego (rachunku tensorowego).
- Wprowadził (1917) pojęcie przesunięcia równoległego.
- Znalazł (1918) statyczne rozwiązanie równań pola posiadającego symetrię osiową.
- Zajmował się (1937, 1950) relatywistycznym problemem wielu ciał.

SCHWARZSCHILD, Carl (1873-1916), niemiecki astronom i fizyk



- Podał (1916) pierwsze dokładne zewnętrzne rozwiązanie równań Einsteina w przypadku statycznego (a tym samym stacjonarnego) sferycznie symetrycznego pola grawitacyjnego w pustej przestrzeni, którego źródłem jest punktowa masa.
- Znalazł (1916) wewnętrzne rozwiązanie równań pola Einsteina w przypadku kuli z nieściśliwej cieczy o stałej gęstości.

Ciekawostki

- Pierwsze dwie prace z astronomii, dotyczące orbit gwiazd podwójnych, Schwarzschild opublikował w 1890 w *Astronomische Nachrichten*, mając 17 lat.
- Syn Carla Schwarzschilda – Martin Schwarzschild (1912-1997) – był także astronomem.

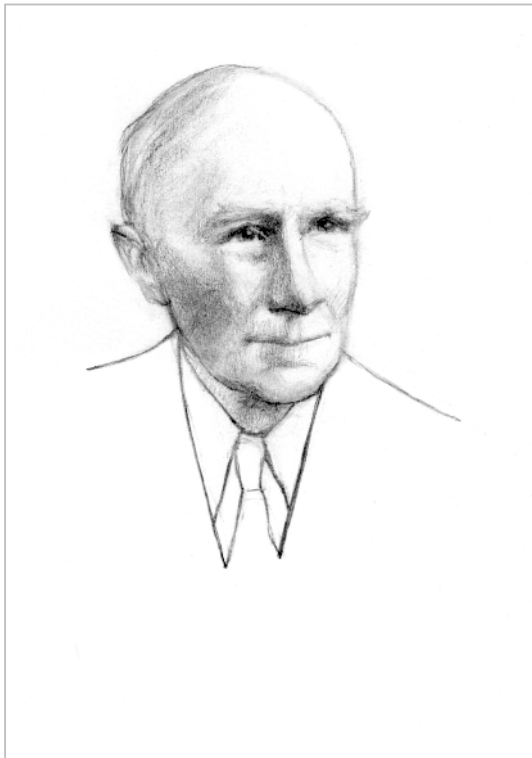
ABRAHAM, Max (1875-1922), niemiecki fizyk-teoretyk



- Przedstawił wiele zapomnianych koncepcji dotyczących między innymi modelu elektronu, grawitacji oraz postaci tensora energii-pędu-naprężeń pola elektromagnetycznego w ośrodku.

Szkoda tylko, że ten zdolny fizyk był oponentem teorii względności.

BIAŁOBRZESKI, Czesław (1878-1953), polski fizyk-teoretyk



- Zwrócił uwagę (1913) na rolę ciśnienia promieniowania w procesie równowagi termodynamicznej gazowych gwiazd.

Ciekawostki

- Czesław Białobrzewski był pierwszym dyrektorem Instytutu Fizyki Teoretycznej na Hożej w Warszawie.

GROSSMANN, Marcell (1878-1936), szwajcarski matematyk



- W znacznym stopniu przyczynił się (1913) do powstania OTW, rozwijając metody absolutnego rachunku różniczkowego i absolutnej geometrii różniczkowej. Metody te zapoczątkowali E. Christoffel (1869), G. Ricci i T. Levi-Civita (1901).
- Wprowadził pojęcie tensora mieszanego.
- Skonstruował mieszany tensor krzywizny czwartego rzędu.
- Utworzył kowariantny tensor krzywizny drugiego rzędu.

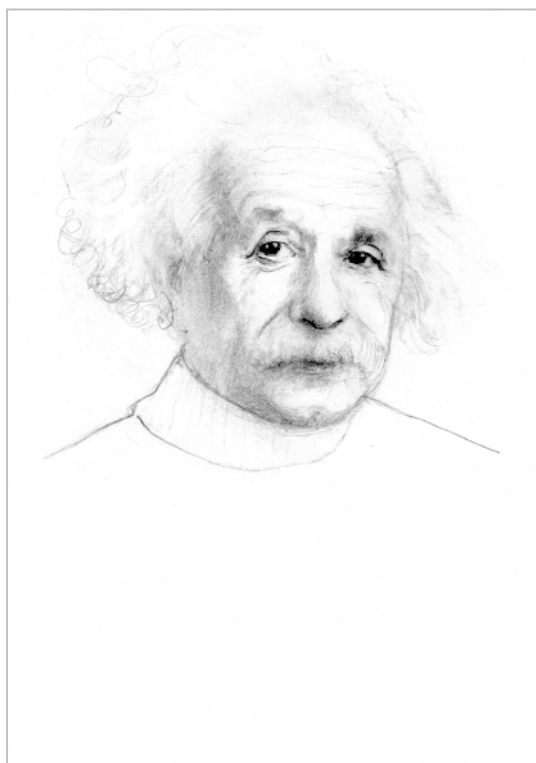
Ciekawostki

- Ku czci Marcela Grossmanna odbywają się międzynarodowe spotkania naukowe:

[Marcel Grossmann Meeting on Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Gravitation and Relativistic Field Theories.](#)

Pierwsze spotkanie miało miejsce w Triescie w 1975, a dziesiąte w Rio de Janeiro w 2003.

EINSTEIN, Albert (1879-1955), genialny fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1921



- W ciągu pięćdziesięciu lat opublikował prawie sto pięćdziesiąt prac dotyczących teorii względności i jednolitej teorii pola. Prace te dały początek między innymi Szczególnej Teorii Względności (STW), Ogólnej Teorii Względności (OTW), koncepcji fal grawitacyjnych, kosmologii relatywistycznej oraz elektrodynamice ogólnie kowariantnej.

UWAGA

Główne wyniki Einsteina dotyczące STW i OTW oraz spis wszystkich jego prac z tej dziedziny zostały podane na stronach 89-114 tej książki.

LAUE, Max Theodor Felix von (1879-1960), niemiecki fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1914



- Wyprowadził (1907), w ramach STW w związku z doświadczeniem Fizeau, wzór Fresnela.
- Podał (1911) wzory na elektromagnetyczną energię i pęd elektronu, posługując się językiem STW.

MANDELSZTAM, Leonid Isaakowicz (1879-1944), radziecki fizyk-teoretyk

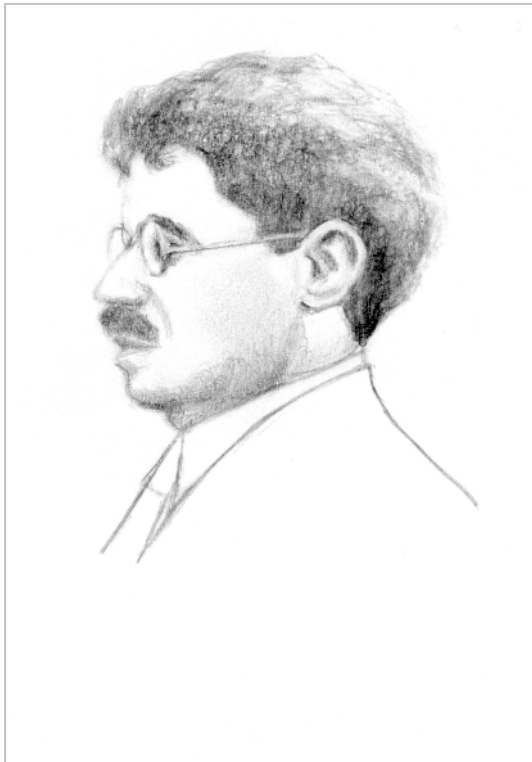


- Był jednym z pierwszych aktywnych zwolenników teorii względności w byłym ZSRR.

Ciekawostki

- ZSRR = Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich – nazwa nieistniejącego już państwa

EHRENFEST, Paul (1880-1933), holenderski fizyk-teoretyk



- Pierwszy zastosował (1909) przekształcenia Lorentza w przypadku bryły sztywnej.
- Wprowadził (1933) pojęcie przejść fazowych drugiego rodzaju, które robią karierę również w OTW.

Ciekawostki

- Paul Ehrenfest popełnił samobójstwo.

NORDSTRÖM, Gunnar (1881-1923), fiński fizyk-teoretyk



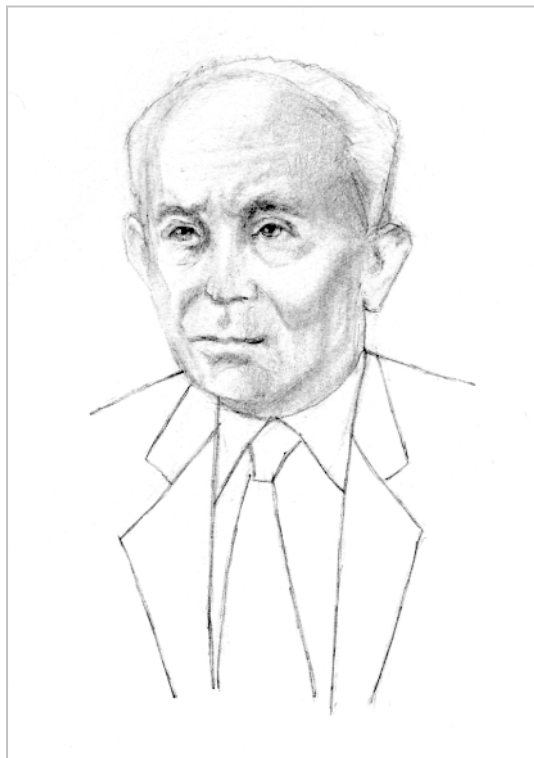
- Sformułował (1912-1914) skalarną teorię pola grawitacyjnego spełniającą zasadę równoważności.
- Zaproponował (1914) wykorzystanie pięciowymiarowej przestrzeni do unifikacji wektorowego pola elektromagnetycznego i skalarnego pola grawitacyjnego. Idea ta została później ponownie niezależnie sformułowana przez Theodora Kaluzę. Wielowymiarowe przestrzenie pojawiły się następnie między innymi w teorii strun.
- Niezależnie od Hansa Jacoba Reissnera (1874-1967) podał dwa lata później (1918) sferycznie symetryczne rozwiązanie równań pola Einsteina dla naładowanego elektrycznie źródła – metryka Reissnera-Nordströma. Rozwiązanie to jest wykorzystywane do opisu czasoprzestrzeni, której źródłem są naładowane czarne dziury.

TOLMAN, Richard Chase (1881-1948), amerykański chemik i fizyk-teoretyk



- Rozwinął (1928) relatywistyczną termodynamikę.
- Wspólnie z Morganem Wardem zbadali (1932) oscylacyjny model wszechświata, w którym zachodzą procesy nieodwracalne.
- Podał (1939) trzy nowe statyczne rozwiązania równań pola Einsteina dla kuli z cieczy.

BORN, Max (1882-1970), niemiecko-brytyjski fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1954

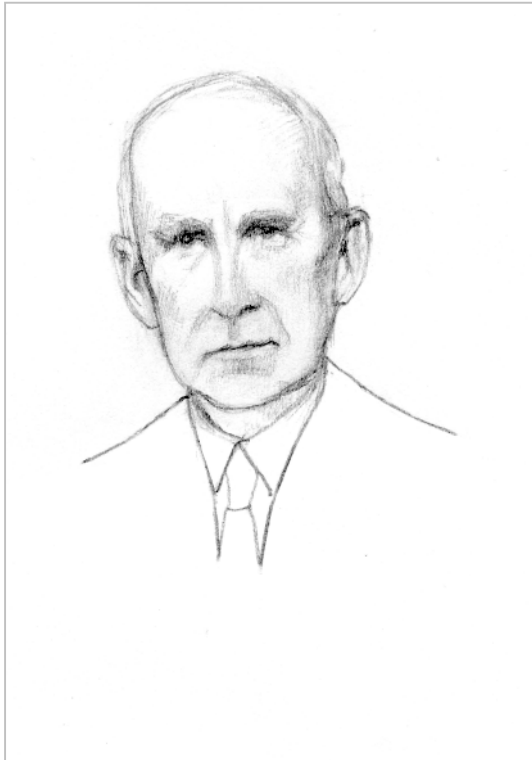


- Rozwinął (1909-1910) relatywistyczną teorię bryły sztywnej.
- Opublikował (1920) ciekawą książkę o teorii względności.

Ciekawostki

- Max Born jest znany przede wszystkim jako autor statystycznej interpretacji funkcji falowej (1926).

EDDINGTON, Sir Arthur Stanley (1882-1944), brytyjski astronom, astrofizyk, fizyk i matematyk



- Przeprowadzone 29 maja 1919 pod jego kierunkiem obserwacje zaćmienia Słońca potwierdziły przewidziane przez OTW odchylenie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym.
- Udowodnił (1930), że kosmologiczne rozwiązanie Einsteina jest niestabilne.
- Stworzył (1946) rachunek falowo-tensorowy, próbując połączyć OTW z mechaniką kwantową.

Ciekawostki

- Praca o OTW Einsteina [Niemcy] dotarła do Eddingtona [Anglia] za pośrednictwem de Sittera [Holandia]. W toczącej się w Europie I Wojnie Światowej [1914-1918] Anglia i Niemcy były wrogami. Holandia jako państwo neutralne utrzymywała stosunki z Anglią i Niemcami.
- Na prośbę Eddingtona, Walter Sydney Adams (1876-1956) wykrył i zmierzył (1925) przesunięcie ku czerwieni w liniach widmowych Syriusza B.

NOETHER, Amalie Emmy (1882-1935), niemiecka matematyczka

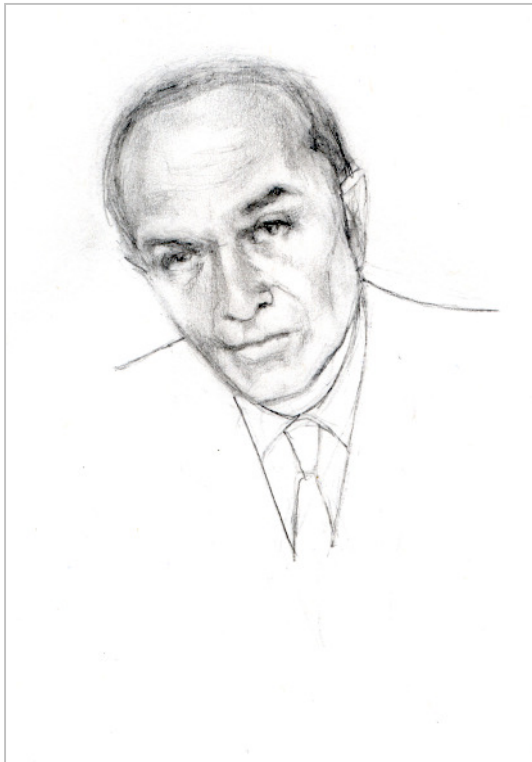


- Udowodniła (1918) twierdzenie wiążące zasady zachowania w fizyce z zasadami symetrii (twierdzenie Noether):
- Zasada zachowania energii wynika z jednorodności czasu.
- Zasada zachowania pędu wynika z jednorodności przestrzeni.
- Zasada zachowania momentu pędu wynika z izotropowości przestrzeni.

Ciekawostki

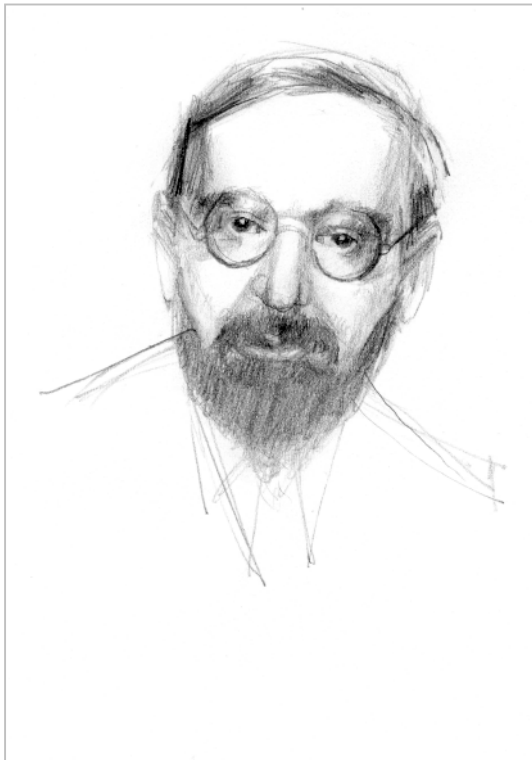
- Ojcem Emmy był Max Noether (1844-1921), znany matematyk niemiecki, rektor Uniwersytetu w Erlangen. Jego córka, zgodnie z ówczesnie panującym prawem, mogła studiować w latach (1900-1903) jedynie bez matrykulacji, uczęszczając jako wolna słuchaczka na wykłady z lingwistyki i matematyki.
- W 1904 przyznano kobietom prawo do studiowania na uniwersytetach.
- W 1919 przyznano kobietom prawo do habilitacji.

LORIA, Stanisław (1883-1958), polski fizyk



- Jako pierwszy w Polsce spopularyzował (1921) problematykę teorii względności.

KALUZA, Theodor Franz Eduard (1885-1954), niemiecki fizyk-teoretyk



- Sformułował (1921) w ramach OTW pięciowymiarową jednolitą teorię pola grawitacyjnego i elektromagnetycznego.

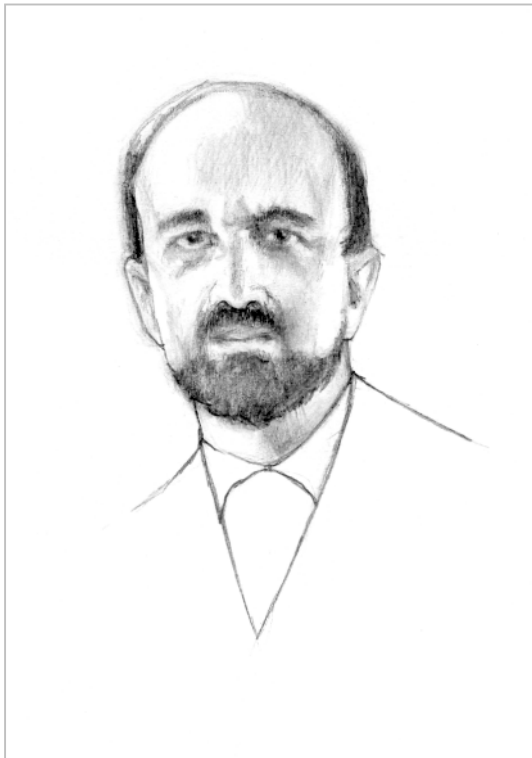
Einstein początkowo odniósł się sceptycznie do tej koncepcji. Później poświęcił temu pomysłowi wiele prac.

WEYL, Hermann Claus Hugo (1885-1955), niemiecki matematyk



- Wykazał (1917), że znikanie dywergencji tensora energii-pędu wynika z zasady wariacyjnej.
- Podał (1917) rozwiązanie próżniowych równań pola statycznego o symetrii osiowej.
- Sformułował (1918) pierwszą jednolitą teorię pola bazującą na uogólnieniu geometrii Riemanna.
- Zdefiniował (1918) bardzo przydatny w OTW nowy kowariantny tensor czwartego rzędu, nazywany tensorem krzywizny konforemnej lub tensorem Weyla.

FOKKER, Adriaan Daniël (1887-1972), holenderski fizyk-teoretyk

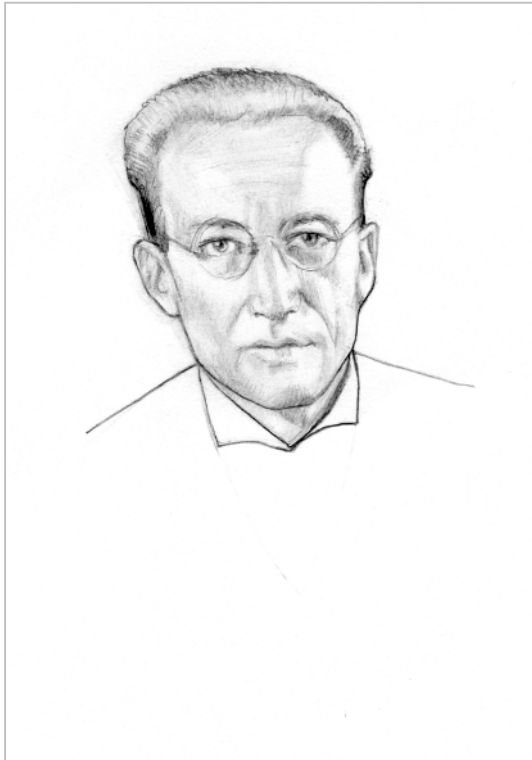


- Wykazał (1914) wspólnie z Einsteinem, że teoria Nordströma jest szczególnym przypadkiem teorii Einsteina-Grossmanna przy założeniu stałości wartości prędkości światła.

Ciekawostki

- Adriaan Daniël Fokker był również kompozytorem tworzącym w 31-tonowej skali muzycznej.

SCHRÖDINGER, Erwin (1887-1961), austriacki fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1933

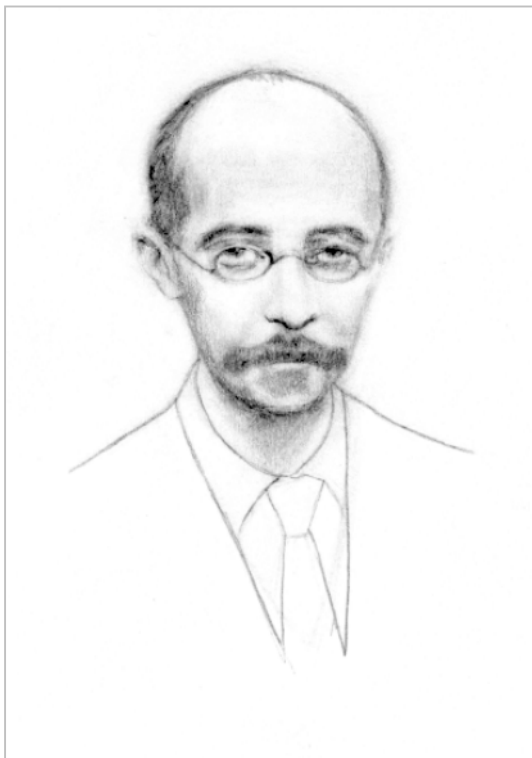


- Zajmował się między innymi teorią względności i jednolitą teorią pola.

Ciekawostki

- Erwin Schrödinger jest znany przede wszystkim jako jeden z twórców mechaniki kwantowej, pierwsze prace poświęcone tej teorii opublikował w 1926.

FRIEDMAN, Aleksandr Aleksandrowicz (1888-1925), rosyjski matematyk i fizyk

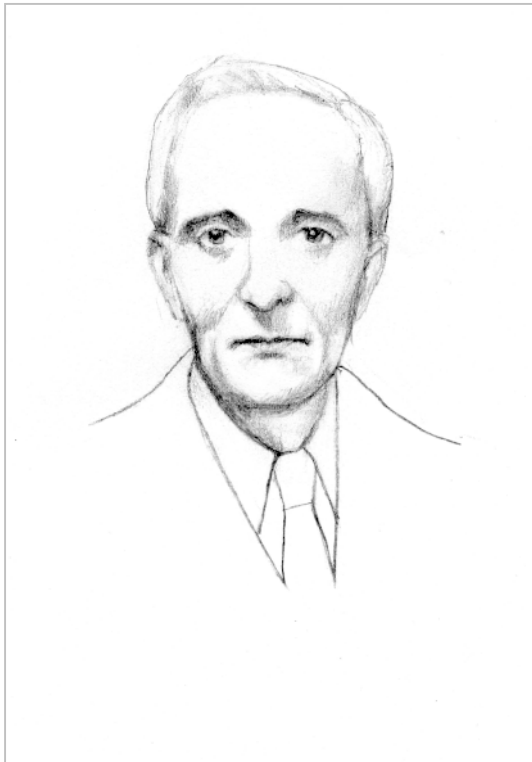


- Znalazł (1922 oraz 1924) niestacjonarne rozwiązanie równań pola Einsteina dla jednorodnego rozkładu masy, opisujące rozszerzający się wszechświat o zmiennej w czasie krzywiznie przestrzennej. W 1929 roku jego teoria została potwierdzona odkryciem ucieczki galaktyk przez Hubble'a.

Ciekawostki

- W 1905, jeszcze jako uczeń Drugiego Gimnazjum w Petersburgu, opublikował w *Mathematische Annalen* (wspólnie z Jakowem Tamarkinem – przyjacielem z ławy szkolnej) pracę naukową z matematyki.
- W swoim dorobku naukowym na czterdzieści osiem prac zaledwie cztery Friedman poświęcił ogólnej teorii względności. Praca *"O krzywiznie przestrzeni"* zajmuje czołowe miejsce na liście osiągnięć fizyki teoretycznej.

BRILLOUIN, Léon Nicolas (1889-1969), francusko-amerykański fizyk-teoretyk



- Opublikował książkę *"Relativity Reexamined"* (Academic Press, New York & London 1970).

Ciekawostki

- Jego ojciec Marcel Brillouin (1854-1948) oraz dziadek ze strony matki Éleuthère Mascart (1837-1908) byli również fizykami.

HUBBLE, Edwin Powell (1889-1953), amerykański astronom i kosmolog



- Odkrył (1929) oddalanie się (ucieczkę) galaktyk z szybkością wprost proporcjonalną do ich odległości od nas, porównując dopplerowskie przesunięcia ku czerwieni linii spektralnych światła pochodzącego z galaktyk i ich odległości.

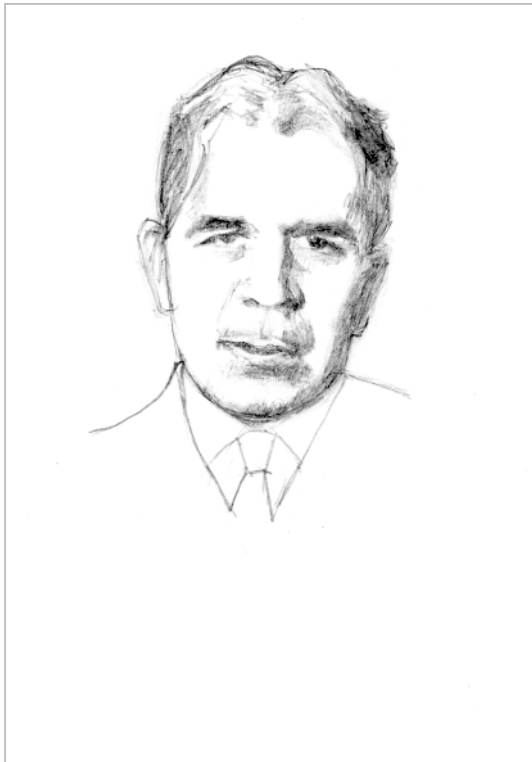
Fakt ten można interpretować jako rozszerzanie się przestrzeni dla wszystkich obserwatorów spoczywających względem otaczającej ich jednorodnie rozmieszczonej w skali wszechświata materii. Ekspansji ulega przestrzeń, wskutek czego obserwujemy pozorną ucieczkę galaktyk.

Obserwacje Hubble'a stały się podstawą teorii Wielkiego Wybuchu oraz potwierdzały poprawność rozwiązań Friedmana równań pola Einsteina opisujących rozszerzający się wszechświat.

Ciekawostki

- Edwin Powell Hubble początkowo zamierzał zostać prawnikiem.

WAWIŁOW, Siergiej Iwanowicz (1891-1951), radziecki fizyk



- W 1934 jego uczeń P. A. Czerenkow odkrył promieniowanie, zwane promieniowaniem Wawilowa-Czerenkowa, emitowane przez elektrony poruszające się w danym ośrodku z prędkością o wartości większej od wartości fazowej prędkości światła. Siedem lat po śmierci Wawilowa, za odkrycie tego zjawiska i jego wyjaśnienie, Czerenkow, Tamm i Frank otrzymali w 1958 Nagrodę Nobla z fizyki.
- Zajmował się między innymi historią fizyki. [Przetłumaczył na rosyjski Optykę Newtona.]
- Opublikował (1929) książkę: *"Eksperymentalne podstawy teorii względności"*.

KLEIN, Oscar Benjamin (1894-1977), szwedzki fizyk-teoretyk



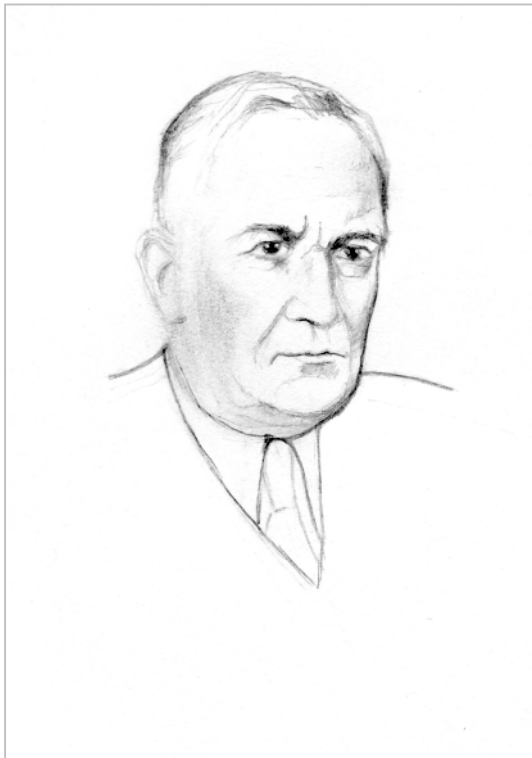
- Rozwinął pięciowymiarową teorię Kaluzy, unifikującą pola grawitacyjne i elektromagnetyczne, zapisując 28 kwietnia 1926 równanie Schrödingera w kowariantnej postaci w pięciowymiarowej przestrzeni Kaluzy (równanie Kleina).

LEMAÎTRE, Georges Henri Joseph Edouard (1894-1966), belgijski astrofizyk i kosmolog



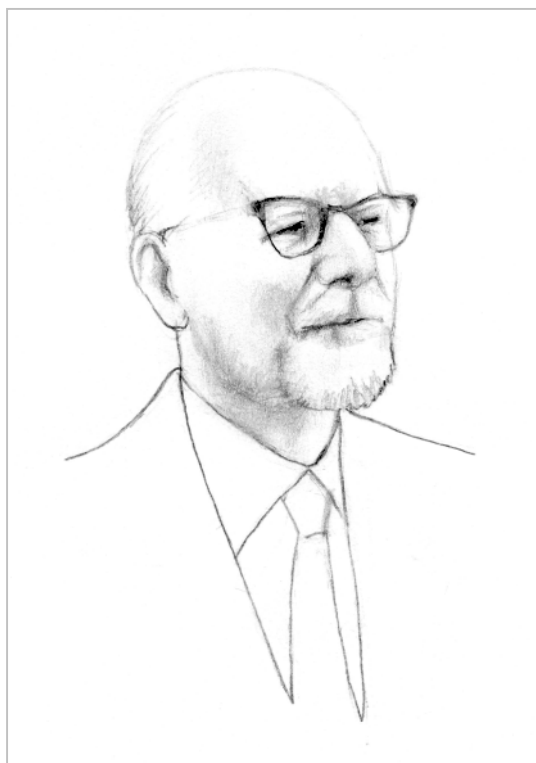
- Wykazał (1925), że w modelu de Sittera przestrzeń ulega ekspansji.
- Niezależnie od A. Friedmana podał pięć lat później (1927) rozwiązanie równań pola Einsteina opisujące rozszerzający się wszechświat.
- Jest jednym z twórców teorii Wielkiego Wybuchu.
- Zwrócił uwagę (1948) na rolę niestabilności grawitacyjnej w powstaniu galaktyk i gromad galaktyk.
- Postulował (1948) istnienie korpuskularnego „promieniowania resztkowego”.

TAMM, Igor Jewgeniewicz (1895-1971), radziecki fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1958



- Opracował (1924) elektrodynamikę ośrodków anizotropowych w ramach szczególnej teorii względności.
- Sformułował (1937) wspólnie z I. M. Frankiem teorię promieniowania Czerenkowa emitowanego przez elektrony poruszające się w danym ośrodku z prędkością o wartości większej od wartości fazowej prędkości światła.

SYNGE, John Lighton (1897-1995), irlandzki fizyk-teoretyk i matematyk



- Opracował (1937) mechanikę relatywistyczną ośrodków ciągłych (relatywistyczną hydrodynamikę).

- Jest autorem książek:

Tensorial Methods in Dynamics (1936),

Relativity: The Special Theory (1956),

The relativistic gas (1957),

Relativity: The General Theory (1960),

Talking about relativity (1970),

oraz współautorem książki

Tensor Calculus (1949).

Pozycje zaznaczone kolorem niebieskim zostały przetłumaczone na język polski.

Ciekawostki

- Synge proponował, aby nazywać teorię względności teorią rozchodzenia się sygnałów.

FOCK, Władimir Aleksandrowicz (1898-1974), radziecki fizyk-teoretyk



- Niezależnie od Oskara Kleina zapisał 30 czerwca 1926 równanie Schrödingera w kowariantnej postaci w pięciowymiarowej przestrzeni Kaluzy dla cząstek o spinie równym zero (bez spinu) – (równanie Kleina-Focka).

- W. A. Fock i D. D. Iwanienko uogólnili (1929) równanie Diraca na przypadek pola grawitacyjnego.

- W. A. Fock i D. D. Iwanienko opracowali (1929) teorię równoległego przeniesienia spinorów.

- Niezależnie od Einsteina i współpracowników wyprowadził (1939) z równań pola Einsteina przybliżone równania ruchu dla ciał rozciągniętych o symetrii sferycznej.

- Wyznaczył (1941) 10 całek ruchu środka masy dwóch ciał w OTW.

- Otrzymał (1956) z równań pola Einsteina równania ruchu dla rotujących ciał.

INFELD, Leopold (1898-1968), polski fizyk-teoretyk



- Leopold Infeld i Bartel L. van der Waerden wykorzystali (1933) rachunek spinorowy do opisu oddziaływania pola grawitacyjnego na wirujące cząstki.
- Albert Einstein, Leopold Infeld i Banesh Hoffmann opracowali (1938) aproksymacyjną metodę badania ruchu ciężkich ciał w ramach ogólnej teorii względności, nazywaną metodą EIH (Einstein-Infeld-Hoffmann).
- Opublikował wiele prac o problemie ruchu w OTW.
- Badał promieniowanie grawitacyjne i strukturę jego źródeł.

PAULI, Wolfgang Ernst (1900-1958), szwajcarski fizyk-teoretyk pochodzenia austriackiego, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1945



- Jest autorem 246 stronicowej monografii na temat teorii względności zamieszczonej w Encyklopedii Nauk Matematycznych w 1921.
 - A. Einstein i W. Pauli opublikowali w 1943 pracę: *Nieistnienie regularnych stacjonarnych rozwiązań relatywistycznych równań pola*.
- Ciekawostki**
- Ojciec Pauliego był profesorem chemii na Uniwersytecie Wiedeńskim, na imię miał również Wolfgang, i dlatego jego syn swoje wczesne prace podpisywał jako Wolfgang Pauli, Jr.
 - Drugie imię otrzymał Pauli na cześć swojego ojca chrzestnego, którym był Ernst Mach.
 - Felix Klein, jako redaktor Encyklopedii Nauk Matematycznych, zwrócił się do Arnolda Sommerfelda z prośbą o napisanie artykułu na temat teorii względności. Sommerfeld zlecił to zadanie swojemu studentowi Wolfgangowi Pauliemu. 246 stronicowa monografia Pauliego jest jedną z ciekawszych prac dotyczących teorii względności.

DIRAC, Paul Adrien Maurice (1902-1984), brytyjski fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1933



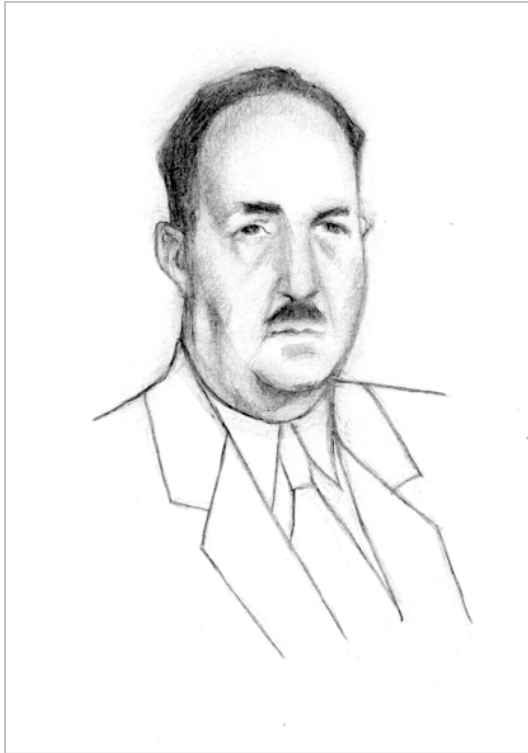
- Podał (1928) relatywistyczne równanie falowe.
- Przewidział istnienie antyelektronu.
- Sformułował (1937) hipotezę, że uniwersalne stałe fizyczne są funkcjami czasu. W szczególności stała grawitacji wg Diraca maleje odwrotnie proporcjonalnie do wieku wszechświata.
- Rozwinął (1970) teorię spinorów, wprowadzonych po raz pierwszy przez Cartana.

WIGNER, Eugene Paul (1902-1995), amerykański fizyk-teoretyk pochodzenia węgierskiego, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1963



- Przyczynił się do rozwoju relatywistycznej mechaniki kwantowej.

ROBERTSON, Howard Percy (1903-1961), amerykański kosmolog



- Wykazał (1928) niezależnie od Lemaître'a, że w modelu de Sittera przestrzeń ulega ekspansji.
- Zapisał (1929) oba kosmologiczne rozwiązania Friedmana w postaci jednego wyrażenia, bywa ono nazywane metryką F-L-R-W (Friedman-Le-maître-Robertson-Walker).
- Dokonał (1933) twórczego przeglądu osiągnięć kosmologii relatywistycznej w latach 1917-1932.
- Podał (1937) relatywistyczny opis efektu Poyntinga (efekt Poyntinga-Robertsona).

Ciekawostki

- Robertson zginął 26 sierpnia w Pasadenie w wypadku samochodowym.

CZERENKOW, Paweł Aleksiejewicz (1904-1990), radziecki fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1958



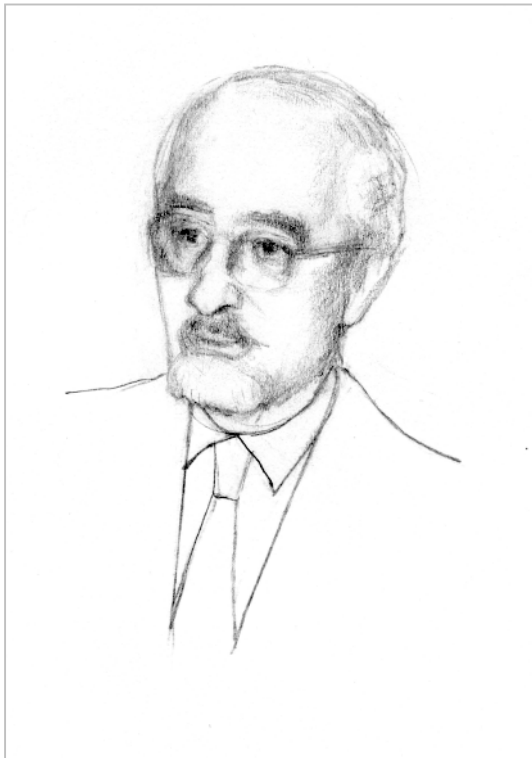
- Odkrył (1934) promieniowanie, zwane promieniowaniem Czerenkowa, emitowane przez elektrony poruszające się w danym ośrodku z prędkością o wartości większej od wartości fazowej prędkości światła.

MC CREA, Sir William Hunter (1904-1998), irlandzki astrofizyk, kosmolog i matematyk



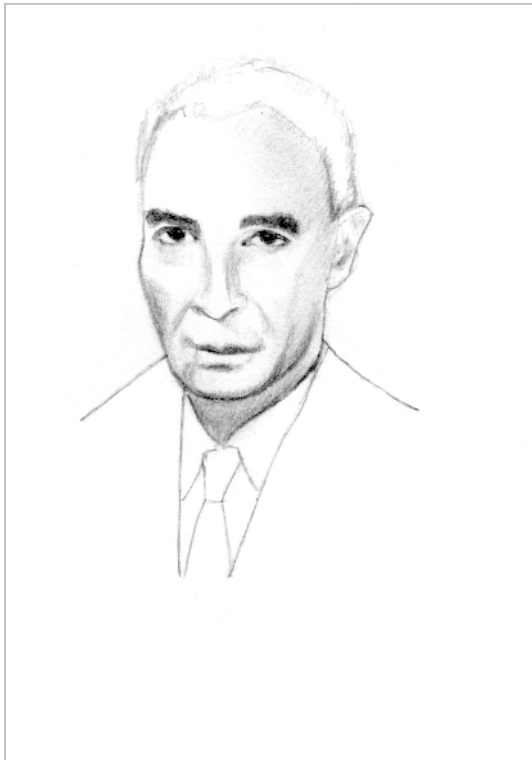
- Razem z Edwardem Arthurem Milne (1896-1950) wyprowadzili (1934) w ramach teorii Newtona równania Friedmana opisujące rozszerzający się wszechświat, stworzyli podstawy kosmologii neonewtonowskiej.
- Wniósł wkład w rozwój teorii stanu stacjonarnego wszechświata.

MØLLER, Christian (1904-1980), duński fizyk-teoretyk



- Zaproponował metodę wyprowadzania ogólnego przekształcenia Lorentza (metoda Møllera).
- Wprowadził (1958) nowy pseudotensor energii-pędu w teorii grawitacji (pseudotensor energii-pędu Møllera).
- Zmodyfikował (1978) ogólną teorię względności, konstruując nową teorię pola w przestrzeni Weintzenböcka (teoria grawitacji Møllera).

OPPENHEIMER, J. Robert (1904-1967), amerykański fizyk



- J. Robert Oppenheimer i Robert Serber wyznaczyli (1938) ponownie wartość granicznej masy gwiazdy (podaną przez Landaua w 1932), uwzględniając siły jądrowe.
- J. Robert Oppenheimer i George Michael Volkoff (1914-2000) podali (1939) model sferycznie symetrycznej, statycznej gwiazdy neutronowej.
- J. R. Oppenheimer i H. Snyder wykazali (1939), wykorzystując równania pola Einsteina, że po wyczerpaniu się wszystkich termojądrowych źródeł energii, dostatecznie masywna gwiazda powinna ciągle się kurczyć. Zjawisko to nazywane jest grawitacyjnym zapadaniem.

Ciekawostki

- Co oznacza litera J. w nazwisku Oppenheimera? Wg Rudolfa Peierlsa litera J. „nic nie oznacza”.

ROSENFELD, Léon (1904-1974), belgijski fizyk-teoretyk



- Podjął (1930) próbę skwantowania grawitacji.

BETHE, Hans Albrecht (1906-2005), amerykański fizyk i astrofizyk pochodzenia niemieckiego, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1967



- W maksymalnym stopniu wykorzystał (1939) prawo równoważności masy i energii do wyjaśnienia procesów energetycznych zachodzących we wnętrzach gwiazd.

Ciekawostki

- G. Gamow dopisał H. Bethego bez jego wiedzy do pracy, którą napisał wspólnie z R. A. Alpherem. Dzięki temu żartowi praca [R. A. Alpher (and H. Bethe) and G. Gamow: The Origin of Chemical Elements. *Physical Review* **73**, 7 (April 1, 1948) 803-804.] jest powszechnie kojarzona jako „alfa, beta, gamma”.

GÖDEL, Kurt (1906-1978), amerykański matematyk pochodzenia austriackiego

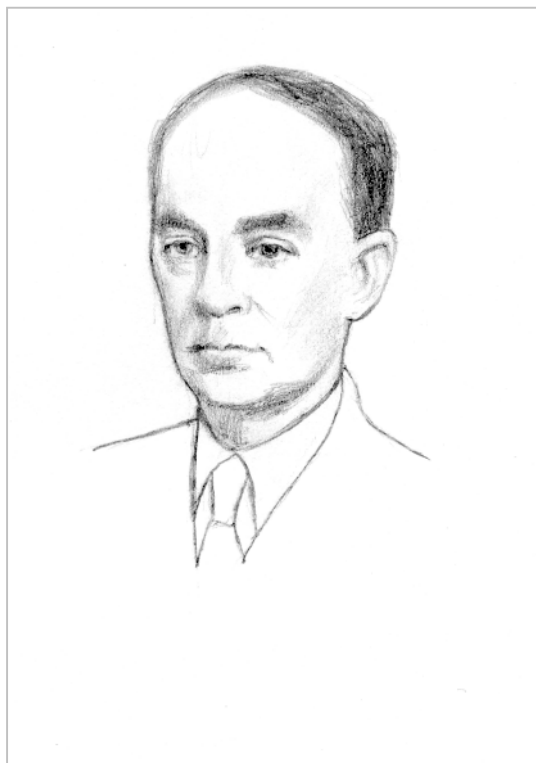


- Znalazł (1949 i 1952) rozwiązania równań pola (z członem kosmologicznym różnym od zera) opisujące modele wszechświata o stałym promieniu przestrzennym, w którym materia wiruje wokół osi przechodzącej przez środek masy.

Ciekawostki

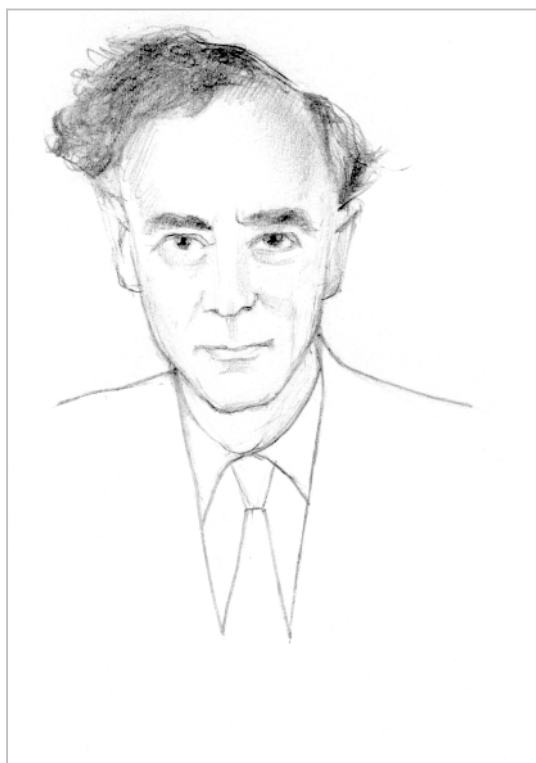
- Kurt Gödel chorował na depresję, był hipochondrykiem.

FRANK, Ilja Michajłowicz (1908-1990), radziecki fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1958



- Sformułował (1937) wspólnie z I. E. Tammem teorię promieniowania Czerenkowa.

LANDAU, Lew Dawidowicz (1908-1968), radziecki fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1962

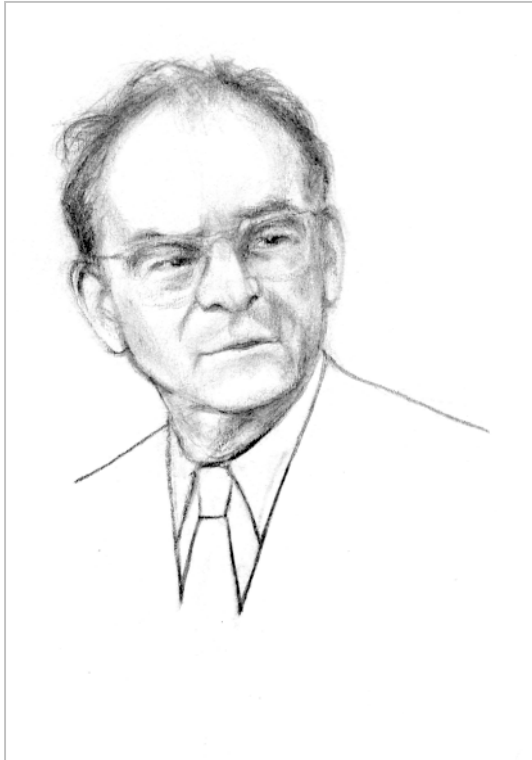


- Jest współautorem dziesięciotomowego kursu fizyki teoretycznej, w tym tomu poświęconego STW i OTW. Między innymi można w nim znaleźć:
 1. Wyrażenie na pseudotensor energii pędu pola grawitacyjnego.
 2. Wzór kwadrupolowy na moc energii wysyłanej w postaci fal grawitacyjnych przez poruszające się ciała [będące emiterami].
- Wyzначzył (1932) w przypadku relatywistycznym graniczną (nieprzekraczalną) masę gwiazdy, będącej kulą gazu Fermiego, gwarantującą jej stabilność. Masa graniczna wynosi $2,8 \cdot 10^{30}$ kg, czyli 1,4 masy Słońca.

Ciekawostki

- 7 stycznia 1962 Landau uległ poważnemu wypadkowi samochodowemu na trasie z Moskwy do Dubnej. Dopiero po trzech miesiącach odzyskał przytomność. Przez sześć lat był podtrzymywany przy życiu.

WEISSKOPF, Victor Frederick (1908-2002), amerykański fizyk-teoretyk



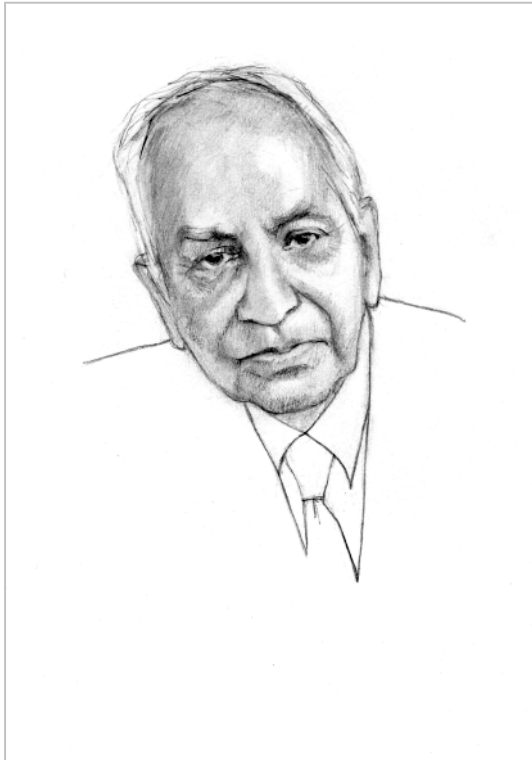
- Badał (1960) wygląd szybko poruszających się obiektów.

WALKER, Arthur Geoffrey (1909-2001), brytyjski matematyk i kosmolog



- Niezależnie od H. P. Robertsona uogólnił (1936) wzory dotyczące metryki czasoprzestrzeni, zawarte w obu kosmologicznych pracach Friedmana, zapisując je w postaci jednego wyrażenia zwanego metryką F-L-R-W (Friedman-Lemaître-Robertson-Walker).
- Dokonał analizy (1933) pojęcia odległości przestrzennej w OTW.
- Przyczynił się do rozwoju (1934, 1935, 1937) Kinematycznej Teorii Względności Milne'a.

CHANDRASEKHAR, Subrahmayan (1910-1995), amerykański astrofizyk pochodzenia indyjskiego, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1983



- Wykazał (1931), że białe karły są stabilne tylko wtedy, gdy ich masa jest mniejsza niż $1,822 \cdot 10^{30}$ kg, czyli 0,91 masy Słońca.
- Analizował metryki Schwarzschilda, Reissnera-Nordströma i Kerra.
- Opracował matematyczne metody badania czarnych dziur.
- Rozwinął teorię fal grawitacyjnych.
- W znacznym stopniu przyczynił się do wyjaśnienia problemów dotyczących budowy, struktury, stabilności i ewolucji gwiazd.

Ciekawostki

- Stryjem S. Chandrasekhara był sir Chandrasekhara Venkata Raman (1888-1970), fizyk indyjski, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1930.

PIETROW, Aleksiej Zinowiewicz (1910-1972), radziecki fizyk-teoretyk

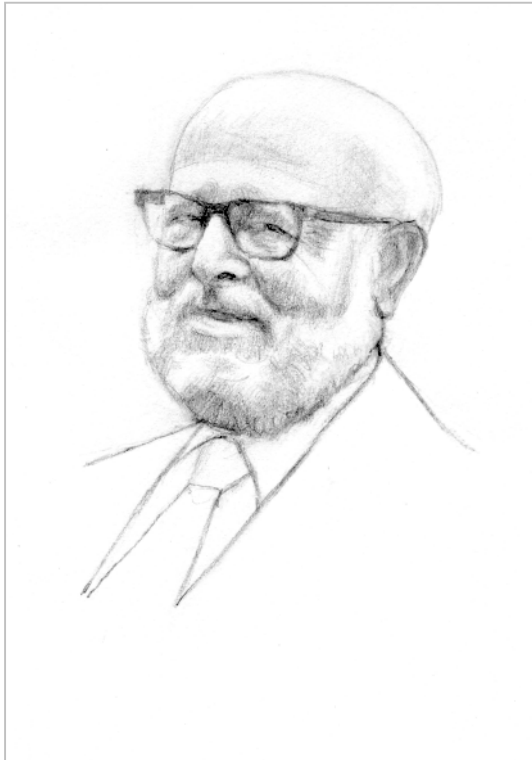


- Pokazał (1954), że istnieją trzy i tylko trzy rodzaje pól grawitacyjnych w próżni (trzy typy Pietrowa). Podział ten wynika z własności tensora krzywizny konforemnej Weyla.
- Sklasyfikował (1954) pola grawitacyjne według grup ciągłych przekształceń Lie (grup ruchów, grup przekształceń konforemnych, grup przekształceń rzutowych).

Ciekawostki

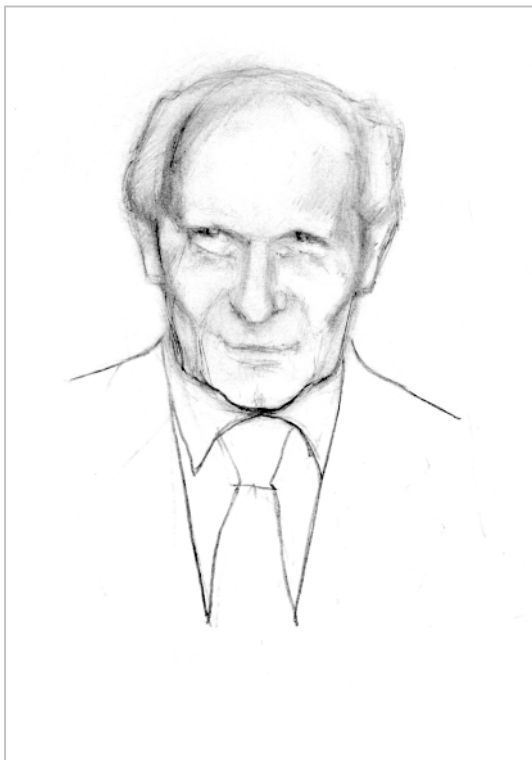
- Aleksiej był jedenastym z dwanaściorga dzieci wiejskiego pastora. Gdy miał pięć lat, jego ojciec zmarł na gruźlicę. Wkrótce po tym spłonął doszczętnie jego dom rodzinny. Dwoje najmłodszych dzieci (Aleksieja i jego młodszego brata) adoptowała ich ciotka ze strony ojca, Jekatierina Wasiliewna Pietrowa, która dała im swoje nazwisko.

FOWLER, William Alfred (1911-1995), amerykański fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1983



- Jest jednym z twórców astrofizyki jądrowej oraz współautorem teorii syntezy pierwiastków we wnętrzach gwiazd opublikowanej w 1957.

SZEKERES, George (1911-2005), australijski matematyk



- Zaproponował (1960) niezależnie od M. D. Kruskala układ współrzędnych pozwalający pozbyć się pozornych osobliwości związanych z metryką Schwarzschilda.

Ciekawostki

- Peter Szekeres – syn George’a – jest znanym fizykiem-teoretykiem.
- George Szekeres grał na skrzypcach i altówce.

WHEELER, John Archibald (1911-2008), amerykański fizyk-teoretyk



- Jest jednym z twórców (1962) geometrodynamiki, która zajmuje się badaniem struktury czasoprzestrzeni bardzo małych obszarów. Opracował geometrodynamiczne modele masy i ładunku.
- Zaproponował nazwę **czarna dziura** (1967 – wykład, 1968 – artykuł) oraz frazę **czarne dziury nie mają włosów** (black holes have no hair).
- C. W. Misner, K. S. Thorne i J. A. Wheeler są autorami znanego podręcznika: *Gravitation* (1973).
- Jest współautorem również innych książek o teorii względności.
- W 2003 otrzymał Nagrodę Einsteina *Za pionierskie badania w OTW, dotyczące promieniowania grawitacyjnego, kwantowej grawitacji, czarnych dziur, symetrii w równaniach Einsteina oraz przewodzenie i dostarczanie inspiracji generacjom badaczy OTW.*
- Studentami Wheelera byli między innymi: Richard Feynman, Kip Thorne oraz Hugh Everett.

SNYDER, Hartland Sweet (1913-1962), amerykański fizyk-teoretyk



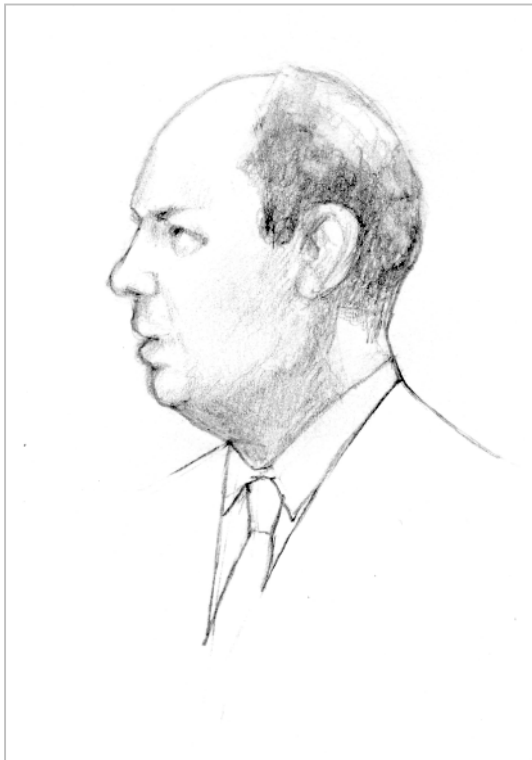
- J. R. Oppenheimer i H. Snyder wykazali (1939), wykorzystując równania pola Einsteina, że po wyczerpaniu się wszystkich termojądrowych źródeł energii, dostatecznie masywna gwiazda powinna ciągle się kurczyć. Zjawisko to nazywane jest grawitacyjnym zapadaniem.
- Przedstawił (1947) schemat relatywistycznego kwantowania czasoprzestrzeni.

ZELDOWICZ, Jakow Borysowicz (1914-1987), radziecki fizyk, fizyko-chemik, astrofizyk i kosmolog



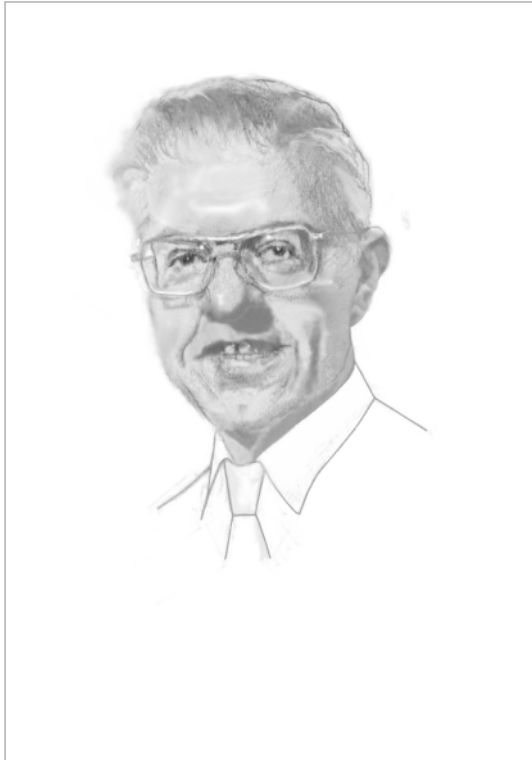
- Przedmiotem jego badań, poczynając od 1962, były astrofizyka relatywistyczna, kosmologia relatywistyczna oraz kwantowa teoria grawitacji. W szczególności zajmował się zjawiskami umożliwiającymi obserwację czarnych dziur, emisją fal grawitacyjnych, inflacyjną fazą kreacji wszechświata, fluktuacjami promieniowania tła, tworzeniem się galaktyk i gromad, wielkoskalową strukturą wszechświata.
- Jest współautorem trzech książek, w tym *Astrofizyki relatywistycznej* wydanej w 1967.

BERGMANN, Peter Gabriel (1915-2002), amerykański fizyk-teoretyk



- A. Einstein i P. Bergmann uogólnili (1938) pięciowymiarową teorię Kaluzy.
- Opublikował wiele prac oraz trzy książki poświęcone teorii względności.
- Tuż przed śmiercią dowiedział się, że otrzyma razem z Johnem Wheelerem Nagrodę Einsteina (2003) za *pionierskie badania w OTW, dotyczące promieniowania grawitacyjnego, kwantowej grawitacji, czarnych dziur, symetrii w równaniach Einsteina oraz przewodzenie i dostarczanie inspiracji generacjom badaczy OTW.*

HOYLE, Sir Fred (1915-2001), brytyjski astronom



- Przedstawił (1948) wersję teorii stanu stacjonarnego wszechświata bazującą na modyfikacji równań pola OTW. Modyfikacja ta polegała na dodaniu do lewej strony równań pola C-członu opisującego kreację materii, aby wytłumaczyć ekspansję.
- Zaproponował (1950), w jednej z prowadzonych przez niego pogadanek radiowych, żartobliwą nazwę – Wielki Wybuch – dla konkurencyjnej teorii.
- We współpracy z E. M. Burbidge, G. R. Burbidge i W. A. Fowlerem wyjaśnił (1957) jak powstają pierwiastki we wnętrzach gwiazd.

Ciekawostki

- Komitet Nagrody Nobla pominął Hoyle'a, gdy nagradzano W. A. Fowlera w 1983 za wkład do pracy zespołu B2FH.

LICHNEROWICZ, André (1915-1998), francuski matematyk i fizyk-teoretyk



- Opublikował ponad 350 artykułów i książek, poświęconych między innymi geometrii różniczkowej, przestrzeniom Riemanna, grupom transformacji, problemowi Cauchy'ego w odniesieniu do równań OTW, falom grawitacyjnym, relatywistycznej hydrodynamice i magnetohydrodynamice.

LIFSZIC, Evgenij Michajłowicz (1915-1985), radziecki fizyk-teoretyk



- Jest współautorem dziesięciotomowego kursu fizyki teoretycznej, w tym tomu poświęconego STW i OTW. Między innymi można w nim znaleźć:

1. Wyrażenie na pseudotensor energii pędu pola grawitacyjnego.

2. Wzór kwadrupolowy na moc energii wysyłanej w postaci fal grawitacyjnych przez poruszające się ciała [będące emiterami].

- Sformułował (1946) teorię niestabilności w rozszerzającym się wszechświecie.

- Badał osobliwości w kosmologicznych rozwiązaniach równań OTW.

Ciekawostki

- Przez ponad dwadzieścia lat był zastępcą redaktora czasopisma Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики.

DICKE, Robert Henry (1916-1997), amerykański fizyk



- Opracował (1961) wspólnie z Carlem Bransem skalarno-tensorową teorię grawitacji zakładającą, że „stała” grawitacji zmniejsza się z szybkością jednej części na 10^{11} w ciągu roku.

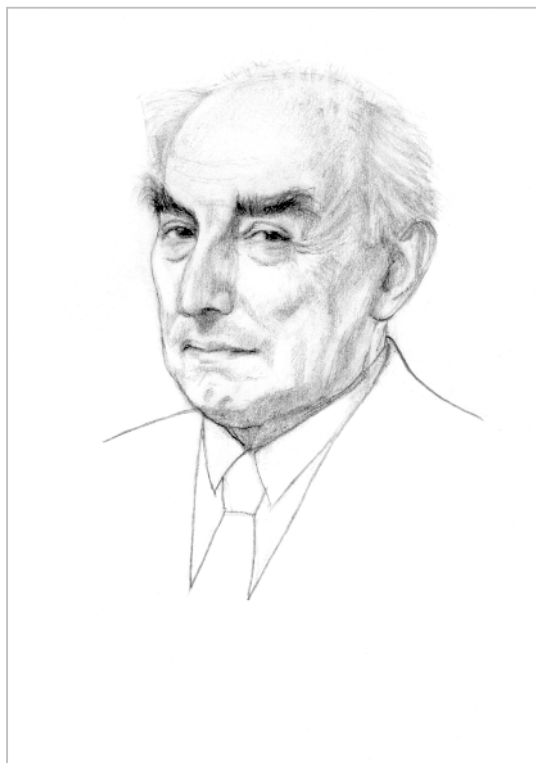
- Eksperymentalnie potwierdził (1964) równoważność masy grawitacyjnej i inercyjnej z dokładnością do 10^{-11} .

- Dicke i współpracownicy przedstawili (1965) hipotezę, że wszechświat jest wypełniony mikrofalowym promieniowaniem tła.

- Dicke i James Edwin Peebles w 1979 zwrócili uwagę na „problem płaskości”. W sekundę po Wielkim Wybuchu gęstość materii we wszechświecie powinna być zbliżona z dokładnością do piętnastego miejsca po przecinku do wartości krytycznej. W przeciwnym przypadku nastąpiłby Wielki Kolaps lub stan rozrzedzenia uniemożliwiający powstanie galaktyk.

- Przeprowadził (1976) wraz z zespołem nowy test zasady równoważności bazujący na laserowym pomiarze odległości Ziemia-Księżyc.

GINZBURG, Witalij, Łazarewicz (1916-2009), rosyjski fizyk-teoretyk, astrofizyk i historyk fizyki, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 2003



- Jest autorem dociekliwych prac poświęconych historii i metodologii teorii względności.
- Przedmiotem jego badań była ponadto astrofizyka promieniowania kosmicznego, teoria radio emisji pulsarów oraz elektrodynamika czarnych dziur.
- W kwietniu 2002 Ginzburg opublikował kolejną wersję listy (pierwsza powstała w 1971) problemów fizyki i astrofizyki, które są obecnie szczególnie ważne i interesujące. Na świecie żyje ponad pół miliona tworzących fizyków. Lista Ginzburga jest wskazaniem tego, co każdy fizyk wiedzieć powinien, ma pomóc zwłaszcza młodym badaczom w wyborze zagadnień, którymi warto się zająć.

Pełna, oryginalna lista Ginzburga wraz z omówieniem znajduje się w *УФН* **172**, 2 (2002) 213-219.

PAIS, Abraham (1918-2000), holendersko-amerykański fizyk-teoretyk i historyk nauki

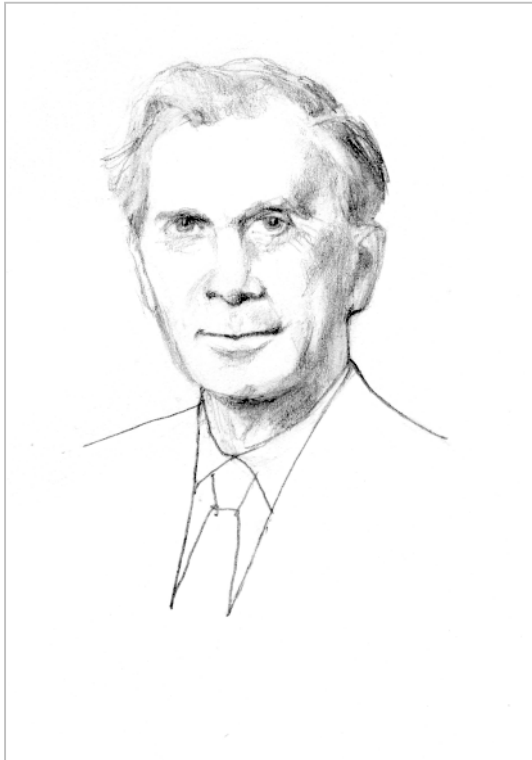


- Jest autorem kultowej biografii Alberta Einsteina opublikowanej w 1982. Istnieje polski przekład wydany w 2001.

Ciekawostki

- Od 1978 głównym przedmiotem zainteresowań Abrahama Paisa stała się historia nauki.

RYLE, Sir Martin (1918-1984), brytyjski radio-astronom, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1974



- M. Ryle i A. Hewish opracowali (1960) metodę syntezy apertury, dzięki czemu można zastąpić obserwacje dużym radioteleskopem wieloma małymi.
- M. Ryle i R. W. Clarke dokonali (1961) obserwacji rozmieszczenia radioźródeł, które nie potwierdzały przewidywań teorii stanu stacjonarnego.

BONDI, Sir Hermann (1919-2005), brytyjski kosmolog i matematyk urodzony w Austrii

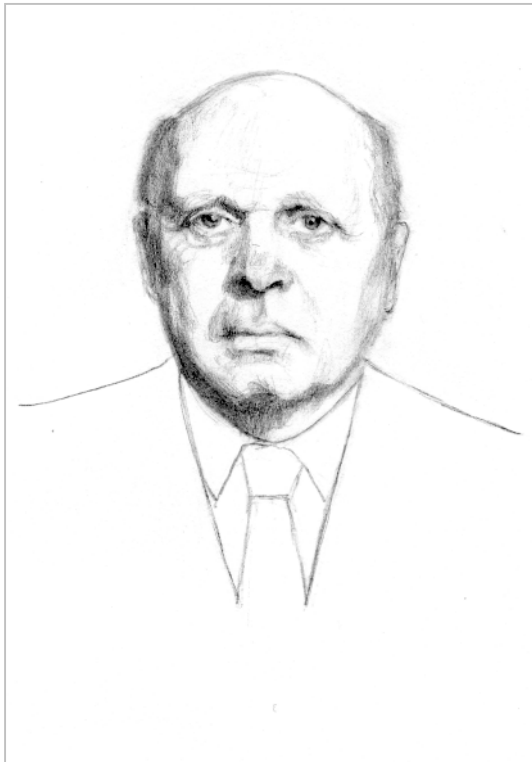


- Hermann Bondi i Thomas Gold (1920-2004) zaproponowali (1948) model stanu stacjonarnego rozszerzającego się wszechświata oparty o idealną zasadę kosmologiczną, głoszącą, że własności wszechświata nie zależą od położenia obserwatora i od czasu dokonywania obserwacji, oraz założenie o ciągłym tworzeniu się materii (teoria Bondiego-Golda).
- Opublikował cykl 16 prac poświęconych falam grawitacyjnym.

Komentarz

- Hipotezę stanu stacjonarnego Bondiego-Golda można by nazwać teorią ciągle zachodzących Mikro Wybuchów. Została ona wyparta przez teorię jednego Wielkiego Wybuchu.

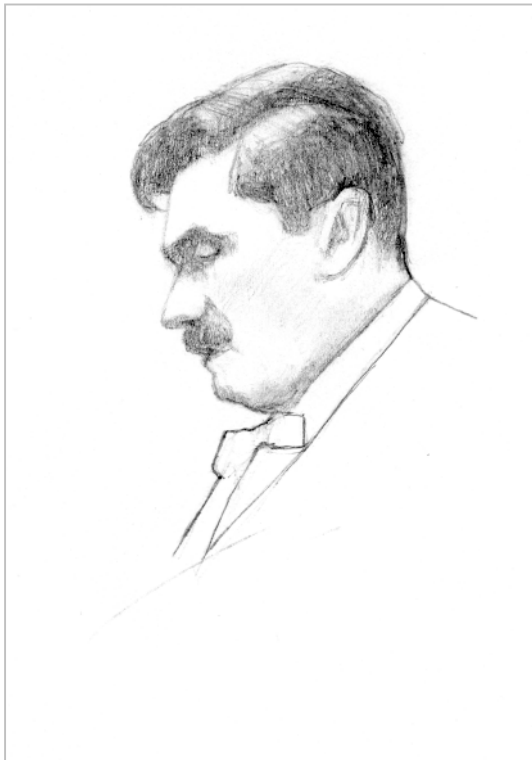
CHAŁATNIKOW, Isaak Markowicz (ur. 1919), rosyjski fizyk-teoretyk



Tematyka badawcza

- Hydrodynamika relatywistyczna
- Astrofizyka relatywistyczna
- Kosmologia relatywistyczna

POUND, Robert Vivian (1919-2010), amerykański fizyk-eksperymentator



- R. V. Pound i G. A. Rebka zmierzili (1960) w warunkach laboratoryjnych przesunięcie linii widmowych spowodowane polem grawitacyjnym Ziemi, wykorzystując efekt Mössbauera.

WEBER, Joseph (1919-2000), amerykański fizyk

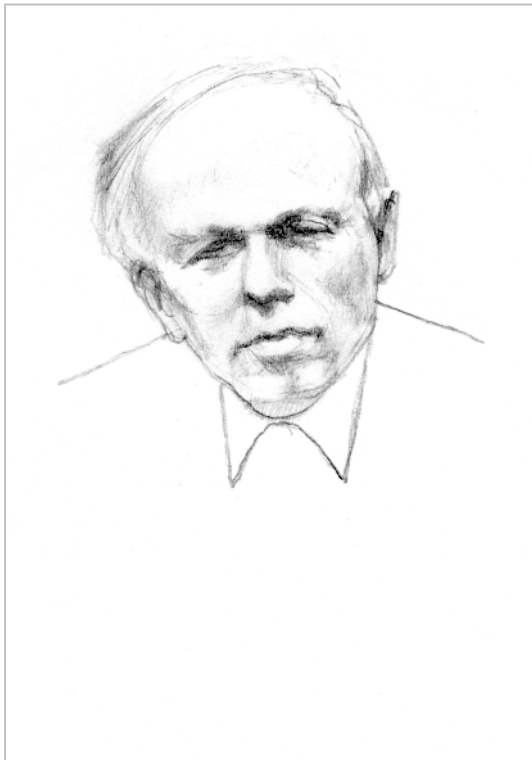


- Badał fale grawitacyjne. Zaprojektował i zbudował (1960) pierwszy detektor promieniowania grawitacyjnego.

Ciekawostki

- Joseph Weber znany jest również dzięki pionierskim pracom z elektroniki kwantowej.

SACHAROW, Andriej Dymitriewicz (1921-1989), radziecki fizyk-teoretyk, laureat Pokojowej Nagrody Nobla w 1975



- Pierwszy zasugerował, że we wszechświecie może istnieć wielka ilość materii w postaci słabo oddziałujących masywnych cząstek. Materia ta nazywana jest także zimną ciemną materią.
- Postulował (1967) w pracy *Naruszenie CP niezmienniczości, C asymetria i barionowa asymetria wszechświata*, że podczas Wielkiego Wybuchu wystąpiła nadwyżka materii nad antymaterią. Ta tzw. asymetria barionowa (na każdy miliard antybarionów utworzyło się miliard i jeden barionów) umożliwiła powstanie wszechświata. Inaczej mówiąc, w promieniowaniu reliktowym powinniśmy obserwować miliard fotonów na każdy barion we wszechświecie. W przypadku braku asymetrii barionowej materia i antymateria uległyby anihilacji.
- Badał własności parującej czarnej dziury (promieniowanie Hawkinga).

YANG, Chen Ning (ur. 1922), amerykański fizyk-teoretyk chińskiego pochodzenia, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1957

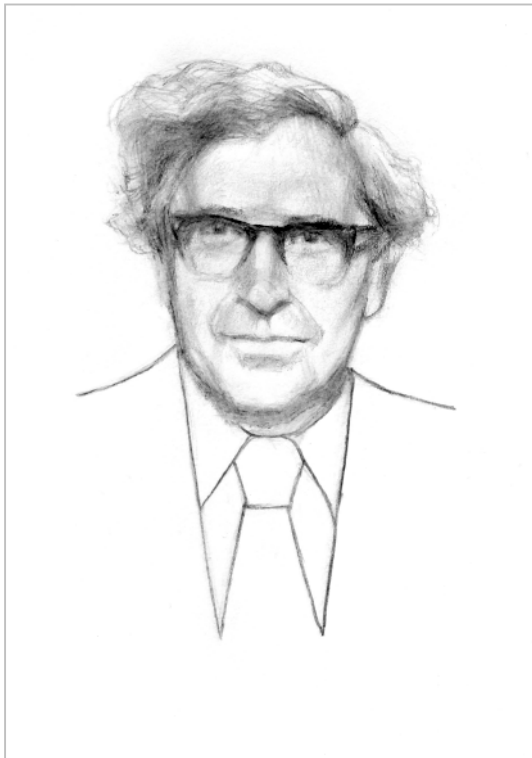


- Podjął (1947) próbę skwantowania czasoprzestrzeni.
- C. N. Yang i R. Mills zainicjowali (1954) rozwój teorii z cechowaniem.

Ciekawostki

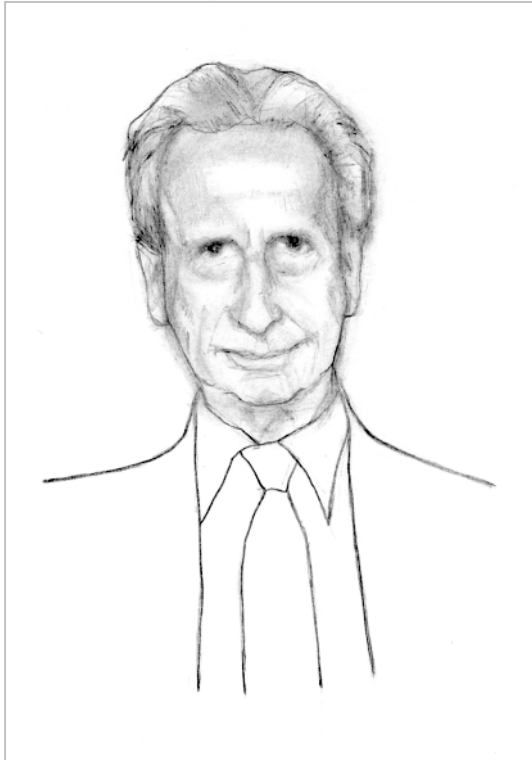
- T.-D. Lee i C. N. Yang sformułowali (10/1956) hipotezę, że zasada zachowania parzystości nie jest spełniona w oddziaływaniach słabych. Pani Chien Shiung Wu z zespołem wykazała (02/1957) doświadczalnie słuszność tej hipotezy.
- T.-D. Lee i C. N. Yang otrzymali Nagrodę Nobla z fizyki w następnym roku po dokonaniu odkrycia.

HEWISH, Antony (ur. 1924), brytyjski radioastronom, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1974



- M. Ryle i A. Hewish opracowali (1960) metodę syntezy apertury, dzięki czemu można zastąpić obserwacje dużym radioteleskopem wieloma małymi.
- Jego doktorantka Jocelyn Bell odkryła (1967) pulsara.

KRUSKAL, Martin David (ur. 1925), amerykański fizyk-teoretyk i matematyk



- Niezależnie od J. Szekeresa skonstruował (1960) układ współrzędnych świetnie współgrający z metryką Schwarzschilda.

LEE, Tsung Dao (ur. 1926), amerykański fizyk-teoretyk chińskiego pochodzenia



- Przedmiotem jego badań są między innymi dyskretność (nieciągłość) czasu, czarne dziury, gwiazdy solitonowe oraz ciemna energia.

Ciekawostki

- T.-D. Lee i C. N. Yang sformułowali (10/1956) hipotezę, że zasada zachowania parzystości nie jest spełniona w oddziaływaniach słabych. Pani Chien Shiung Wu z zespołem wykazała (02/1957) doświadczalnie słuszność tej hipotezy.
- T.-D. Lee i C. N. Yang otrzymali Nagrodę Nobla z fizyki w następnym roku po dokonaniu odkrycia.

SALAM, Abdus (1926-1996), pakistański fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1979

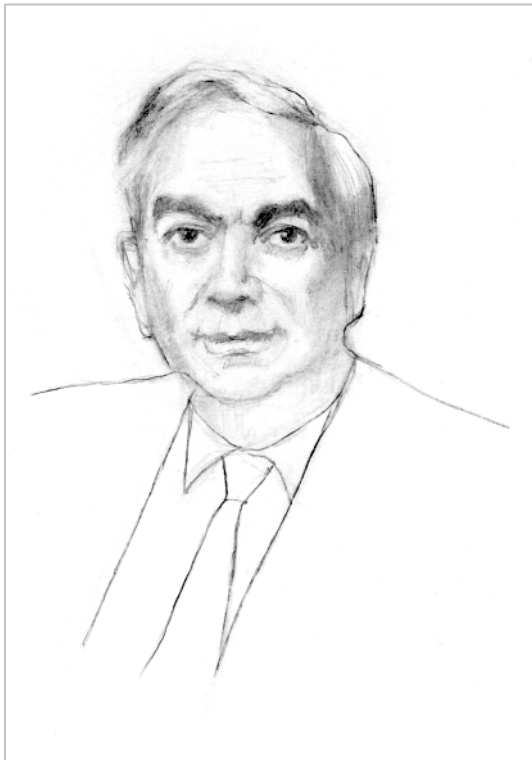


- Poświęcił kilka prac relatywistycznej teorii pola niestabilnych cząstek, relatywistycznej strukturze $SU(6)$, relatywistycznej teorii $U(6,6)$, czarnym dziurom oraz teorii Kaluzy-Kleina.

Ciekawostki

- Abdus Salam jest znany przede wszystkim z tego, że dokonał unifikacji oddziaływań elektromagnetycznych i słabych.
- Przez ponad trzydziestoletni okres, kiedy dyrektorem był Salam, w Międzynarodowym Centrum Fizyki Teoretycznej w Trieście gościło 60000 uczonych ze 150 państw.

SCIAMA, Dennis William (1926-1999), brytyjski kosmolog



- Przedstawił (1953) teorię grawitacji bazująca na zasadzie Macha (Postać lokalnych praw fizyki jest następstwem stanu całego wszechświata.).
- Rozwinął (1962) teorię czasoprzestrzeni ze skręceniem (teoria Einsteina-Cartana-Sciama-Kibble'a).
- M. J. Rees i D. W. Sciama przewidzieli (1969), że fluktuacje mikrofalowego promieniowania tła zostały spowodowane nierównomiernym rozkładem materii we wszechświecie.
- Sformułował hipotezę, że ciemna materia we wszechświecie składa się głównie z neutrin o długim czasie połowicznego rozpadu. Neutrino te produkują fotony, które mogą wywoływać obserwowalne zjawiska astrofizyczne takie, jak jonizacja międzygalaktycznego gazu.
- Przedmiotem jego badań była szeroko pojęta kosmologia: powstawanie galaktyk, osobliwości w kolapsujących gwiazdach w rozszerzającym się wszechświecie, kwazary, fluktuacje gęstości materii we wszechświecie, promieniowanie grawitacyjne, natura rentgenowskiej składowej w promieniowaniu tła, termodynamika a kosmologia, fale grawitacyjne a zasada Macha, początkowe etapy rozwoju wszechświata, grawitacja kwantowa, termodynamika czarnych dziur, znaczenie anizotropii promieniowania tła, neutrino i fotina w kosmologii i astronomii galaktycznej, symetria wszechświata, rola fizyki cząstek elementarnych w kosmologii i astronomii galaktycznej, ciemna materia, superstruny

i super-grawitacja.

TREDER, Hans Jürgen (1928-2006), niemiecki fizyk-teoretyk

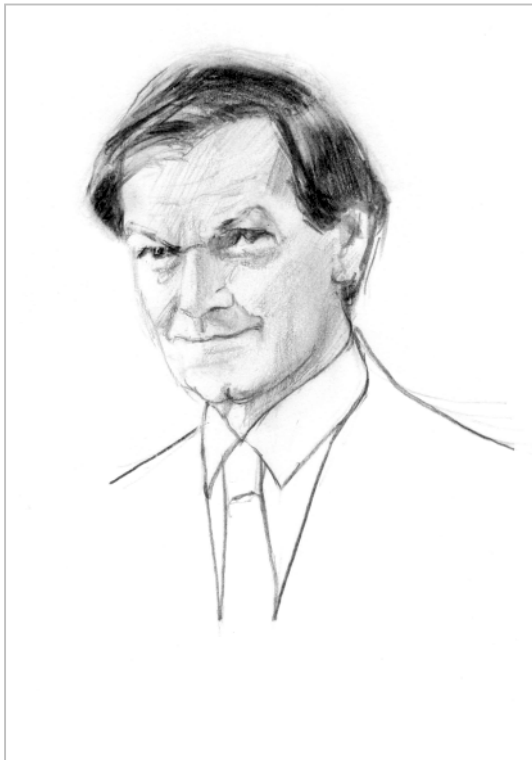


- Badał (1962, 1977) grawitacyjne fale uderzeniowe.
- Opracował (1966) tetradową teorię grawitacji.

Ciekawostki

- NRD = Niemiecka Republika Demokratyczna – jedno z dwu byłych państw na jakie zostały podzielone Niemcy po drugiej wojnie światowej

PENROSE, Sir Roger (ur. 1931), brytyjski matematyk i fizyk-teoretyk



- Sformułował (1960) spinorowe podejście do OTW.
- Zaproponował badanie globalnych własności czasoprzestrzeni.
- Badał fale grawitacyjne.
- Analizował własności związków przyczynowych między punktami czasoprzestrzeni.
- Podał interpretację tensora Weyla, który reprezentuje efekty pływowe nie zmieniające objętości elementu czasoprzestrzeni. Pozostała część tensora Riemanna opisuje odkształcenia zmieniające objętość.
- Udowodnił szereg twierdzeń o osobliwościach, w tym hipotezę „kosmicznego cenzora”, wg której każda osobliwość jest otoczona horyzontem zdarzeń.
- Opisał (1971) mechanizm umożliwiający pozyskiwanie energii rotacyjnej z czarnej dziury Kerra.

GLASHOW, Sheldon Lee (ur. 1932), amerykański fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1979



- Opublikował wiele prac poświęconych testom szczególnej i ogólnej teorii względności.

Tematyka badawcza

- Ciemna materia
- Neutrinowe testy STW
- Łamanie niezmienniczości Lorentza
- Testy zasady równoważności

KARDASZEW, Nikołaj Siemionowicz (ur. 1932), rosyjski astronom

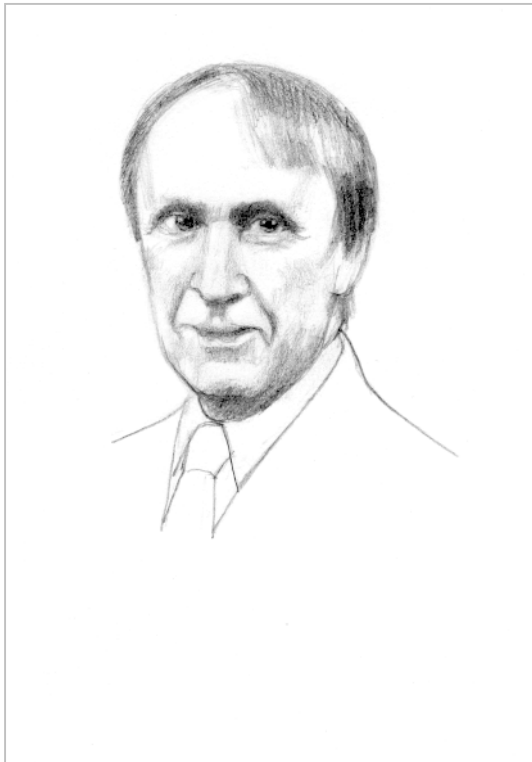


- Josif Samojłowicz Szklowski i Nikołaj Siemionowicz Kardaszew obliczyli (1964), że podczas zapadania się super ciężkich gwiazd wysyłane są fale grawitacyjne o dużej mocy. Jako przykłady podali wirującą gwiazdę niemającą symetrii osiowej, dwie gwiazdy o jednakowych masach orbitujące jedna wokół drugiej oraz gwiazdę kolapsującą anizotropowo.

Tematyka badawcza

- Radio-astronomia
- Kosmologia
- Radio-galaktyki
- Czarne dziury
- Pulsary

MISNER, Charles William (ur. 1932), amerykański astronom i fizyk

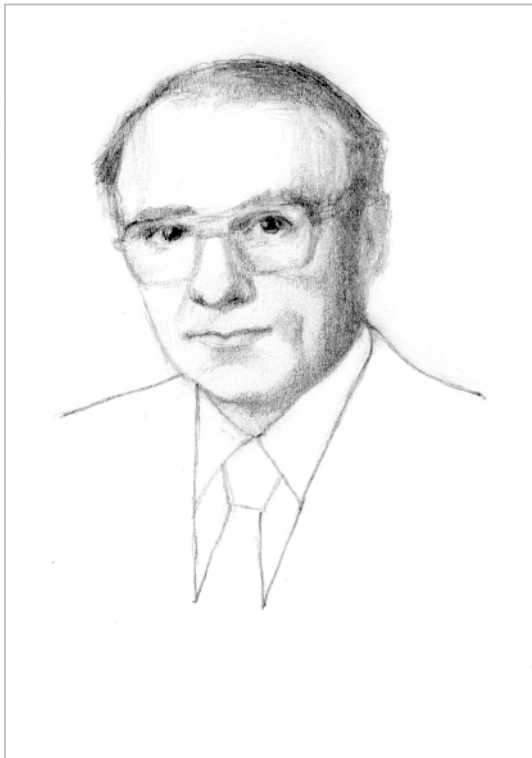


- Sformułował (1969) „paradoks horyzontu”: Termiczne promieniowanie tła jest izotropowe, jego długość nie zależy od kierunku obserwacji. Aby to było możliwe, różne obszary przestrzeni powinny znajdować się w równowadze termicznej. Ale jak mogą oddziaływać ze sobą dwa źródła położone symetrycznie względem nas po przeciwnych stronach na horyzoncie obserwowalnego wszechświata, skoro w chwili dotarcia do Ziemi światło zdążyło pokonać dopiero połowę odległości między nimi?
Zadawalające rozwiązanie tego paradoksu zostało podane w ramach inflacyjnego modelu Wielkiego Wybuchu (Guth, 1981).
- C. W. Misner, K. S. Thorne oraz J. A. Wheeler są autorami znanego podręcznika *Gravitation* (1973).

Tematyka badawcza

- Ogólna teoria względności
- Numeryczna OTW

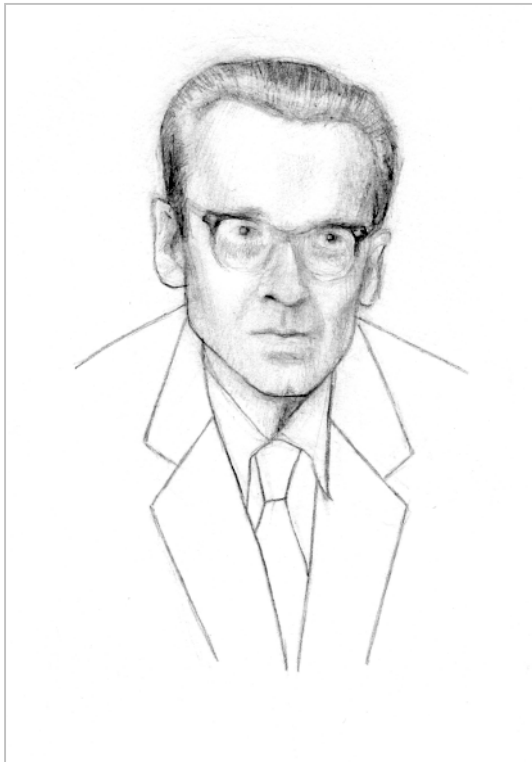
PENZIAS, Arno Allan (ur. 1933), amerykański astrofizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1978



- A. A. Penzias i R. W. Wilson odkryli (1965) mikrofalowe izotropowe promieniowanie tła odpowiadające temperaturze 3,5 stopni Kelvina. Promieniowanie tła zwane jest również promieniowaniem reliktowym lub szczątkowym. Penzias i Wilson dokonali swego odkrycia, gdy byli pracownikami w Laboratoriach Bella, zajmując się łącznością radiową z satelitami. Używali do tego celu 6-metrowej anteny kierunkowej, pojawiający się w niej szum okazał się mikrofalowym promieniowaniem tła docierającym równomiernie ze wszystkich kierunków.

Odkrycie to potwierdzało hipotezę o istnieniu promieniowania szczątkowego jako pozostałości po Wielkim Wybuchu. Promieniowanie powstałe podczas kreacji wszechświata traciło energię wskutek jego ekspansji.

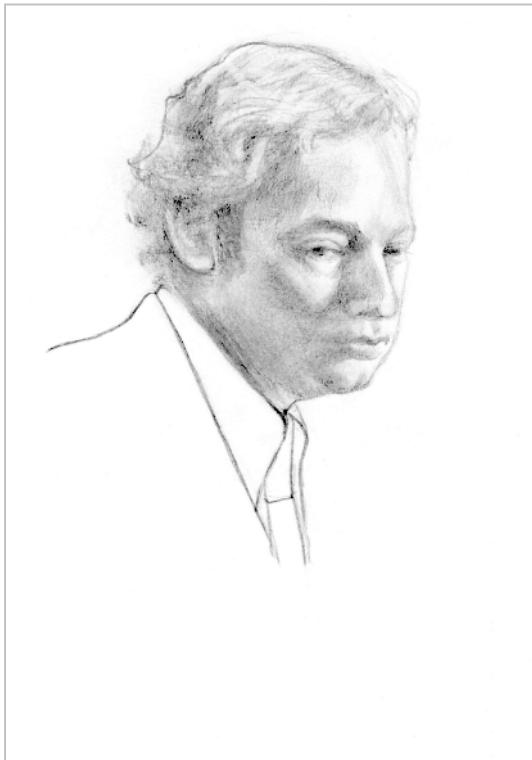
TRAUTMAN, Andrzej (ur. 1933), polski fizyk-teoretyk



Tematyka badawcza

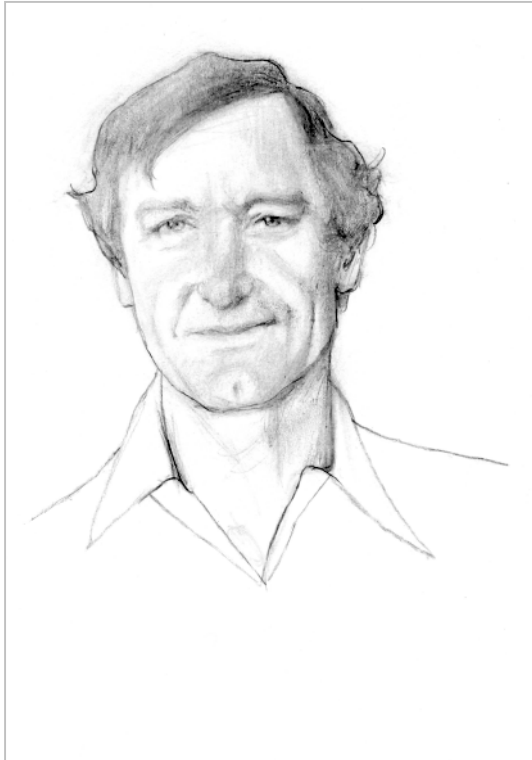
- Równania ruchu w OTW
- Fale grawitacyjne
- Warunki brzegowe w OTW
- Energia pola grawitacyjnego
- Prawa zachowania w OTW
- Struktury czasoprzestrzenne
- Teoria Einsteina-Cartana
- Zastosowanie w OTW równań Killinga, algebr Clifforda i spinorów

WEINBERG, Steven (ur. 1933), amerykański fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1979



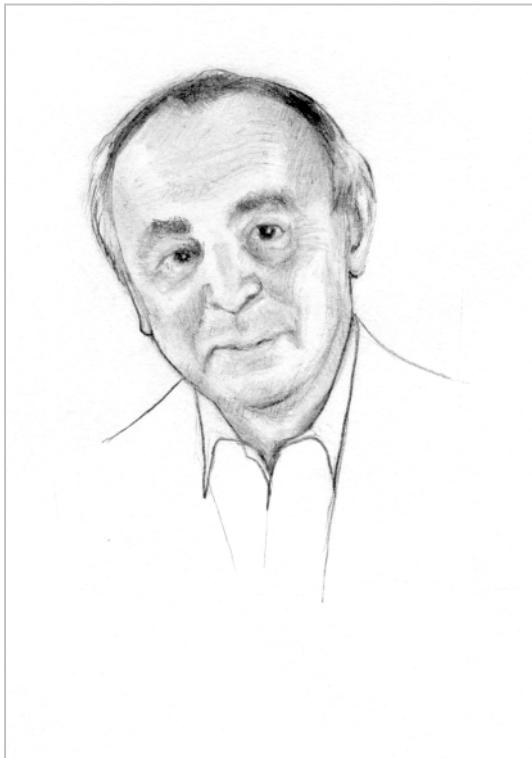
- Poczynając od 1987 bada problemy związane ze stałą kosmologiczną.
- Jest autorem kilku książek, w tym: *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity* (1972) oraz przetłumaczonej na język polski *The First Three Minutes. A Modern View of the Origin of the Universe* (1977).

KERR, Roy Patrick (ur. 1934), nowozelandzki matematyk



- Podał (1963) rozwiązanie próżniowych równań pola Einsteina dla przypadku wirującego źródła (metryka Kerra).

NOWIKOW, Igor Dymitrowicz (ur. 1935), rosyjski fizyk, kosmolog i astrofizyk

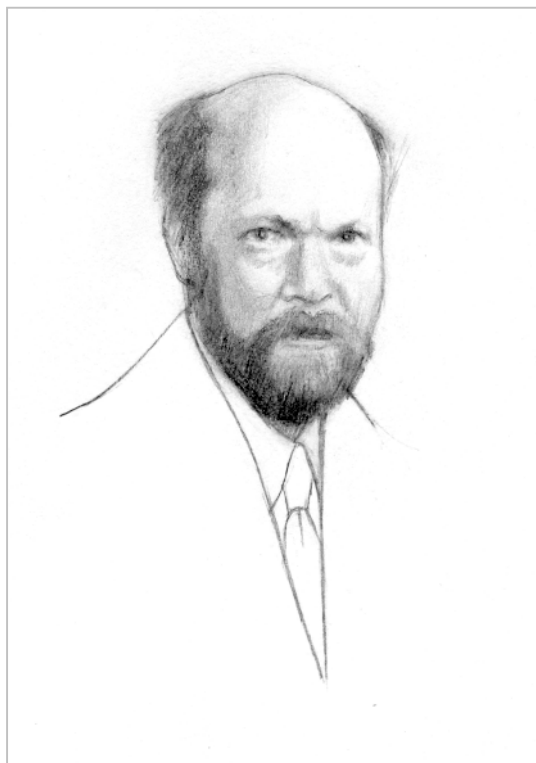


- Sformułował hipotezę, że czarne dziury mogą emitować promieniowanie rentgenowskie.
- Jest współautorem monografii:
Astrofizyka relatywistyczna (1967),
Teoria grawitacji i ewolucja gwiazd (1971),
Budowa i ewolucja Wszechświata (1975).

Tematyka badawcza

- Źródła fal grawitacyjnych
- Elektromagnetyczne detektory fal grawitacyjnych
- Czarne dziury
- Białe dziury
- Promieniowanie reliktowe
- Przejścia fazowe kosmicznej próżni
- Ciemna materia
- Podróże w czasie

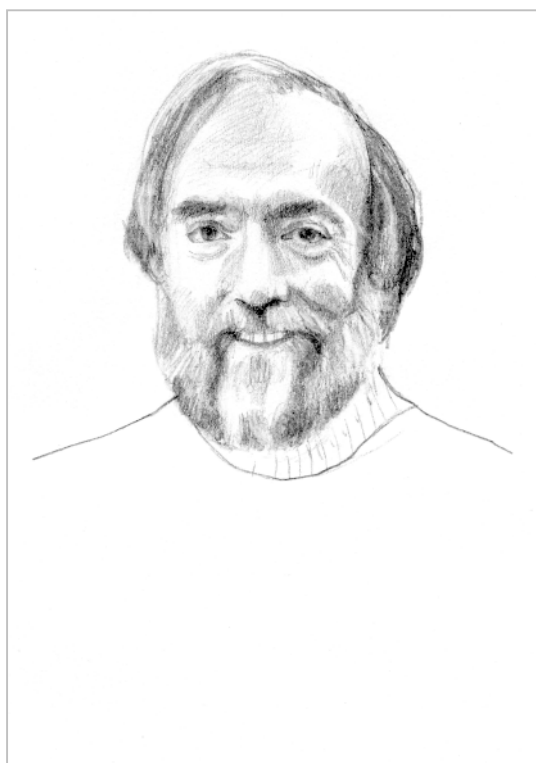
WILSON, Robert Woodrow (ur. 1936), amerykański radio-astronom, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1978



- A. A. Penzias i R. W. Wilson odkryli (1965) mikrofalowe izotropowe promieniowanie tła odpowiadające temperaturze 3,5 stopni Kelvina. Promieniowanie tła zwane jest również promieniowaniem reliktowym lub szczątkowym. Penzias i Wilson dokonali swego odkrycia, gdy byli pracownikami w Laboratoriach Bella, zajmując się łącznością radiową z satelitami. Używali do tego celu 6-metrowej anteny kierunkowej, pojawiający się w niej szum okazał się mikrofalowym promieniowaniem tła docierającym równomiernie ze wszystkich kierunków.

Odkrycie to potwierdzało hipotezę o istnieniu promieniowania szczątkowego jako pozostałości po Wielkim Wybuchu. Promieniowanie powstałe podczas kreacji wszechświata traciło energię wskutek jego ekspansji..

THORNE, Kip Stephen (ur. 1940), amerykański fizyk-teoretyk i astrofizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 2017



- C. W. Misner, K. S. Thorne i J. A. Wheeler są autorami znanego podręcznika:

Gravitation (1973).

- Kip Thorne, Ray Weiss oraz Ron Drever stworzyli projekt LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory).

Tematyka badawcza

- Czarne dziury
- Fale grawitacyjne
- Obserwacyjne, eksperymentalne oraz astrofizyczne aspekty OTW

Ciekawostki

- Kip. S. Thorne był profesorem nadzwyczajnym Uniwersytetu Moskiewskiego w ostatnich latach Zimnej Wojny. Przyjaźnił się z Leonidem Griszczukiem oraz Włodzimierzem Bragińskim – znanymi fizykami radzieckimi.

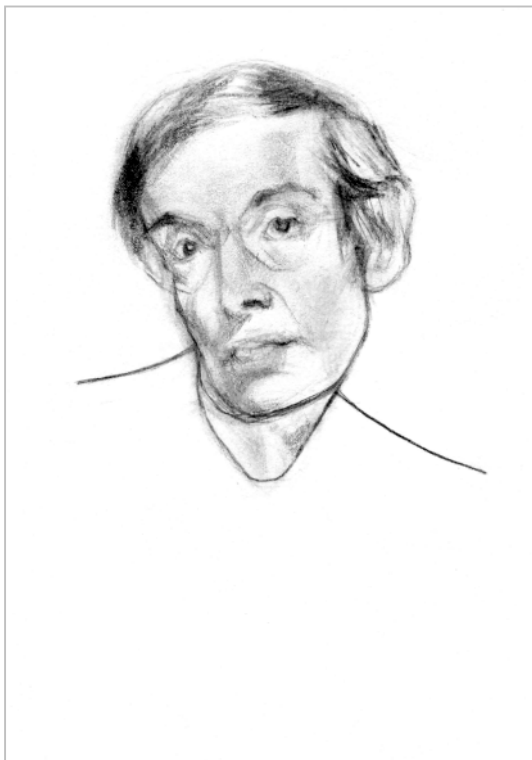
TAYLOR, Joseph Hooton (ur. 1941), amerykański astrofizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1993



- Wykazał (1979), że podwójny pulsar, będący układem pulsara i gwiazdy neutronowej, emituje fale grawitacyjne.

Po czterech latach obserwacji zarejestrował, że okres obiegu orbity pulsara zmniejsza się o 75 milionowych części sekundy na rok. Jest to spowodowane emisją fal grawitacyjnych. Pulsar i towarzysząca mu gwiazda neutronowa tracą energię i zbliżają się do siebie. Zgodnie z trzecim prawem Keplera okres obiegu orbity staje się krótszy.

HAWKING, Stephen William (1942-2018), brytyjski fizyk-teoretyk i kosmolog



- S. W. Hawking i R. Penrose przedstawili (1970) hipotezę, że wszechświat powstał z osobliwości.
- Wykazał (1975), że czarne dziury mogą emitować promieniowanie korpuskularne (promieniowanie Hawkinga).
- Sformułował (1976) drugą zasadę termodynamiki dla czarnych dziur.
- Wprowadził (1983) pojęcie funkcji falowej wszechświata.

Hawking chorował na stwardnienie zanikowe boczne. Poruszał się na wózku inwalidzkim, a porozumiewał przy pomocy syntezatora mowy.

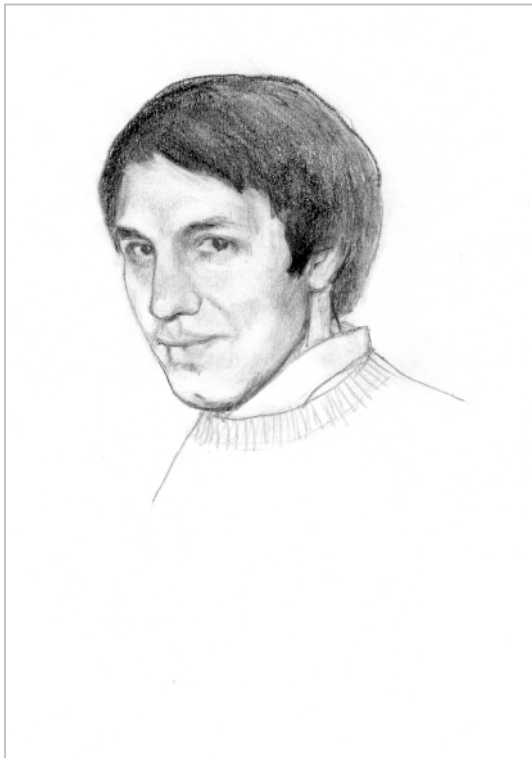
GUTH, Alan Harvey (ur. 1947), amerykański fizyk-teoretyk i kosmolog



- Zaproponował (1981) model bardzo wczesnego wszechświata nazwanego przez niego wszechświatem inflacyjnym.

Teoria Inflacji wyjaśniała wszystkie ówczesne problemy związane z Wielkim Wybuchem.

LINDE, Andriej Dymitrowicz (ur. 1948), amerykański fizyk-teoretyk i kosmolog pochodzenia rosyjskiego



- Jest twórcą „nowej inflacji” (1982), „chaotycznej inflacji” (1983), „permanentnie samo-reprodukującej się inflacji” (1986) oraz „hybrydowej inflacji” (1994).

Tematyka badawcza

- Kosmologiczne przejścia fazowe we wczesnym wszechświecie
- Kosmologia inflacyjna
- Tworzenie się wielkoskalowej struktury we wszechświecie
- Globalna struktura wszechświata
- Kosmologia kwantowa
- Kwantowa teoria czarnych dziur
- Teoria strun

Ciekawostki

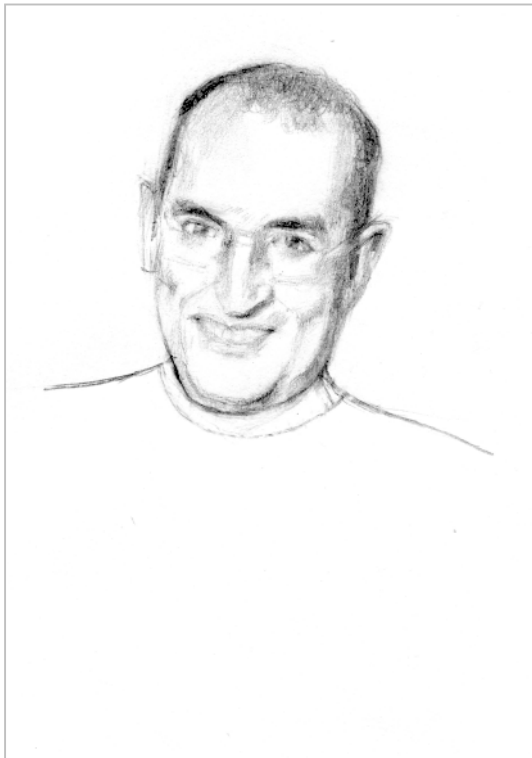
- Żona A. D. Linde, Renata Kallosh, oraz ich syn Dymitr są również fizykami.
- A. D. Linde został wyróżniony medalem Oskara Kleina (2001) oraz medalem Diraca (2002) za wkład do rozwoju kosmologii inflacyjnej.

HULSE, Russell Alan (ur. 1950), amerykański astronom, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1993



- W 1974 Russell Hulse, będąc studentem Taylora, odkrył podwójnego pulsara, będącego układem pulsara i gwiazdy neutronowej. Pulsar ten okrąża gwiazdę neutronową, z okresem wynoszącym 7,75 godzin i obraca się wokół swojej osi w ciągu 0,06903 sekundy. Odległy jest od Ziemi o 1600 lat świetlnych.

WITTEN, Edward (ur. 1951), amerykański fizyk-teoretyk

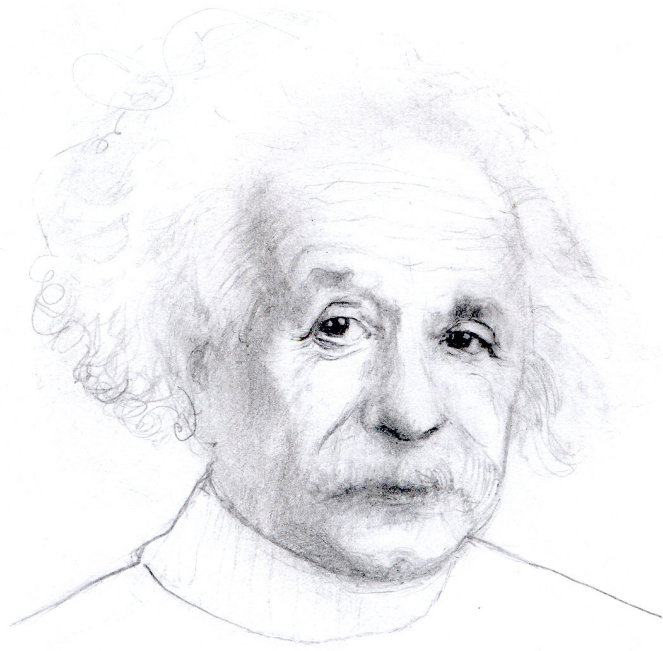


- Rozwinął teorię Kaluzy-Kleina.
- Dokonał istotnego wkładu do teorii pól supersymetrycznych.
- Jest współtwórcą teorii strun.

Ciekawostki

- W rankingu najbardziej cytowanych fizyków (z ponad 500000 badanych) w okresie od 1981 do czerwca 1997 zajmował pierwsze miejsce z liczbą 23235 cytatów.
- Według bazy SPIRES HEP jego prace były cytowane aż 65435 razy (maj 2004).

ALBERT EINSTEIN



EINSTEIN, Albert (1879-1955), genialny fizyk-teoretyk

1879 - Urodził się 14 marca w Ulm.

1900 - Ukończył politechnikę w Zurychu.

1905 - Doktoryzował się na uniwersytecie w Zurychu.

1913 - Został członkiem Pruskiej Akademii Nauk.

1921 - Otrzymał Nagrodę Nobla z fizyki za wyjaśnienie zjawiska fotoelektrycznego.

1933 - Wyemigrował do Ameryki.

1955 - Zmarł 18 kwietnia w Princeton.

Główne wyniki

- Sformułował 30 czerwca 1905 podstawy Szczególnej Teorii Względności [praca 1].

30 czerwca 1905 uważany jest za datę powstania Szczególnej Teorii Względności.

- Uzasadnił 27 września 1905 [praca 2] wzór

$$E = mc^2.$$

- Sformułował 4 grudnia 1907 [praca 8] zasadę równoważności i wywnioskował z niej istnienie grawitacyjnego przesunięcia ku czerwieni oraz odchylenia promieni świetlnych w polu grawitacyjnym.

- A. Einstein i J. J. Laub badali (1908) [praca 9] równania Maxwella-Hertza oraz równania materiałowe w poruszającym się ośrodku, podali wzory transformacyjne dla wielkości charakteryzujących pole elektromagnetyczne i jego źródła.

- Jakościowo i ilościowo wyjaśnił 18 listopada 1915 [praca 36] anomalny obrót peryhelium Merkurego (i pozostałych planet) oraz odchylenie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym.

- Zaproponował 25 listopada 1915 [praca 37] poprawne ogólnie kowariantne równania pola grawitacyjnego w postaci

$$R_{\alpha\beta} = -\kappa \left(T_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} g_{\alpha\beta} T \right), \quad T = g^{\mu\nu} T_{\mu\nu}.$$

25 listopada 1915 uważany jest za datę powstania Ogólnej Teorii Względności.

- Zapisał 3 lutego 1916 [praca 40] równania Maxwella w postaci ogólnie kowariantnej, wcześniej uczynił to również w 1913 [praca 21] oraz 1914 [praca 29].

- Sformułował 22 czerwca 1916 [praca 41] teorię fal grawitacyjnych.

- Zaproponował 8 lutego 1917 [praca 44] równania pola grawitacyjnego z członem kosmologicznym

$$R_{\mu\nu} - \lambda g_{\mu\nu} = -\kappa \left(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T \right),$$

i w oparciu o nie przedstawił w ramach OTW pierwszy model wszechświata. Praca ta dała początek kosmologii relatywistycznej.

Ciekawostki

- Powszechnie obecnie stosowaną postać równań pola grawitacyjnego

$$R_{ab} - \frac{1}{2} g_{ab} R = -\kappa T_{ab}, \quad R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu},$$

podał 24 czerwca 1916 Willem de Sitter, zauważając, że $R = \kappa T$.

- Albert Einstein wykorzystał po raz pierwszy te równania 10 kwietnia 1919 na posiedzeniu Królewskiej Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie [praca 53].

**SPIS PRAC EINSTEINA
DOTYCZĄCYCH SZCZEGÓLNEJ
I OGÓLNEJ TEORII WZGLĘDNOŚCI ORAZ JEDNOLITEJ TEORII POLA**

Praca pierwsza

- A. Einstein: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. Annalen der Physik **17**, 10 (1905) 891-921. [Eingegangen 30. Juni 1905.]
O elektrodynamice poruszającego się ciała.

Poddał szczegółowej analizie pojęcie równoczesności. Podał przekształcenia współrzędnych przestrzennych i czasu, względem których wartość prędkości światła jest niezmiennikiem. Jako wnioski z tych przekształceń przedstawił wzory na kontrakcję długości, dylatację czasu i składanie prędkości. Wykazał, że równania Maxwella-Hertza są współzmiennicze względem badanych transformacji. W przypadku płaskiej fali elektromagnetycznej wyprowadził wzory na transformację jej częstości (efekt Dopplera), kierunku propagacji (aberracja) i amplitudy. Otrzymał wzory na podłużną i poprzeczną masę oraz energię kinetyczną elektronu poruszającego się w polu elektromagnetycznym z małym przyspieszeniem.

UWAGA

30 czerwca 1905 uważany jest za datę powstania Szczególnej Teorii Względności.

Praca druga

- A. Einstein: *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?* Annalen der Physik **18**, 13 (1905) 639-641.
Czy inercja ciała zależy od zawartej w nim energii?

Uzasadnił wzór $E = mc^2$.

Praca trzecia

- A. Einstein: *Das Prinzip von der Erhaltung der Schwerpunktsbewegung und die Trägheit der Energie*. Annalen der Physik **20**, 8 (1906) 627-633.
Prawo zachowania ruchu środka masy i inercja energii.

Praca czwarta

- A. Einstein: *Über eine Methode zur Bestimmung des Verhältnisses der transversalen und longitudinalen Masse des Elektrons*. Annalen der Physik **21**, 13 (1906) 583-586.
O metodzie wyznaczenia związku między poprzeczną i podłużną masą elektronu.

Praca piąta

- A. Einstein: *Über die Möglichkeit einer neuen Prüfung des Relativitätsprinzips*. Annalen der Physik **23**, 6 (1907) 197-198.
O możliwości nowego dowodu zasady względności.

Praca szósta

- A. Einstein: *Bemerkungen zu der Notiz von Hrn. Paul Ehrenfest „Die Translation deformierbarer Elektronen und der Flächensatz”*. Annalen der Physik **23**, 6 (1907) 206-208.
W związku z uwagą Paula Ehrenfesta „Postępowy ruch deformowalnych elektronów i teoria powierzchni”.

Praca siódma

- A. Einstein: *Über die vom Relativitätsprinzip geforderte Trägheit der Energie*. Annalen der Physik **23**, 7 (1907) 371-384.
O inercji energii, wynikającej z zasady względności.

Praca ósma

- A. Einstein: *Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen*. Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik **4** (1907) 411-462.
O zasadzie względności i jej konsekwencjach.

W piątym rozdziale tej pracy zatytułowanym „Zasada względności i grawitacja” została sformułowana zasada równoważności, stwierdzająca, że natężenie jednorodnego pola grawitacyjnego jest równoważne odpowiedniemu stałemu przyspieszeniu układu odniesienia (ze znakiem minus). Z zasady tej Einstein wywnioskował istnienie dwóch ciekawych zjawisk: grawitacyjnego przesunięcia ku czerwieni i odchylenia promieni świetlnych w polu grawitacyjnym. Zaproponował rozszerzenie zasady względności na układy nieinercjalne.

Po raz pierwszy stwierdził, że wartość prędkości światła zależy od potencjału pola grawitacyjnego, w silniejszym polu jest mniejsza.

$$v = c \left(1 + \frac{\gamma \xi}{c^2} \right) = c \left(1 + \frac{\Phi}{c^2} \right)$$

Praca ósma A

- A. Einstein: *Berichtigungen zu der Arbeit: „Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen”*. Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik **5** (1908) 98-99.
Uwagi do pracy ósmej (w związku z listem Plancka).

Praca dziewiąta

- A. Einstein und J. Laub: *Über die elektromagnetischen Grundgleichungen für bewegte Körper*. Annalen der Physik **26**, 8 (1908) 532-540.
O podstawowych elektrodynamicznych równaniach poruszającego się ciała.

Autorzy badali równania Maxwella-Hertza oraz równania materiałowe w poruszającym się ośrodku. Podali wzory transformacyjne dla wielkości charakteryzujących pole elektromagnetyczne i jego źródła.

Praca dziesiąta

- A. Einstein und J. Laub: *Bemerkungen zu unserer Arbeit „Über die elektromagnetischen Grundgleichungen für bewegte Körper”*. Annalen der Physik **28** (1909) 445-447.
Uwagi do naszej pracy „O podstawowych elektrodynamicznych równaniach poruszającego się ciała”.

Praca jedenasta

- A. Einstein und J. Laub: *Über die im elektromagnetischen Felde auf ruhende Körper ausgeübten ponderomotorischen Kräfte*. Annalen der Physik **26**, 8 (1908) 541-550.
O ponderomotorycznych siłach działających w polu elektromagnetycznym na spoczywające ciała.

Praca dwunasta

- A. Einstein: *Bemerkung zu der Arbeit von D. Mirimanoff „Die Grundgleichungen...”* Annalen der Physik **28** (1909) 885-888.
Uwaga o pracy: D. Mirimanoff „O podstawowych równaniach...”

Praca trzynasta

- A. Einstein: *Principe de relativité et ses conséquences dans la physique moderne*. Archives des sciences physiques et naturelles **29** (1910) 5-28.

Zasada względności i jej konsekwencje we współczesnej fizyce.

- A. Einstein: *Principe de relativité et ses conséquences dans la physique moderne*. Archives des sciences physiques et naturelles **29** (1910) 125-144.

Zasada względności i jej konsekwencje we współczesnej fizyce.

Praca czternasta

- A. Einstein: *Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes*. Annalen der Physik **35**, 10 (1911) 898-908.

O wpływie siły ciężkości na rozchodzenie się światła.

Między innymi ponownie sformułował zasadę równoważności dla ruchów jednostajnie przyspieszonych prostoliniowych oraz rozszerzył zasadę względności na układy nieinercjalne. Wyprowadził (korzystając z zasady zachowania energii) wzór łączący częstotliwość ν_2 światła emitowanego przez źródło znajdujące się na wysokości h nad powierzchnią Ziemi z częstotliwością ν_1 światła docierającego do powierzchni Ziemi (gdzie przyjął energię potencjalną równą zero)

$$\nu_1 = \nu_2 \left(1 + \frac{\gamma h}{c^2} \right), \quad \gamma \text{ oznacza przyspieszenie grawitacyjne.}$$

Z relacji tej wywnioskował, że czas upływa wolniej w silniejszym polu grawitacyjnym.

Obliczając kąt ugięcia promieni świetlnych przelatujących w pobliżu Słońca, otrzymał wartość dwukrotnie mniejszą od poprawnej. Poprawną wartość tego kąta wyznaczył w 1915 [praca 36].

Po raz kolejny stwierdził, że wartość prędkości światła zależy od potencjału pola grawitacyjnego, w silniejszym polu jest mniejsza.

$$c = c_0 \left(1 + \frac{\Phi}{c^2} \right)$$

Praca piętnasta

- A. Einstein: *Die Relativitätstheorie*. Naturforschende Gesellschaft in Zürich, Vierteljahrsschrift **56** (1911) 1-14.

Teoria względności.

Wykład wygłoszony na posiedzeniu Towarzystwa Przyrodników w Zurichu 16 stycznia 1911.

Praca szesnasta

- A. Einstein: *Zum Ehrenfest'schen Paradoxon*. Physikalische Zeitschrift **12** (1911) 509-510.
- O paradoksie Ehrenfesta.*

A oto fragment tej pracy.

„Pytanie o realność skrócenia Lorentza nie ma sensu. Skrócenie nie jest realne, ponieważ nie istnieje dla obserwatora poruszającego się razem z ciałem; jednakże jest ono realne, ponieważ może być zmierzone prostymi metodami fizycznymi przez obserwatora nie poruszającego się razem z ciałem. Dokładnie to samo, ale w bardziej wytworny sposób stwierdził Ehrenfest”.

Praca siedemnasta

- A. Einstein: *Lichtgeschwindigkeit und Statik des Gravitationsfeldes*. Annalen der Physik **38**, 7 (1912) 355-369.

Prędkość światła i statyczne pole grawitacyjne.

Praca osiemnasta

- A. Einstein: *Zur Theorie des statischen Gravitationsfeldes*. Annalen der Physik **38**, 7 (1912) 443-458.

O teorii statycznego pola grawitacyjnego.

Praca dziewiętnasta

- A. Einstein: *Relativität und Gravitation. Erwiderung auf eine Bemerkung von M. Abraham*. Annalen der Physik **38**, 10 (1912) 1059-1064.

Względność i grawitacja. Odpowiedź na uwagę M. Abrahama.

Praca dziewiętnasta A

- A. Einstein: *Bemerkung zu Abrahams vorangehender Auseinandersetzung „Nochmals Relativität und Gravitation“*. Annalen der Physik **39**, 13 (1912) 704-704.

Praca dwudziesta

- A. Einstein: *Gibt es eine Gravitationswirkung, die der elektrodynamischen Induktionswirkung analog ist?* Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin und öffentliches Sanitätswesen **44** (1912) 37-40.

Czy istnieje oddziaływanie grawitacyjne analogiczne do indukcji elektromagnetycznej?

Praca dwudziesta pierwsza

- A. Einstein, M. Grossmann: *Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation*. Zeitschrift für Mathematik und Physik **62**, 3 (1913) 225-261.

Zarys uogólnionej teorii względności i teorii grawitacji.

Praca składa się z dwóch części. Część fizyczną, strony 225-244, napisał A. Einstein. Część matematyczną, strony 244-259, napisał M. Grossmann. Na stronach 260-261 zamieszczone są uwagi.

W pierwszej części Einstein nakreślił program poszukiwań ogólnie kowariantnej teorii względności i teorii grawitacji. Po raz kolejny sformułował zasadę równoważności, wskazując na jej fundamentalne znaczenie w fizyce. Równoważność masy grawitacyjnej i inercyjnej, doświadczalnie potwierdzona przez Eötvösa, pozwala na postawienie hipotezy, że pole grawitacyjne (jednorodne w nieskończenie małej objętości) fizycznie można w pełni zamienić przyspieszonym układem odniesienia. **Przypomniał, co wykazał w poprzednich pracach, że hipoteza równoważności prowadzi do wniosku, że w stacjonarnym (statycznym) polu grawitacyjnym szybkość c zależy od współrzędnych przestrzennych, przedstawiając miarę potencjału grawitacyjnego.**

Według Einsteina w ogólnym przypadku pole grawitacyjne można scharakteryzować dziesięcioma czasoprzestrzennymi funkcjami, będącymi składowymi kowariantnego tensora drugiego rzędu. Składowe te są współczynnikami kwadratowej formy różniczkowej

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu,$$

interpretowanej jako kwadrat czterowymiarowej odległości między dwoma nieskończenie bliskimi punktami.

Ogólna postać równań fizyki nie powinna zależeć od wyboru układu odniesienia. Przy próbie realizacji tego zadania Einstein (jak sam twierdzi) napotkał pryncypialne trudności. **Nie zna-**

my względem jakiej grupy przekształceń powinny być kowariantne poszukiwane równania. Jako przykład zapisał w postaci ogólnie kowariantnej równania Maxwella [wzory (23) i (24)].

Poszukiwania równań pola grawitacyjnego, których rozwiązaniem byłyby wielkości $g_{\mu\nu}$, zaczął od próby uogólnienia równania Poissona $\Delta\varphi = 4\pi G\rho$. Zaproponował, aby po obu stronach równań pola znajdowały się kowariantne tensory drugiego rzędu. Jednym z nich powinien być tensor energii-pędu. Podał jego postać dla przypadku równomiernie rozmieszczonych nieoddziałujących mas. Drugi z tych tensorów powinien zawierać pochodne drugiego rzędu z wielkości $g_{\mu\nu}$.

Wykazał [wzór (19)], że równania przedstawiające prawa zachowania powinny dotyczyć materii i pola grawitacyjnego razem wziętych.

W drugiej części Grossmann dokonał, między innymi, przeglądu oraz uzupełnienia podstawowych pojęć, operacji i twierdzeń rachunku tensorowego, jakie można znaleźć w pracy G. Ricciego i T. Levi-Civity [*Méthodes de calcul différentiel absolu et leurs applications*, *Mathematische Annalen* **54** (1901) 125-201]. Kowariantne (kontrawariantne) układy Ricciiego i Levi-Civity nazwał kowariantnymi (kontrawariantnymi) tensorami. Wprowadził pojęcie tensora mieszanego. Innowacją, która się nie przyjęła, było zrezygnowanie z pisania indeksów kowariantnych na dole, a kontrawariantnych na górze. Tensory kowariantne, kontrawariantne oraz mieszane oznaczane były literami odpowiednio łacińskimi, greckimi oraz gotyckimi. Pierwszy tensor pochodny tensora kowariantnego (kontrawariantnego) nazwał kowariantnym (kontrawariantnym) rozszerzeniem tensora. Skonstruował mieszany tensor krzywizny czwartego rzędu, którego składowe nazwał czteroskładnikowymi symbolami Christoffela drugiego rodzaju

$$\{ik, lm\} \stackrel{\text{df}}{=} \frac{\partial \{i l\}}{\partial x^m} - \frac{\partial \{i m\}}{\partial x^l} + \sum_{\rho} \{i l\} \{ \rho m\} - \{i m\} \{ \rho l\} = R_{iml}^k = -R_{ilm}^k. \quad \text{wzór (44)}$$

Utworzył również kowariantny tensor krzywizny drugiego rzędu

$$G_{im} \stackrel{\text{df}}{=} \sum_{kl} g^{kl} R_{kiml} = \sum_k R_{imk}^k = R_{im}. \quad \text{wzór (46)}$$

Stwierdził jednak, że tensor ten w szczególnym przypadku nieskończenie słabego stacjonarnego i statycznego pola grawitacyjnego nie sprowadza się do $\Delta\varphi$, w związku z tym nie może stanowić jednej ze stron poszukiwanych równań pola grawitacyjnego. Stwierdzenie to było wynikiem błędu w rachunkach.

Podsumujmy, w części napisanej przez Grossmanna znajdujemy między innymi (używając współczesnej terminologii):

- definicje tensorów kowariantnych, kontrawariantnych i mieszanych.
- podstawowe operacje algebry tensorów takie, jak dodawanie, wewnętrzne i zewnętrzne mnożenie, zamiana przy pomocy tensora metrycznego tensorów kowariantnych na kontrawariantne i odwrotnie.
- podstawowe operacje analizy tensorów takie, jak rozszerzenie kowariantne (kontrawariantne) tensora kowariantnego (kontrawariantnego), dywergencja tensora, uogólniona operacja Laplace'a.
- definicje mieszanego tensora krzywizny czwartego rzędu oraz kowariantnego tensora krzywizny drugiego rzędu.

Praca dwudziesta druga

- A. Einstein: *Physikalische Grundlagen einer Gravitationstheorie*. Naturforschende Gesellschaft in Zürich, Vierteljahrsschrift **58** (1913) 284-290.

Fizyczne podstawy teorii grawitacji.

Według wykładu, wygłoszonego 9 września 1913 na corocznym zebraniu Szwajcarskiego Towarzystwa Przyrodników we Frauenfeld.

Praca dwudziesta trzecia

- A. Einstein: *Zum gegenwärtigen Stande des Gravitationsproblems*. Physikalische Zeitschrift **14** (1913) 1249-1262.

O obecnym stanie problemu grawitacji.

Wykład wygłoszony 23 września 1913 na 85-tym zebraniu Towarzystwa Niemieckich Przyrodników w Wiedniu.

Praca dwudziesta czwarta

- A. Einstein: *Nachträgliche Antwort auf eine Frage von Herrn Reißner*. Physikalische Zeitschrift **15**, 2 (15. Januar 1914) 108-110.

Uzupełniająca odpowiedź na pytanie Reissnera.

Praca dwudziesta piąta

- A. Einstein, A. D. Fokker: *Die Nordströmsche Gravitationstheorie vom Standpunkt des absoluten Differentialkalküls*. Annalen der Physik **44**, 10 (1914) 321-328.

Teoria grawitacji Nordströma z punktu widzenia absolutnego rachunku różniczkowego.

Autorzy wykazali między innymi, że teoria Nordströma jest szczególnym przypadkiem teorii Einsteina-Grossmanna przy założeniu stałości prędkości światła.

Wartość prędkości światła jest stała tylko w czasoprzestrzeniach konforemnie płaskich.

$$(ds)^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu = [\Phi(x^1, x^2, x^3, x^4)]^2 \left[(dx^1)^2 + (dx^2)^2 + (dx^3)^2 + (dx^4)^2 \right]$$

Praca dwudziesta szósta

- A. Einstein: *Bemerkungen zu P. Harzers Abhandlungen „Über die Mitführung des Lichtes in Glas und die Aberration*. Astronomische Nachrichten **199** (1914) 8-10.

Uwagi o pracy P. Harzera „O wleczeniu światła w szkłe i aberracja”.

Praca dwudziesta szósta A

- A. Einstein: *Antwort auf eine Replik Paul Harzers (Nr. 4753, S. 10 und 11)*. Astronomische Nachrichten **199** (1914) 47-48.

Praca dwudziesta siódma

- A. Einstein: *Zur Theorie der Gravitation*. Naturforschende Gesellschaft in Zürich, Vierteljahrschrift **59**, 2 (1914) 4-6.

O teorii grawitacji.

Wykład wygłoszony 9 lutego 1914 na posiedzeniu Towarzystwa Przyrodników w Zurychu.

Praca dwudziesta ósma

- A. Einstein: *Prinzipielles zur verallgemeinerten Relativitätstheorie und Gravitationstheorie*. Physikalische Zeitschrift **15**, 4 (15. Februar 1914) 176-180.

Podstawowe pytania uogólnionej teorii względności i teorii grawitacji.

Praca dwudziesta ósma A

- A. Einstein: *Antrittsrede*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **2**, 28 (1914) 739-742.

Mowa inauguracyjna

[wygłoszona na otwartym posiedzeniu (dla uczczenia rocznicy Leibniza) 2 lipca 1914].

Praca dwudziesta dziewiąta

- A. Einstein: *Die formale Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **2**, 41 (1914) 1030-1085.
Formalne podstawy ogólnej teorii względności.

Praca trzydziesta

- A. Einstein: *Zur Relativitätsproblem*. Scientia (Bologna) **15** (1914) 337-348.
O problemie względności.

Praca trzydziesta pierwsza

- A. Einstein: *Vom Relativitäts-Prinzip*. Vossische Zeitung (26. April 1914) 33-34.
O zasadzie względności.

Praca trzydziesta druga

- A. Einstein, M. Grossmann: *Kovarianzeigenschaften der Feldgleichungen der auf die verallgemeinerte Relativitätstheorie gegründeten Gravitationstheorie*. Zeitschrift für Mathematik und Physik **63** (1914) 215-225.
Kowariantne własności równań pola w teorii grawitacji, opartej na ogólnej teorii względności.

Praca trzydziesta trzecia

- A. Einstein: *Die Relativitätstheorie*. [W książce:] *Die Physik*. Unter Redaktion von E. Lechner. T. 3, Abt. 3, Bd. 1. Treubner, Leipzig 1915, 703-713.
Teoria względności.

Praca trzydziesta czwarta

- A. Einstein: *Zur allgemeinen Relativitätstheorie*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **2**, 44 (1915) 778-786.
O ogólnej teorii względności.

Praca trzydziesta piąta

- A. Einstein: *Zur allgemeinen Relativitätstheorie (Nachtrag)*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **2**, 46 (1915) 799-801.
O ogólnej teorii względności (Uzupełnienie).

Praca trzydziesta szósta

- A. Einstein: *Erklärung der Perihelbewegung der Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **2**, 47 (1915) 831-839.
Wyjaśnienie ruchu peryhelium Merkurego w ogólnej teorii względności.

Podał przybliżone rozwiązanie równań pola w przypadku statycznego (a tym samym stacjonarnego) sferycznie symetrycznego pola grawitacyjnego w pustej przestrzeni, którego źródłem jest punktowa masa.

$$g_{ij} = -\delta_{ij} \left(1 + \frac{x^i x^j}{r^2} \frac{a}{r} \right), \quad g_{i4} = 0, \quad g_{44} = 1 - \frac{a}{r} \quad (i, j = 1, 2, 3).$$

Jakościowo i ilościowo wyjaśnił anomalny obrót peryhelium Merkurego (i pozostałych planet) oraz odchylenie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym. Obliczony dodatkowy kąt obrotu peryhelium Merkurego w ciągu stu lat wynosi 43", co pozostaje w idealnej zgodności z pomiarami.

Praca trzydziesta siódma

(Praca ta kończy etap tworzenia ogólnej teorii względności.)

- A. Einstein: *Die Feldgleichungen der Gravitation*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **2**, 48 (1915) 844-847. [Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 25. November 1915] [Ausgegeben am 2. Dezember 1915.]

Równania polowe grawitacji.

Praca zawiera poprawne równania pola grawitacyjnego

$$R_{\alpha\beta} = -\kappa \left(T_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} g_{\alpha\beta} T \right)$$

oraz prawo zachowania pędu i energii dla materii i pola grawitacyjnego

$$\sum_{\lambda} \frac{\partial}{\partial x^{\lambda}} (T_{\sigma}^{\lambda} + t_{\sigma}^{\lambda}) = 0, \quad g = \det g_{\alpha\beta} = -1,$$

gdzie

κ = stała

$g_{\alpha\beta}$, $g^{\rho\sigma}$ = odpowiednio kowariantny i kontrawariantny tensor metryczny

$R_{\alpha\beta} = R_{\alpha\beta\mu}^{\mu}$ = kowariantny tensor Riccie'go (Einstein oznaczał go przez $G_{\alpha\beta}$)

$$T = \sum_{\rho\sigma} g^{\rho\sigma} T_{\rho\sigma}$$

$T_{\alpha\beta}$ = kowariantny tensor energii „materii”

T_{σ}^{λ} = mieszany tensor energii „materii”

t_{σ}^{λ} = mieszany tensor energii „pola grawitacyjnego”

„Tym samym zakończone zostało tworzenie Ogólnej Teorii Względności jako systemu logicznego.”

UWAGA

25 listopada 1915 uważany jest za datę powstania Ogólnej Teorii Względności.

Praca trzydziesta ósma

- A. Einstein: *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Annalen der Physik **49**, 17 (1916) 769-822.

Podstawy ogólnej teorii względności.

Bardzo szczegółowy wykład ogólnej teorii względności. Einstein po raz pierwszy zastosował umowę sumacyjną, oraz zaproponował nazwę Szczególna Teoria Względności.

Praca trzydziesta ósma A

- A. Einstein: *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Johann Ambr. Barth, Leipzig 1916.

Podstawy Ogólnej Teorii Względności.

Praca trzydziesta dziewiąta

- A. Einstein: *Über Friedrich Kottlers Abhandlung "Über Einsteins Äquivalenzhypothese und die Gravitation"*. Annalen der Physik **51**, 23 (1916) 639-642.
O pracy Friedricha Kottlera „Hipoteza równoważności Einsteina i grawitacja”.

Praca czterdziesta

- A. Einstein: *Eine neue formale Deutung der Maxwellschen Feldgleichungen der Elektrodynamik*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **1**, 7 (1916) 184-188.
Nowa formalna interpretacja równań pola Maxwella w elektrodynamice.

Równania Maxwella zostały zapisane w postaci ogólnie kowariantnej.

Praca czterdziesta pierwsza

- A. Einstein: *Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **1**, 32 (1916) 688-696.
Przybliżone całkowanie równań pola grawitacyjnego.

Po raz pierwszy została sformułowana teoria fal grawitacyjnych.

Praca czterdziesta druga

- A. Einstein: *HAMILTONSches Prinzip und allgemeine Relativitätstheorie*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **2**, 42 (1916) 1111-1116.
Zasada Hamiltona i ogólna teoria względności.

Praca czterdziesta trzecia

- A. Einstein: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (Gemeinverständlich)*. Druck und Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1917. [70 stron]
Istnieje polski przekład.
A. Einstein: *O szczególnej i ogólnej teorii względności (wykład przystępny)*. Z upoważnienia Autora przełożył i wstępem opatrzył Maksymilian Tytus Huber. Lwów 1921. Książnica Polska Towarzystwa Nauczycieli Szkół Wyższych.

Praca czterdziesta czwarta

- A. Einstein: *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **1**, 6 (1917) 142-152. [Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 8. Februar 1917]
Kosmologiczne rozważania nad ogólną teorią względności.

Einstein przedstawił model wszechświata statycznego, jednorodnego, skończonego, o stałej niezależnej od czasu krzywiznie przestrzeni. Aby rozwiązać problem warunków granicznych (brzegowych), zaproponował równania pola grawitacyjnego z członem kosmologicznym

$$R_{\mu\nu} - \lambda g_{\mu\nu} = -\kappa \left(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T \right).$$

Praca ta dała początek kosmologii relatywistycznej.

Praca czterdziesta piąta

- A. Einstein: *Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie*. Annalen der Physik **55**, 4 (1918) 241-244.
Pryncypia ogólnej teorii względności.

Praca czterdziesta szósta

- A. Einstein: *Dialog über Einwände gegen die Relativitätstheorie*. Naturwissenschaften **6**, 48 (29. 11. 1918) 697-702.

Dialog z zastrzeżeniami przeciw teorii względności.

Praca czterdziesta szósta A

- A. Einstein: *Bemerkung zu E. Gehrckes Notiz "Über den Äther"*. Deutsche Physikalische Gesellschaft, Verhandlungen **20** (1918) 261.

Praca czterdziesta siódma

- A. Einstein: *Notiz zu E. Schrödingers Arbeit "Die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes"*. Physikalische Zeitschrift **19**, 6 (15. März 1918) 115-116.

Uwagi do pracy E. Schrödingera „Składowe energii pola grawitacyjnego”.

Zwrócił uwagę, że składowe energii materii T_{σ}^{α} tworzą tensor, a wielkości t_{σ}^{α} , rozumiane jako „składowe energii” pola grawitacyjnego, nie tworzą tensora. Ponadto wielkości T_{σ}^{α} są symetryczne, a wielkości t_{σ}^{α} są niesymetryczne. Rola wielkości t_{σ}^{α} polega na tym, że razem z tensorem T_{σ}^{α} materii dają równanie

$$\sum_{\alpha} \frac{\partial (\sqrt{g} T_{\sigma}^{\alpha} + t_{\sigma}^{\alpha})}{\partial x^{\alpha}} = 0, \quad g = \det g_{\dots},$$

przyjmujące po scałkowaniu po trójwymiarowej objętości V postać prawa zachowania pędu-energii.

Praca czterdziesta ósma

- A. Einstein: *Bemerkung zu Herrn Schrödingers Notiz „Über ein Lösungssystem der allgemein kovarianten Gravitationsgleichungen"*. Physikalische Zeitschrift **19**, 8 (15. April 1918) 165-166.

Uwagi do notatki Schrödingera „O rozwiązaniach ogólnie kowariantnych równań grawitacyjnych”.

Praca czterdziesta dziewiąta

- A. Einstein: *Über Gravitationswellen*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **1** (1918) 154-167.

O falach grawitacyjnych.

Podał między innymi wzór kwadrupolowy na moc energii wysyłanej w formie fal grawitacyjnych przez poruszające się ciała będące emiterami.

Praca pięćdziesiąta

- A. Einstein: *Kritisches zu einer von Herrn. De Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **1**, 12 (1918) 270-272.

Krytyczne uwagi o rozwiązaniu de Sittera równań pola grawitacyjnego.

Praca pięćdziesiąta pierwsza

- A. Einstein: *Der Energiesatz in der allgemeinen Relativitätstheorie*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften **1**, 24 (1918) 448-459.

Prawo zachowania energii w ogólnej teorii względności.

Praca pięćdziesiąta pierwsza A

- A. Einstein: [Nachtrag] Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften [Gesamtsitzung vom 30. Mai 1918 - Mitteilung vom 2. Mai 1918] (1918) 478-480.

[Dodatek] Uwagi Einsteina do pracy: H. Weyl: *Gravitation und Elektrizität*. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften (1918) 465-478.

Praca pięćdziesiąta druga

- A. Einstein: *Prüfung der allgemeinen Relativitätstheorie*. Naturwissenschaften 7, 42 (17. 10. 1919) 776-776.

Treść tego listu do redakcji przytoczymy w całości.

Dowód ogólnej teorii względności.

Zgodnie z telegramem, przesłanym przez prof. Lorentza autorowi tych słów, angielska ekspedycja pod kierunkiem Eddingtona, wysłana w celu obserwacji zaćmienia Słońca 29 maja, stwierdziła odchylenie światła na krawędzi słonecznego dysku, wymagane przez ogólną teorię względności. Według wstępnej oceny, stwierdzona wartość leży między 0,9 i 1,8 łukowej sekundy. Teoria wymaga 1,7 sekundy.

Berlin, 9 października 1919. A. Einstein.

Praca pięćdziesiąta trzecia

- A. Einstein: *Spielen Gravitationsfelder im Aufbau der materiellen Elementarteilchen eine wesentliche Rolle?* Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften 1, 20 (1919) 349-356.

Czy pola grawitacyjne odgrywają istotną rolę w powstawaniu cząstek elementarnych materii?

Po raz pierwszy wykorzystał równania pola grawitacyjnego w postaci

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = -\kappa T_{ik}.$$

Wykazał, że znikanie tożsamościowe dywergencji lewej strony

$$\left(R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R \right)_{;k} = 0$$

gwarantuje znikanie tożsamościowe dywergencji prawej strony równań pola, co można zapisać w postaci wyrażenia

$$\frac{\partial(\sqrt{g} T_i^\sigma)}{\partial x^\sigma} + \frac{1}{2} \frac{\partial g^{\sigma\tau}}{\partial x^i} (\sqrt{g} T_{\sigma\tau}) = 0,$$

które w granicznym przypadku szczególnej teorii względności przechodzi w równanie bilansu pędu i energii materii

$$\frac{\partial T_{ik}}{\partial x^k} = 0.$$

Praca pięćdziesiąta czwarta

- A. Einstein: *Bemerkung über periodische Schwankungen der Mondlänge, welche bisher nach der Newtonschen Mechanik nicht erklärbar schienen*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften 1, 22 (1919) 433-436.

Uwagi o okresowych zmianach długości miesiąca księżycowego dotychczas nie wyjaśnionych w ramach mechaniki Newtona.

Praca pięćdziesiąta piąta

- A. Einstein: *Bemerkung zur vorstehenden Notiz*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften **2**, 38 (1919) 711-711.
Uwagi o poprzedniej pracy.

Praca pięćdziesiąta szósta

- A. Einstein: *Einstein on his theory - Time, space, and gravitation*. Times (28. November 1919) 13-14.
[oraz]
- A. Einstein: *Was ist Relativitätstheorie?* Mein Weltbild.
Czym jest teoria względności?

Praca pięćdziesiąta siódma

- A. Einstein: *Aether und Relativitätstheorie*. Verlag von Julius Springer. Berlin 1920.
Eter i teoria względności.

Praca pięćdziesiąta ósma

- A. Einstein: *Antwort auf vorstehende Betrachtung*. Naturwissenschaften **8**, 51 (17. 12. 1920) 1010-1011.
Odpowiedź na pracę E. Reichenbächera: *Inwiefern läßt sich moderne Gravitationstheorie ohne die Relativität begründen?* Naturwissenschaften **8**, 51 (17. 12. 1920) 1008-1010.

Praca pięćdziesiąta dziewiąta

- A. Einstein: *Meine Antwort. Über die antirelativitätstheoretische*. G. m. b. H. Berliner Tageblatt (27. August 1920) 1-2.
Moja odpowiedź. O antyrelatywistach.

Praca sześćdziesiąta

- A. Einstein: *The meaning of relativity*. Princeton University Press. Princeton (N. Y.) 1921.
Prace 126, 140 i 145 były kolejnymi uzupełnieniami do pracy 60.
Istnieje polski przekład dokonany przez Andrzeja Trautmana.
- A. Einstein: *Istota teorii względności*. PWN [Wydanie II], Warszawa 1962.
Książkę tę wydało także wydawnictwo Prószyński i S-ka [Wydanie III], Warszawa 1997.
W polskim tłumaczeniu znajdują się uzupełnienia do drugiego [praca 126] i piątego wydania [praca 146].

Praca sześćdziesiąta pierwsza

- A. Einstein: *Geometrie und Erfahrung*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften **1**, 5 (1921) 123-130.
Geometria i doświadczenie.
Wykład wygłoszony 27 stycznia 1921 roku na uroczystym posiedzeniu Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie.
Istnieje także wersja w postaci książki.
- A. Einstein: *Geometrie und Erfahrung*. Springer Verlag, Berlin 1921.
Dostępny jest francuski przekład.
- *La géométrie et l'expérience, par Albert Einstein; traduit par Maurice Solovine*. Gauthier-Villars et cie, Paris 1921.

Praca sześćdziesiąta druga

- A. Einstein: *Eine einfache Anwendung des Newtonschen Gravitationsgesetzes auf die kugelformigen Sternhaufen*. Festschrift zum 10-jährigen Bestehen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaft. Springer Verlag, 1921, 50-52.
Proste zastosowanie prawa grawitacji Newtona do kulistych skupisk gwiazd.

Praca sześćdziesiąta trzecia

- A. Einstein: *A Brief Outline of the Development of the Theory of Relativity*. Nature **106** (1921) 782-784.
Krótki zarys rozwoju teorii względności.

Praca sześćdziesiąta czwarta

- A. Einstein: *Über eine naheliegende Ergänzung des Fundamentes der allgemeinen Relativitätstheorie*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften **1**, 13 (1921) 261-264.
O pewnym prostym (oczywistym) uzupełnieniu podstaw ogólnej teorii względności.

Praca sześćdziesiąta piąta

- A. Einstein: *Über die Relativitätstheorie*. Nature **107** (1921) 504.
O teorii względności.

Jest to przemówienie wygłoszone w Królewskim College'u (Londyn) w 1921.

Praca sześćdziesiąta szósta

- A. Einstein: *Bemerkung zu der Franz Seletyschen Arbeit „Beiträge zum kosmologischen System“*. Annalen der Physik **69** (1922) 436-438.
Uwaga do pracy Franza Selety „O systemie kosmologicznym”.

Praca sześćdziesiąta siódma

- A. Einstein: *Bemerkung zu der Abhandlung von E. Trefftz. „Das statische Gravitationsfeld zweier Massenpunkte in der Einsteinschen Theorie*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] **30** (1922) 448-449.
Uwaga do pracy E. Trefftza. „Statyczne pole grawitacyjne dwóch punktowych mas w teorii Einsteina”.

Praca sześćdziesiąta ósma

- A. Einstein: *Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedman. „Über die Krümmung des Raumes”*. Zeitschrift für Physik **11** (1922) 326-326.
Uwaga do pracy A. Friedmana. „O krzywiznie przestrzeni”.

Wyniki dotyczące niestacjonarnego świata, zawarte we wspomnianej pracy ¹, wydają mi się podejrzane. W rzeczywistości okazuje się, że podane w niej rozwiązanie nie spełnia równań pola (A). Jak wiadomo, z równań tych wynika, że dywergencja tensora materii T_{ik} jest równa zero. W przypadku, spełniającym założenia (C) i (D₃), prowadzi to do zależności

$$\frac{\partial \rho}{\partial x_4} = 0,$$

co razem z równaniem (8) wymaga stałości promienia świata w czasie. Zatem, znaczenie tej pracy polega na tym, że potwierdza ona tę stałość (promienia).

¹ A. Friedmann. Zeitschrift für Physik **10** (1922) 377-386.

Praca sześćdziesiąta dziewiąta

- A. Einstein: *Notiz zu der Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedman. „Über die Krümmung des Raumes”*. Zeitschrift für Physik **16** (1923) 228-228.
Notatka o uwadze do pracy A. Friedmana. „O krzywiznie przestrzeni”.

W poprzedniej uwadze ¹ poddałem krytyce pracę wymienioną wyżej ². Jednakże moja krytyka, jak się przekonałem z listu Friedmanna, oparta była na błędzie w obliczeniach. Uważam, że wyniki Friedmanna są prawidłowe i przedstawiają nowy świat. Okazuje się, że równania pola dopuszczają na równi ze statycznymi także dynamiczne (tzn. zmienne w czasie) sferycznie-symetryczne rozwiązania dla struktury przestrzeni.

¹ A. Einstein. Zeitschrift für Physik **11**(1922) 326. [Praca 68]

² A. Friedmann. Zeitschrift für Physik **10** (1922) 377.

Praca siedemdziesiąta

- A. Einstein: *Grundgedanken und Probleme der Relativitätstheorie*. [W książce:] Nobelstiftelsen, Les Prix Nobel en 1921-1922. Imprimerie Royale. Stockholm 1923.
Podstawowe idee i problemy teorii względności.
Jest to wykład wygłoszony 11 lipca 1923 w Geteborgu.

Praca siedemdziesiąta pierwsza

- A. Einstein, J. Grommer: *Beweis der Nichtexistenz eines überall regulären zentrisch symmetrischen Feldes nach der Feld-Theorie von Th. Kaluza*. Scripta Universitatis atque Bibliothecae Hierosolymitanarum, Mathematica et Physica (Jerusalem) **1**, N 7 (1923).
Dowód nieistnienia wszędzie regularnego sferycznie symetrycznego pola w teorii pola T. Kaluzy.

Praca siedemdziesiąta druga

- A. Einstein: *Zur allgemeinen Relativitätstheorie*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] (1923) 32-38.
O ogólnej teorii względności.

Praca siedemdziesiąta trzecia

- A. Einstein: *Bemerkung zu meiner Arbeit „Zur allgemeinen Relativitätstheorie”*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] **12** (1923) 76-77.
Uwaga o mojej pracy „O ogólnej teorii względności”.

Praca siedemdziesiąta czwarta

- A. Einstein: *Zur affinen Feldtheorie*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] **17** (1923) 137-140.
O affiniczej teorii pola.

Praca siedemdziesiąta piąta

- A. Einstein: *The theory of the affine field*. Nature **112** (1923) 448-449.
Teoria pola affinicznego.

Praca siedemdziesiąta piąta A

- A. Einstein: *Bietet die Feldtheorie Möglichkeiten für die Lösung des Quantenproblems?* Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] **33** (1923) 359-364.

Praca siedemdziesiąta szósta

- A. Einstein: *Über den Äther*. Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft **105** (1924) 85-93.
O eterze.

Praca siedemdziesiąta siódma

- A. Einstein: *Eddingtons Theorie und Hamiltonsche Prinzip*.
Teoria Eddingtona i zasada Hamiltona. Dodatek do książki: A. S. Eddington: *Relativitätstheorie in mathematischer Behandlung*. Springer Verlag, Berlin 1925, 366-371.

Praca siedemdziesiąta ósma

- A. Einstein: *Elektron und allgemeine Relativitätstheorie*. Physica **5** (1925) 330-334.
Elektron i ogólna teoria względności.

Praca siedemdziesiąta dziewiąta

- A. Einstein: *Einheitliche Feldtheorie von Gravitation und Elektrizität*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] **22** (1925) 414-419.
Jednolita polowa teoria grawitacji i elektryczności.

Praca osiemdziesiąta

- A. Einstein: *Nichteuklidische Geometrie in der Physik*. Neue Rundschau (01. 1926) Berlin, S. 16-20.
Nieeuclidowska geometria w fizyce.

Praca osiemdziesiąta pierwsza

- A. Einstein: *Über die formale Beziehung des Riemannsches Krümmungstensors zu den Feldgleichungen der Gravitation*. Mathematische Annalen **97** (1927) 99-103.
O formalnym związku tensora krzywizny Riemanna z równaniami pola grawitacyjnego.

Praca osiemdziesiąta pierwsza A

- A. Einstein: *Über die Interferenzeigenschaften des durch Kanalstrahlen emittierten Lichtes*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] **25** (1926) 334-340.

Praca osiemdziesiąta druga

- A. Einstein: *Neue Experimente über den Einfluß der Erdbewegung an die Lichtgeschwindigkeit relativ zur Erde*. Forsch. und Fortschritte **3** (1927) 36.
Nowe eksperymenty dotyczące wpływu ruchu Ziemi na prędkość światła względem Ziemi.

Praca osiemdziesiąta trzecia

- A. Einstein: *Zu Kaluzas Theorie des Zusammenhangs von Gravitation und Elektrizität. Erste Mitteilung*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] **6** (1927) 23-25.
O teorii Kaluzy łączącej grawitację i elektryczność. I.

Praca osiemdziesiąta czwarta

- A. Einstein: *Zu Kaluzas Theorie des Zusammenhangs von Gravitation und Elektrizität. Zweite Mitteilung*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] **6** (1927) 26-30.

O teorii Kaluzy łączącej grawitację i elektryczność. II.

Praca osiemdziesiąta piąta

- A. Einstein, J. Grommer: *Allgemeine Relativitätstheorie und Bewegungsgesetz*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 1 (1927) 2-13.

Ogólna teoria względności i równania ruchu.

Praca osiemdziesiąta szósta

- A. Einstein: *Allgemeine Relativitätstheorie und Bewegungsgesetz*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] (1927) 235-245.

Ogólna teoria względności i równania ruchu.

Praca osiemdziesiąta siódma

- A. Einstein: *Riemann-Geometrie mit Aufrechterhaltung des Begriffes des Fernparallelismus*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 17 (1928) 217-221.

Geometria Riemanna z uwzględnieniem pojęcia absolutnego (dalekiego) parallelizmu.

Praca osiemdziesiąta ósma

- A. Einstein: *Neue Möglichkeit für eine einheitliche Feldtheorie von Gravitation und Elektrizität*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 18 (1928) 224-227.

Nowa możliwość jednolitej teorii pola dla grawitacji i elektryczności.

Praca osiemdziesiąta dziewiąta

- A. Einstein: *Space-time*. Encyclopaedia Britannica (14th Edition) 21 (1929) 105-108.

Czasoprzestrzeń.

Praca dziewięćdziesiąta

- A. Einstein: *Über den gegenwärtigen Stand der Field-Theorie*. Festschrift Prof. Dr. A. Stodola zum 70. Geburtstag, Füssli Verlag, Zürich und Leipzig 1929, 126-132.

O obecnym stanie teorii pola.

Praca dziewięćdziesiąta pierwsza

- A. Einstein: *Zur einheitlichen Feldtheorie*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 1 (1929) 2-7.

O jednolitej teorii pola.

Praca dziewięćdziesiąta druga

- A. Einstein: *The New Field Theory. I*. Observatory 52 (1929) 82-87.

Nowa teoria pola. I.

Praca dziewięćdziesiąta trzecia

- A. Einstein: *The New Field Theory. II*. Observatory 52 (1929) 114-118.

Nowa teoria pola. II.

Praca dziewięćdziesiąta czwarta

- A. Einstein: *Einheitliche Feldtheorie und Hamiltonsches Prinzip*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 10 (1929) 156-159.

Jednolita teoria pola i zasada Hamiltona.

Praca dziewięćdziesiąta piąta

- A. Einstein: *Raum - Äther - und Feldproblem der Physik*. Forum Philosophicum 1 (1930) 173-180.

Problem przestrzeni, eteru i pola w fizyce.

Praca dziewięćdziesiąta szósta

- A. Einstein: *Das Raum-, Feld- und Ätherproblem in der Physik*. Die Koralle 5 (1930) 486-487.

Problem przestrzeni, pola i eteru w fizyce.

Praca dziewięćdziesiąta siódma

- A. Einstein: *Théorie unitaire de champ physique*. Annales de l' Institut Henri Poincaré 1 (1930) 1-24.

Jednolita teoria fizycznego pola.

Praca dziewięćdziesiąta ósma

- A. Einstein: *Auf die Riemann-Metrik und den Fern-Parallelismus gegründete einheitliche Feldtheorie*. Mathematische Annalen 102 (1930) 685-697.

Jednolita teoria pola oparta na metryce Riemanna i absolutnym (dalekim) parallelizmie.

Praca dziewięćdziesiąta dziewiąta

- A. Einstein: *Die Kompatibilität der Feldgleichungen in der einheitlichen Feldtheorie*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] (1930) 18-23.

Kompatybilność równań pola w jednolitej teorii pola.

Praca setna

- A. Einstein, W. Mayer: *Zwei strenge statische Lösungen der Feldgleichungen der einheitlichen Feldtheorie*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 6 (1930) 110-120.

Dwa dokładne statyczne rozwiązania równań jednolitej teorii pola.

Praca sto pierwsza

- A. Einstein: *Zur Theorie der Räume mit Riemann-Metrik und Fernparallelismus*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 22 (1930) 401-402.

Ku teorii przestrzeni z metryką Riemanna i absolutnym (dalekim) parallelizmem.

Praca sto druga

- A. Einstein: *Über den gegenwärtigen Stand der allgemeinen Relativitätstheorie*. Yale University Library Gazette 6 (1930) 3-6.

O obecnym stanie ogólnej teorii względności.

Praca sto trzecia

- A. Einstein: *Gravitational and Electrical Fields*. Science (1930)
Pola grawitacyjne i elektryczne.

Praca sto czwarta

- A. Einstein: *Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitätstheorie*.
Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 12 (1931) 235-237.
O kosmologicznym problemie ogólnej teorii względności.

Praca sto piąta

- A. Einstein, W. Mayer: *Systematische Untersuchung über kompatible Feldgleichungen, welche in einem Riemannschen Raume mit Fernparallelismus gesetzt werden können*.
Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 13 (1931) 257-265.
Systematyczne badanie kompatybilności równań pola, możliwych w przestrzeni Riemanna z absolutnym (dalekim) paralelizmem.

Praca sto szósta

- A. Einstein, W. Mayer: *Einheitliche Theorie von Gravitation und Elektrizität*.
Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 25 (1931) 541-557.
Jednolita teoria grawitacji i elektryczności.

Praca sto siódma

- A. Einstein, W. Mayer: *Einheitliche Theorie von Gravitation und Elektrizität. (Zweite Abhandlung)* Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] 12 (1932) 130-137.
Jednolita teoria grawitacji i elektryczności. II.

Praca sto ósma

- A. Einstein, W. de Sitter: *On the Relation between the Expansion and the Mean Density of the Universe*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **18**, 3 (03/1932) 213-214.
O związku między ekspansją i średnią gęstością Wszechświata.

Praca sto dziewiąta

- A. Einstein: *Der gegenwärtige Stand der Relativitätstheorie*. Die Quelle (Pädagogischer Führer) **82** (1932) 440-442.
Obecny stan teorii względności.

Praca sto dziewiąta A

- A. Einstein, W. Mayer: *Semi-Vektoren und Spinoren*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften [Physikalisch-mathematische Klasse] (1932) 522-550.
Semi-wektory i spinory.

Praca sto dziesiąta

- A. Einstein: *Einiges über die Entstehung der allgemeinen Relativitätstheorie*. George A. Gibson Foundation Lecture, Glasgow 1933.
Kilka uwag o powstaniu teorii względności.

Praca sto jedenasta

- A. Einstein: *Sur la Structure cosmologique de l'Espace*. Hermann et C^{ie} Editeurs. Paris 1933, 99-109.
O kosmologicznej strukturze przestrzeni.

Praca sto jedenasta A

- A. Einstein und W. Mayer: *Darstellung der Semi-Vektoren als gewöhnliche Vektoren von besonderem Differentiations Charakter*. Annals of Mathematics **35**, 1 (January, 1934) 104-110.

Praca sto dwunasta

- A. Einstein: *Elementary Derivation of the Equivalence of Mass and Energy*. Bulletin of the American Mathematical Society **41**, 4 (1935) 223-230.
Elementarne wyprowadzenie (prawa) równoważności masy i energii.

Praca sto trzynasta

- A. Einstein, N. Rosen: *The Particle Problem in the General Theory of Relativity*. Physical Review **48**, 1 (07/1935) 73-77.
Problem cząstki w ogólnej teorii względności.

Praca sto czternasta

- A. Einstein, N. Rosen: *Two-Body Problem in General Relativity Theory*. Physical Review **49**, 5 (03/1936) 404-405
Problem dwóch ciał w ogólnej teorii względności.

Praca sto piętnasta

- A. Einstein: *Lens-like Action of a Star by the Deviation of Light in the Gravitational Field*. Science **84**, 2188 (Dec. 4, 1936) 506-507.
Soczewko-podobne działanie gwiazdy przy odchyłaniu światła w polu grawitacyjnym.

Praca sto szesnasta

- A. Einstein, N. Rosen: *On Gravitational Waves*. Journal of the Franklin Institute **223** (1937) 43-54.
O falach grawitacyjnych.

Podali rozwiązanie równań pola dla cylindrycznych fal grawitacyjnych.

Praca sto siedemnasta

- A. Einstein, L. Infeld, B. Hoffmann: *Gravitational Equations and Problems of Motion*. Annals of Mathematics **39** (1938) 65-100.
Równania grawitacyjne i problem ruchu.

Autorzy opracowali aproksymacyjną metodę badania ruchu ciężkich ciał w ramach ogólnej teorii względności, nazywaną metodą EIH (Einsteina-Infelda-Hoffmanna).

Praca sto osiemnasta

- A. Einstein, P. Bergmann: *Generalisation of Kaluza's Theory of Electricity*. Annals of Mathematics **39** (1938) 683-701.
Uogólnienie teorii elektryczności Kaluzy.

Praca sto dziewiętnasta

- A. Einstein: *On a Stationary System with Spherical Symmetry Consisting of many Gravitating Masses*. Annals of Mathematics **40** (1939) 922-936.
O stacjonarnym układzie o sferycznej symetrii składającym się z wielu źródłowych mas.

Praca sto dwudziesta

- A. Einstein, L. Infeld: *Gravitational Equations and the Problems of Motion. II*. Annals of Mathematics **41** (1940) 455-464.
Równania grawitacyjne i problem ruchu. II.

Praca sto dwudziesta pierwsza

- A. Einstein, V. Bargmann, P. Bergmann: *On Five-dimensional Representation of Gravitation and Electricity*. Theodore von Kármán Anniversary Volume, Pasadena, California Institute of Technology (1941) 212-225.
O pięciowymiarowej reprezentacji grawitacji i elektryczności.

Praca sto dwudziesta druga

- A. Einstein: *Demonstration of the Non-existence of Gravitational Fields with a Non-vanishing Total Mass Free of Singularities*. Revista. Serie A. Mathematicas y Fisica Teoretica. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologia. **2**, 1-2 (1941) 11-15.
Dowód nieistnienia pól grawitacyjnych z nie znikającą masą całkowitą, wolnych od osobliwości.

Praca sto dwudziesta trzecia

- A. Einstein, W. Pauli: *Non-existence of Regular Stationary Solutions of Relativistic Field Equations*. Annals of Mathematics **44** (1943) 131-137.
Nieistnienie regularnych stacjonarnych rozwiązań relatywistycznych równań pola.

Praca sto dwudziesta czwarta

- A. Einstein, V. Bargmann: *Bivector Fields. I*. Annals of Mathematics **45** (1944) 1-14.
Pola biwektorowe. I.

Praca sto dwudziesta piąta

- A. Einstein: *Bivector Fields. II*. Annals of Mathematics **45** (1944) 15-23.
Pola biwektorowe. II.

Praca sto dwudziesta szósta

- A. Einstein: *On the „Cosmologic Problem”*. (1945)
O problemie kosmologicznym.
Jest to uzupełnienie do drugiego wydania książki: *Istota teorii względności*. [Patrz praca 60]

Praca sto dwudziesta siódma

- A. Einstein: *Generalisation of the Relativistic Theory of Gravitation*. Annals of Mathematics **46** (1945) 578-584.
Uogólnienie relatywistycznej teorii grawitacji.

Praca sto dwudziesta ósma

- A. Einstein, E. G. Straus: *Influence of the Expansion of Space on the Gravitation Fields Surrounding the Individual Stars*. Reviews of Modern Physics **17**, 2 and 3 (April-July, 1945) 120-124.

Wpływ ekspansji przestrzeni na pola grawitacyjne wokół pojedynczych gwiazd.

Praca sto dwudziesta dziewiąta

- A. Einstein, E. G. Straus: *Corrections and Additional Remarks to our Paper: „Influence of the Expansion of Space on the Gravitation Fields Surrounding the Individual Stars”*. Reviews of Modern Physics **18**, 1 (January, 1946) 148-149.

Poprawki i dodatkowe uwagi do naszej pracy: „Wpływ ekspansji przestrzeni na pola grawitacyjne wokół pojedynczych gwiazd”.

Praca sto trzydziesta

- A. Einstein, E. Straus: *Generalization of the relativistic Theory of Gravitation. II*. Annals of Mathematics **47** (1946) 731-741.

Uogólnienie relatywistycznej teorii grawitacji. II.

Praca sto trzydziesta pierwsza

- A. Einstein: *Elementary Derivation of the Equivalence of Mass and Energy*. Technion Journal (Haifa) **5** (1946) 16-17.

Elementarne wyprowadzenie (prawa) równoważności masy i energii.

Istnieje polski przekład. A. Einstein: *Teoria względności i inne eseje*. Prószyński i S-ka, Warszawa 1997, 85-87.

Praca sto trzydziesta druga

- A. Einstein: $E = mc^2$: *The most urgent Problem of our Time*. Science Illustrated (I, 1946) 16-17.

$E = mc^2$: *najistotniejszy współczesny problem.*

Praca sto trzydziesta trzecia

- A. Einstein: *Relativity: Essence of the Theory of Relativity*. The American People's Encyclopedia. XVI. (1948).

Względność: Istota teorii względności.

Praca sto trzydziesta czwarta

- A. Einstein: *Generalized Theory of Gravitation*. Reviews of Modern Physics **20**, 1 (January, 1948) 35-39.

Uogólnienie teorii grawitacji.

Praca sto trzydziesta piąta

- A. Einstein, L. Infeld: *On the Motion of Particles in General Relativity Theory*. Canadian Journal of Mathematics **1** (1949) 209-241.

O ruchu cząstek w ogólnej teorii względności.

Praca sto trzydziesta szósta

- A. Einstein: *Times, Space and Gravitation*. Praca została zamieszczona w zbiorze „Out of my later Years”. New York 1950.

Czas, przestrzeń i grawitacja.

Praca sto trzydziesta siódma

- A. Einstein: *On the Generalized Theory of Gravitation*. Scientific American **182** (1950) 13-17.
O uogólnionej teorii grawitacji. Opowieść o niedawno opublikowanym uogólnieniu ogólnej teorii względności z historycznymi i filozoficznymi komentarzami.

Praca sto trzydziesta ósma

- A. Einstein: *The Bianchi Identities in the Generalized Theory of Gravitation*. Canadian Journal of Mathematics **2** (1950) 120-128.
Tożsamości Bianchi w uogólnionej teorii grawitacji.

Praca sto trzydziesta dziewiąta

- A. Einstein: *Relativität und Raumproblem*. (1952) Praca ta jest V uzupełnieniem do książki „O szczególnej i ogólnej teorii względności”. [Patrz praca 43]
Względność i problem przestrzeni.

Praca sto czterdziesta

- A. Einstein: *Doctor Einstein Replies to PSM Readers*. Popular Science Monthly **160**, 4 (1952) 18.
Doktor Einstein odpowiada czytelnikom PSM.

Praca sto czterdziesta pierwsza

- A. Einstein: *Generalization of Theory of gravitation*. (1953).
Uogólniona teoria grawitacji.
Uzupełnienie do książki: *Istota teorii względności*. [Patrz praca 60]

Praca sto czterdziesta druga

- A. Einstein: *A Comment on a Criticism of Unified Field Theory*. Physical Review **89** (1953) 321.
Polemika z krytyką jednolitej teorii pola.

Praca sto czterdziesta trzecia

- A. Einstein, B. Kaufman: *Sur l'Etat Actuell de la Théorie générale de la Gravitation*.
O obecnym stanie ogólnej teorii względności.
Praca została zamieszczona w zbiorze „Luis de Broglie, fizyk i myśliciel” (1953) 321-342.

Praca sto czterdziesta czwarta

- A. Einstein, B. Kaufman: *Algebraic Properties of the Field in the Relativistic Theory of the asymmetric Field*. Annals of Mathematics **59** (1954) 230-244.
Algebraiczne własności pola w relatywistycznej teorii pól asymetrycznych.

Praca sto czterdziesta piąta

- A. Einstein and B. Kaufman: *A new form of the general relativistic field equations*. Annals of Mathematics **62**, 1 (July, 1955) 128-138.
Nowa postać ogólnie relatywistycznych równań pola.

Praca sto czterdziesta szósta

[Ostatnia praca Einsteina opublikowana za jego życia]

- A. Einstein: *Relativistic Theory of the non-symmetric Field*. (1955)
Relatywistyczna teoria pola niesymetrycznego.

Jest to uzupełnienie [nowa wersja pracy 141] do piątego wydania książki: *Istota teorii względności*. [Patrz praca 60] Praca sto czterdziesta szósta była ostatnią pracą Einsteina opublikowaną za jego życia.

Spis ten powstał na podstawie:

[1] А. Эйнштейн. *Собрание научных трудов*. Наука, Москва 1965, 1966.

I. Работы по теории относительности 1905-1920.

II Работы по теории относительности 1921-1955.

[2] Abraham Pais. *Subtle is the Lord...The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford University Press 1982.

Istnieje polski przekład. A. Pais: *Pan Bóg jest wyrafinowany...Nauka i życie Alberta Einsteina*. Przełożył Piotr Amsterdamski. Prószyński i S-ka, Warszawa 2001.

UWAGA

Prace Einsteina zamieszczone w [1] otrzymały stosowaną tam pojedynczą numerację (cyfra).

Dodatkowe prace Einsteina cytowane w [2] otrzymały podwójną numerację (cyfra i litera).

**ALFABETYCZNY
SPIS PORTRETÓW**

ABRAHAM, Max (1875-1922) 46
ALEMBERT, Jean Le Rond d' (1717-1783) 20
ARAGO, Dominique François Jean (1786-1853) 24
BERGMANN, Peter Gabriel (1915-2002) 70
BETHE, Hans Albrecht (1906-2005) 64
BIAŁOBRZESKI, Czesław (1878-1953) 46
BIANCHI, Luigi (1856-1928) 37
BONDI, Sir Hermann (1919-2005) 74
BORN, Max (1882-1970) 50
BRADLEY, James (1693-1762) 19
BRILLOUIN, Léon (1889-1969) 55
BRUNO, Giordano (1548-1600) 16
CARTAN, Élie Joseph (1869-1951) 43
CAUCHY, Baron Augustin Louis (1789-1857) 25
CHAŁATNIKOW, Isaak Markowicz (ur. 1919) 75
CHANDRASEKHAR, Subrahmayan (1910-1995) 67
CHRISTOFFEL, Elwin Bruno (1829-1900) 31
CORIOLIS, Gaspard Gustave de (1792-1843) 26
CZERENKOW, Paweł Aleksiejewicz (1904-1990) 61
DESCARTES, René du Perron (1596-1650) [Kartezjusz] 18
DICKE, Robert Henry (1916-1997) 72
DIRAC, Paul Adrien Maurice (1902-1984) 60
DOPPLER, Christian Johann (1803-1853) 27
EDDINGTON, Sir Arthur Stanley (1882-1944) 51
EHRENFEST, Paul (1880-1933) 49
EINSTEIN, Albert (1879-1955) 47
EÖTVÖS, Baron Roland von (1848-1919) 34
EULER, Leonhard (1707-1783) 20
FARADAY, Michael (1791-1867) 26
FITZGERALD, George Francis (1851-1901) 35
FIZEAU, Armand Hippolyte Louis (1819-1896) 29
FOCK, Władimir Aleksandrowicz (1898-1974) 58
FOKKER, Adriaan Daniël (1887-1972) 53
FOUCAULT, Jean Bernard Léon (1819-1868) 29
FOWLER, William Alfred (1911-1995) 68
FRANK, Ilja Michajłowicz (1908-1990) 65
FRESNEL, Augustin Jean (1788-1827) 25
FRIEDMAN, Aleksandr Aleksandrowicz (1888-1925) 54
GALILEI, Galileo (1564-1642) [Galileusz] 17
GAUSS, Carl Friedrich (1777-1855) 23
GINZBURG, Witalij Łazariewicz (1916-2009) 73
GLASHOW, Sheldon Lee (ur. 1932) 81
GÖDEL, Kurt (1906-1978) 64
GROSSMANN, Marcell (1878-1936) 47
GUTH, Alan Harvey (ur. 1947) 87
HAMILTON, Sir William Rowan (1805-1865) 28
HAWKING, Stephen William (ur. 1942) 86
HERTZ, Heinrich Rudolf (1857-1894) 38
HEWISH, Antony (ur. 1924) 77
HILBERT, David (1862-1943) 41

HOYLE, Fred (1915-2001) 71
HUBBLE, Edwin Powell (1889-1953) 55
HULSE, Russell Alan (ur. 1950) 88
INFELD, Leopold (1898-1968) 59
JACOBI, Carl Gustav Jacob (1804-1851) 28
KALUZA, Theodor Franz Eduard (1885-1954) 52
KARDASZEW, Nikołaĵ Siemionowicz (ur. 1932) 81
KEPLER, Johannes (1571-1630) 17
KERR, Roy Patrick (ur. 1934) 84
KLEIN, Felix Christian (1849-1925) 34
KLEIN, Oscar Benjamin (1894-1977) 56
KOPERNIK, Mikołaĵ (1473-1543) 16
KRUSKAL, Martin David (1925-2006) 78
LAGRANGE, Joseph Louis de (1736-1813) 21
LANDAU, Lew Dawidowicz (1908-1968) 65
LANGEVIN, Paul (1872-1946) 44
LAPLACE, Marquise Pierre Simon de (1749-1827) 21
LARMOR, Joseph (1857-1942) 38
LAUE, Max von (1879-1960) 48
LEE, Tsung Dao (ur. 1926) 78
LEGENDRE, Adrien Marie (1752-1833) 22
LEMAÎTRE, Georges Henri Joseph Édouard (1894-1966) 57
LEVI-CIVITA, Tullio (1873-1941) 45
LICHNEROWICZ, André (1915-1998) 71
LIE, Marius Sophus (1842-1899) 33
LIFSZIC, Evgenij Michajłowicz (1915-1985) 72
LINDE, Andriej Dymitrowicz (ur. 1948) 87
LORENTZ, Hendrik Antoon (1853-1928) 40
LORIA, Stanisław (1883-1958) 52
ŁOBACZEWSKI, Nikołaĵ Iwanowicz (1793-1856) 27
MACH, Ernst (1838-1916) 32
MANDELSZTAM, Leonid Isaakowicz (1879-1944) 48
MAXWELL, James Clerk (1831-1879) 31
MC CREA, Sir William Hunter (1904-1998) 62
MICHELSON, Albert Abraham (1852-1931) 36
MIE, Gustav Adolf (1868-1957) 43
MINKOWSKI, Hermann (1864-1909) 42
MISNER, Charles William (ur. 1932) 82
MØLLER, Christian (1904-1980) [Mueller] 62
MORLEY, Edward Williams (1838-1923) 32
NEWTON, Sir Isaac (1642-1727) 18
NOETHER, Amalie Emmy (1882-1935) 51
NORDSTRÖM, Gunnar (1881-1923) 49
NOWIKOW, Igor Dymitrowicz (ur. 1935) 84
OLBERS, Heinrich Wilhelm Matthias (1758-1840) 22
OPPENHEIMER, J. Robert (1904-1967) 63
PAIS, Abraham (1918-2000) 73
PAULI, Wolfgang Ernst (1900-1958) 59
PENROSE, Sir Roger (ur. 1931) 80
PENZIAS, Arno Allan (ur. 1933) 82

PIETROW, Aleksiej Zinowiewicz (1910-1972) 67
PLANCK, Max Karl Ernst Ludwig (1858-1947) 41
POINCARÉ, Jules Henri (1854-1912) 40
POISSON, Siméon Denis (1781-1840) 24
POUND, Robert Vivian (1919-2010) 75
POYNTING, John Henry (1852-1914) 36
RAYLEIGH, John William Strutt (1842-1919) 33
RICCI-CURBASTRO, Gregorio (1853-1925) 37
RIEMANN, Georg Friedrich Bernhard (1826-1866) 30
ROBERTSON, Howard Percy (1903-1961) 61
RØMER, Ole (lub Olaus) Christensen (1644-1710) 19
ROSENFELD, Léon (1904-1974) 63
RYLE, Sir Martin (1918-1984) 74
SACHAROW, Andriej Dymitriewicz (1921-1989) 76
SALAM, Abdus (1926-1996) 79
SCHRÖDINGER, Erwin (1887-1961) 54
SCHWARZSCHILD, Carl (1873-1916) 45
SCIAMA, Dennis William (1926-1999) 79
SITTER, Willem de (1872-1934) 44
SNYDER, Hartland Sweet (1913-1962) 69
STOKES, Sir George Gabriel (1819-1903) 30
SYNGE, John Lighton (1897-1995) 58
SZEKERES, George (1911-2005) 68
TAMM, Igor Jewgeniewicz (1895-1971) 57
TAYLOR, Joseph Hooton (ur. 1941) 86
THORNE, Kip Stephen (ur. 1940) 85
TOLMAN, Richard Chase (1881-1948) 50
TRAUTMAN, Andrzej (ur. 1933) 83
TREDER, Hans Jürgen (1928-2006) 80
VOIGT, Woldemar (1850-1919) 35
WALKER, Arthur Geoffrey (1909-2001) 66
WAWIŁOW, Siergiej Iwanowicz (1891-1951) 56
WEBER, Joseph (1919-2000) 76
WEINBERG, Steven (ur. 1933) 83
WEISSKOPF, Victor Frederick (1908-2002) 66
WEYL, Hermann Claus Hugo (1885-1955) 53
WHEELER, John Archibald (1911-2008) 69
WIGNER, Eugene Paul (1902-1995) 60
WILSON, Robert Woodrow (ur. 1936) 85
WITTEN, Edward (ur. 1951) 88
YANG, Chen Ning (ur. 1922) 77
YOUNG, Tomas (1773-1829) 23
ZEEMAN, Pieter (1865-1943) 42
ZELDOWICZ, Jakow Borysowicz (1914-1987) 70

**CHRONOLOGICZNY
SPIS PORTRETÓW**

KOPERNIK , Mikołaj (1473-1543)	16
BRUNO , Giordano (1548-1600)	16
GALILEI , Galileo (1564-1642) [Galileusz]	17
KEPLER , Johannes (1571-1630)	17
DESCARTES , René du Perron (1596-1650) [Kartezjusz]	18
NEWTON , Sir Isaac (1642-1727)	18
RØMER , Ole (lub Olaus) Christensen (1644-1710)	19
BRADLEY , James (1693-1762)	19
EULER , Leonhard (1707-1783)	20
ALEMBERT , Jean Le Rond d' (1717-1783)	20
LAGRANGE , Joseph Louis de (1736-1813)	21
LAPLACE , Marquise Pierre Simon de (1749-1827)	21
LEGENDRE , Adrien Marie (1752-1833)	22
OLBERS , Heinrich Wilhelm Matthias (1758-1840)	22
YOUNG , Tomas (1773-1829)	23
GAUSS , Carl Friedrich (1777-1855)	23
POISSON , Siméon Denis (1781-1840)	24
ARAGO , Dominique François Jean (1786-1853)	24
FRESNEL , Augustin Jean (1788-1827)	25
CAUCHY , Baron Augustin Louis (1789-1857)	25
FARADAY , Michael (1791-1867)	26
CORIOLIS , Gaspard Gustave de (1792-1843)	26
ŁOBACZEWSKI , Nikolaï Iwanowicz (1793-1856)	27
DOPPLER , Christian Johann (1803-1853)	27
JACOBI , Carl Gustav Jacob (1804-1851)	28
HAMILTON , Sir William Rowan (1805-1865)	28
FIZEAU , Armand Hippolyte Louis (1819-1896)	29
FOUCAULT , Jean Bernard Léon (1819-1868)	29
STOKES , Sir George Gabriel (1819-1903)	30
RIEMANN , Georg Friedrich Bernhard (1826-1866)	30
CHRISTOFFEL , Elwin Bruno (1829-1900)	31
MAXWELL , James Clerk (1831-1879)	31
MACH , Ernst (1838-1916)	32
MORLEY , Edward Williams (1838-1923)	32
LIE , Marius Sophus (1842-1899)	33
RAYLEIGH , John William Strutt (1842-1919)	33
EÖTVÖS , Baron Roland von (1848-1919)	34
KLEIN , Felix Christian (1849-1925)	34
VOIGT , Woldemar (1850-1919)	35
FITZGERALD , George Francis (1851-1901)	35
MICHELSON , Albert Abraham (1852-1931)	36
POYNTING , John Henry (1852-1914)	36
LORENTZ , Hendrik Antoon (1853-1928)	40
RICCI-CURBASTRO , Gregorio (1853-1925)	37
POINCARÉ , Jules Henri (1854-1912)	40
BIANCHI , Luigi (1856-1928)	37
LARMOR , Joseph (1857-1942)	38
HERTZ , Heinrich Rudolf (1857-1894)	38
PLANCK , Max Karl Ernst Ludwig (1858-1947)	41
HILBERT , David (1862-1943)	41

MINKOWSKI, Hermann (1864-1909) 42
ZEEMAN, Pieter (1865-1943) 42
MIE, Gustav Adolf (1868-1957) 43
CARTAN, Élie Joseph (1869-1951) 43
LANGEVIN, Paul (1872-1946) 44
SITTER, Willem de (1872-1934) 44
LEVI-CIVITA, Tulio (1873-1941) 45
SCHWARZSCHILD, Carl (1873-1916) 45
ABRAHAM, Max (1875-1922) 46
BIAŁOBRZESKI, Czesław (1878-1953) 46
GROSSMANN, Marcell (1878-1936) 47
EINSTEIN, Albert (1879-1955) 47
LAUE, Max von (1879-1960) 48
MANDELSZTAM, Leonid Isaakowicz (1879-1944) 48
EHRENFEST, Paul (1880-1933) 49
NORDSTRÖM, Gunnar (1881-1923) 49
TOLMAN, Richard Chase (1881-1948) 50
BORN, Max (1882-1970) 50
EDDINGTON, Sir Arthur Stanley (1882-1944) 51
NOETHER, Amalie Emmy (1882-1935) 51
LORIA, Stanisław (1883-1958) 52
KALUZA, Theodor Franz Eduard (1885-1954) 52
WEYL, Hermann Claus Hugo (1885-1955) 53
FOKKER, Adriaan Daniël (1887-1972) 53
SCHRÖDINGER, Erwin (1887-1961) 54
FRIEDMAN, Aleksandr Aleksandrowicz (1888-1925) 54
BRILLOUIN, Léon (1889-1969) 55
HUBBLE, Edwin Powell (1889-1953) 55
WAWIŁOW, Siergiej Iwanowicz (1891-1951) 56
KLEIN, Oscar Benjamin (1894-1977) 56
LEMAÎTRE, Georges Henri Joseph Édouard (1894-1966) 57
TAMM, Igor Jewgeniewicz (1895-1971) 57
SYNGE, John Lighton (1897-1995) 58
FOCK, Władimir Aleksandrowicz (1898-1974) 58
INFELD, Leopold (1898-1968) 59
PAULI, Wolfgang Ernst (1900-1958) 59
DIRAC, Paul Adrien Maurice (1902-1984) 60
WIGNER, Eugene Paul (1902-1995) 60
ROBERTSON, Howard Percy (1903-1961) 61
CZERENKOW, Paweł Aleksiejewicz (1904-1990) 61
MC CREA, Sir William Hunter (1904-1998) 62
MØLLER, Christian (1904-1980) [Mueller] 62
OPPENHEIMER, J. Robert (1904-1967) 63
ROSENFELD, Léon (1904-1974) 63
BETHE, Hans Albrecht (1906-2005) 64
GÖDEL, Kurt (1906-1978) 64
FRANK, Ilja Michajłowicz (1908-1990) 65
LANDAU, Lew Dawidowicz (1908-1968) 65
WEISSKOPF, Victor Frederick (1908-2002) 66
WALKER, Arthur Geoffrey (1909-2001) 66

CHANDRASEKHAR, Subrahmayan (1910-1995) 67
PIETROW, Aleksiej Zinowiewicz (1910-1972) 67
FOWLER, William Alfred (1911-1995) 68
SZEKERES, George (1911-2005) 68
WHEELER, John Archibald (1911-2008) 69
SNYDER, Hartland Sweet (1913-1962) 69
ZELDOWICZ, Jakow Borysowicz (1914-1987) 70
BERGMANN, Peter Gabriel (1915-2002) 70
HOYLE, Fred (1915-2001) 71
LICHNEROWICZ, André (1915-1998) 71
LIFSZIC, Evgenij Michajłowicz (1915-1985) 72
DICKE, Robert Henry (1916-1997) 72
GINZBURG, Witalij Łazariewicz (1916-2009) 73
PAIS, Abraham (1918-2000) 73
RYLE, Sir Martin (1918-1984) 74
BONDI, Sir Hermann (1919-2005) 74
CHAŁATNIKOW, Isaak Markowicz (ur. 1919) 75
POUND, Robert Vivian (1919-2010) 75
WEBER, Joseph (1919-2000) 76
SACHAROW, Andriej Dymitriewicz (1921-1989) 76
YANG, Chen Ning (ur. 1922) 77
HEWISH, Antony (ur. 1924) 77
KRUSKAL, Martin David (1925-2006) 78
LEE, Tsung Dao (ur. 1926) 78
SALAM, Abdus (1926-1996) 79
SCIAMA, Dennis William (1926-1999) 79
TREDER, Hans Jürgen (1928-2006) 80
PENROSE, Sir Roger (ur. 1931) 80
GLASHOW, Sheldon Lee (ur. 1932) 81
KARDASZEW, Nikołaj Siemionowicz (ur. 1932) 81
MISNER, Charles William (ur. 1932) 82
PENZIAS, Arno Allan (ur. 1933) 82
TRAUTMAN, Andrzej (ur. 1933) 83
WEINBERG, Steven (ur. 1933) 83
KERR, Roy Patrick (ur. 1934) 84
NOWIKOW, Igor Dymitrowicz (ur. 1935) 84
WILSON, Robert Woodrow (ur. 1936) 85
THORNE, Kip Stephen (ur. 1940) 85
TAYLOR, Joseph Hooton (ur. 1941) 86
HAWKING, Stephen William (ur. 1942) 86
GUTH, Alan Harvey (ur. 1947) 87
LINDE, Andriej Dymitrowicz (ur. 1948) 87
HULSE, Russell Alan (ur. 1950) 88
WITTEN, Edward (ur. 1951) 88



Zbigniew Osiak

Należę do pokolenia fizyków, dla których idolami byli Albert Einstein, Lew Dawidowicz Landau i Richard P. Feynman. Einstein zniewolił mnie potęgą swej intuicji. Landaua podziwiam za rzetelność, precyzję i prostotę wywodów oraz instynktowne wyczuwanie istoty zagadnienia.

Feynman urzekł mnie lekkością narracji i subtelnym poczuciem humoru.