

Historia Teorii Względności



Zbigniew Osiak

**Ciekawe wyniki
po 1955**

05

OZNACZENIA

B – notka biograficzna

C – ciekawostka

D – propozycja wykonania doświadczenia

H – informacja dotycząca historii fizyki

I – adres strony internetowej

K – komentarz

P – przykład

U – uwaga

Zbigniew Osiak (Tekst)

HISTORIA TEORII WZGLĘDNOŚCI

Ciekawe wyniki po 1955

Małgorzata Osiak (Ilustracje)

© Copyright 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: 978-83-272-4479-6

e-mail: zbigniew.osiak@gmail.com

“*Historia Teorii Względności – Ciekawe wyniki po 1955*” jest piątym z pięciu tomów pomocniczych materiałów do prowadzonego przeze mnie seminarium dla słuchaczy Uniwersytetu Trzeciego Wieku w Uniwersytecie Wrocławskim.

Szczegółowe informacje dotyczące sygnalizowanych tam zagadnień zainteresowani Czytelnicy znajdą w innych moich eBookach:

Z. Osiak: *Szczególne Teoria Względności*. Virtualo 2012.

Z. Osiak: *Ogólna Teoria Względności*. Virtualo 2012.

Z. Osiak: *Antygravitacja*. Virtualo 2012.

Z. Osiak: *Energia w Szczególnej Teorii Względności*. Virtualo 2012.

Z. Osiak: *Giganci Teorii Względności*. Virtualo 2012.

Z. Osiak: *Teoria Względności – Prekursorzy*. Virtualo 2012.

Z. Osiak: *Teoria Względności – Twórcy*. Virtualo 2013.

Z. Osiak: *Teoria Względności – Kulisy*. Virtualo 2012.

Z. Osiak: *Teoria Względności – Kalendarium*. Virtualo 2013.

Zapis wszystkich pomocniczych materiałów zgrupowanych w pięciu tomach zostanie zamieszczony w postaci eBooków na Platformie Dystrybucji Cyfrowej Virtualo.

Z. Osiak: *Historia Teorii Względności – Od Kopernika do Newtona*

Z. Osiak: *Historia Teorii Względności – Od Newtona do Maxwella*

Z. Osiak: *Historia Teorii Względności – Od Maxwella do Einsteina*

Z. Osiak: *Historia Teorii Względności – Era Einsteina 1905-1955*

Z. Osiak: *Historia Teorii Względności – Ciekawe wyniki po 1955*

Seminarium

HISTORIA TEORII WZGLĘDNOŚCI

Ciekawe wyniki po 1955

dr Zbigniew Osiak

Portrety wykonała

Małgorzata Osiak

- Kalendarium
- Notki biograficzne
- Alfabetyczny indeks nazwisk
- Chronologiczny indeks nazwisk

Kalendarium

1948, 1952, 1955, 1958, 1959

Madge Gertrude Adam (1912-2001), poczynając od 1948, badała Einsteińskie przesunięcie grawitacyjne słonecznych linii widmowych, publikując wyniki w latach 1948, 1952, 1955, 1958 oraz 1959.

1956

Władimir Aleksandrowicz Fock (1898-1974) otrzymał z równań pola Einsteina równania ruchu dla rotujących ciał z uwzględnieniem ich wewnętrznej struktury.

1958

Wilhelm Heinrich Walter Baade (1893-1960) badał problemy związane z wyznaczaniem odległości galaktyk.

David Joseph Bohm (1917-1992) i Jean-Pierre Vigier (1920-2004) opracowali relatywistyczną hydrodynamikę wirujących cieczy.

1958

Christian Møller (1904-1980) wprowadził nowy pseudotensor energii-pędu w teorii grawitacji (pseudotensor energii-pędu Møllera).

Charles Hard Townes (ur. 1915) powtórzył ze współpracownikami doświadczenie Michelsona-Morleya, zwiększając dokładność pomiarów dzięki wykorzystaniu masera amoniakalnego.

1960

Martin Ryle (1918-1984) i Antony Hewish (ur. 1924) opracowali metodę syntezy apertury, dzięki czemu można zastąpić obserwacje dużym radioteleskopem wieloma małymi.

1960

George Szekeres (1911-2005) i Martin David Kruskal (ur. 1925), niezależnie od siebie, zaproponowali układ współrzędnych pozwalający pozbyć się pozornych osobliwości związanych z metryką Schwarzschilda.

Leonard Isaac Schiff (1915-1971) opisał złożenie precesji de Sittera oraz precesji Lensego-Thirringa osi obrotu swobodnie orbitującego żyroskopu w polu grawitacyjnym wirującego ciała źródłowego.

Roger Penrose (ur. 1931) sformułował spinorowe podejście do OTW.

Robert Vivian Pound (1919-2010) i Glen Anderson Rebka (ur. 1931) zmierzili w warunkach laboratoryjnych przesunięcie linii widmowych spowodowane polem grawitacyjnym Ziemi, wykorzystując efekt Mössbauera.

1960

Joseph Weber (1919-2000) zaprojektował i zbudował pierwszy detektor promieniowania grawitacyjnego.

1961

Otto Hermann Leopold Heckmann (1901-1983) sformułował hipotezę o możliwości wpływu rotacji wszechświata na jego ekspansję.

Martin Ryle (1918-1984) i R. W. Clarke dokonali obserwacji rozmieszczenia radioźródeł, które nie potwierdzały przewidywań teorii Stanu Stacjonarnego.

Robert Henry Dicke (1916-1997) i Carl Brans (ur. 1935) wspólnie opracowali (1961) skalarno-tensorową teorię grawitacji zakładającą, że “stała” grawitacji zmniejsza się z szybkością jednej części na 10^{11} w ciągu roku (teoria Bransa-Dicke’a).

1962

Dennis William Sciama rozwinął (1926-1999) teorię czasoprzestrzeni ze skręceniem (teoria Einsteina-Cartana-Sciama-Kibble'a).

Gerald Maurice Clemence (1908-1974) analizował w ramach OTW odległości między planetami a Słońcem.

1962, 1977

Hans Jürgen Treder (1928-2006) badał grawitacyjne fale uderzeniowe.

1963

Roy Patrick Kerr (ur. 1934) podał rozwiązanie próżniowych równań polowych Einsteina dla przypadku wirującego źródła (metryka Kerr).

1964

Robert Henry Dicke (1916-1997) potwierdził równoważność masy grawitacyjnej i inercyjnej z dokładnością do 10^{-11} .

Josif Samojłowicz Szkłowski (1916-1985) i Nikołaj Siemionowicz Kardaszew (ur. 1932) obliczyli, 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.

1964, 1968

Irwin I. Shapiro (ur. 1929) przewidział (1964) i wykazał (1968), że czas przelotu sygnału radarowego na trasie Ziemia-Wenus (Merkury)-Ziemia w pobliżu Słońca jest dłuższy niż czas przelotu z dala od Słońca.

1965

Robert Henry Dicke (1916-1997) i współpracownicy wysunęli hipotezę, że wszechświat jest wypełniony mikrofalowym promieniowaniem tła (promieniowaniem reliktowym) odpowiadającym temperaturze kilku stopni Kelwina, będącym pozostałością po Wielkim Wybuchu. Stanowiło to wyjaśnienie odkrycia dokonanego w 1965 przez A. A. Penziasa i R. W. Wilsona.

Arno Allan Penzias (ur. 1933) i Robert Woodrow Wilson (ur. 1936) odkryli mikrofalowe izotropowe promieniowanie tła odpowiadające temperaturze 3,5 stopni Kelvina. Promieniowanie tła zwane jest również promieniowaniem reliktowym lub szczątkowym. Odkrycie to potwierdziło hipotezę o istnieniu promieniowania szczątkowego jako pozostałości po Wielkim Wybuchu. Promieniowanie powstałe podczas kreacji wszechświata traciło energię wskutek jego ekspansji.

Hipotezę tę sformułował po raz pierwszy George Gamow w 1948. W tym samym roku jego współpracownicy A. Alpher i R. Herman oszacowali obecną temperaturę mikrofalowego promieniowania tła na około 5 K. Podobne obliczenia przedstawili R. H. Dicke, P. J. E. Peebles, P. G. Roll i D. T. Wilkinson w artykule poprzedzającym doniesienie A. A. Penziasa i R. W. Wilsona.

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.

1966

Hans Jürgen Treder (1928-2006) opracował tetradową teorię grawitacji.

1967

John Archibald Wheeler (1911-2008) zaproponował nazwę **czarna dziura** (1967-wykład, 1968-artykuł) oraz frazę **czarne dziury nie mają włosów** (black holes have no hair).

Susan Jocelyn Bell-Burnell (ur. 1943) odkryła pulsara.

Andriej Dymitriewicz Sacharow (1921-1989) postulował 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.

1968

Kenneth Leon Nordtvedt, Jr. (ur. 1939) sformułował hipotezę, że gdyby Ziemia i Księżyc orbitowały wokół Słońca z różnymi przyspieszeniami, to spowodowałyby to perturbacje odległości Ziemia-Księżyc w stosunku do obliczonych w ramach OTW.

Laserowe pomiary odległości Ziemia-Księżyc nie wykazały istnienia efektu Nordvedta, stanowiąc tym samym pozytywny test silnej zasady równoważności.

Laser Lunar Ranging Experiment to angielska nazwa tego testu.

•Kenneth Nordtvedt: *Equivalence principle for massive bodies. I. Phenomenology.*

Physical Review **169**, 5 (1968) 1014-1016.

•Kenneth Nordtvedt: *Equivalence Principle for Massive Bodies. II. Theory.*

Physical Review **169**, 5 (1968) 1017-1025.

•Kenneth Nordtvedt: *Testing Relativity with Laser Ranging to the Moon.*

Physical Review **170**, 5 (1968) 1186-1187.

1968

Thomas Gold (1920-2004) pierwszy sugerował, że pulsary są wirującymi gwiazdami neutronowymi.

1969

Martin John Rees (ur. 1942) i Dennis William Sciama (1926-1999) przewidzieli, że fluktuacje mikrofalowego promieniowania tła zostały spowodowane nierównomiernym rozkładem materii we wszechświecie.

Charles William Misner (ur. 1932) sformułował “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? Zadawające rozwiązanie tego paradoksu zostało podane w ramach inflacyjnego modelu wielkiego wybuchu (Guth, 1981).

1970

Jan Hendrik Oort (1900-1992) oszacował gęstość materii we wszechświecie na $0,5 \cdot 10^{-29} \text{ gcm}^{-3}$.

Stephen William Hawking (ur. 1942) i Roger Penrose (ur. 1931) przedstawili hipotezę, że wszechświat powstał z osobliwości.

Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984) rozwinął teorię spinorów, wprowadzonych po raz pierwszy przez Cartana.

1971

Joseph C. Hafele (ur. 1933) oraz Richard E. Keating przeprowadzili w październiku 1971 eksperyment potwierdzający istnienie relatywistycznej i grawitacyjnej dylatacji czasu.

Okружили dwukrotnie w kierunkach wschodnim i zachodnim Ziemię rejsowym samolotem, na pokładzie którego umieścili cztery cezowe zegary atomowe. Następnie porównali wskazania podróżujących zegarów ze wskazaniem zegarów pozostawionych na Ziemi.

Przelot w kierunku wschodnim na trasie Waszyngton – Londyn – Frankfurt – Stambuł – Bejrut – Teheran – Nowe Dehli – Bangkok – Hongkong – Tokio – Honolulu – Los Angeles – Dallas – Waszyngton trwał 65,42 godzin. Średnia prędkość względem Ziemi wynosiła 243 m/s, średnia wysokość nad poziomem morza – 8,90 km, średnia szerokość geograficzna marszruty – 34 stopnie.

Przelot w kierunku zachodnim na trasie Waszyngton – Los Angeles – Honolulu – Guam – Okinawa – Tajpej – Hongkong – Bangkok – Bombaj – Tel Awiw – Ateny – Rzym – Paryż – Shannon – Boston – Waszyngton trwał 80,33 godzin. Średnia prędkość względem Ziemi wynosiła 218 m/s, średnia wysokość nad poziomem morza – 8,36 km, średnia szerokość geograficzna marszruty – 31 stopni.

Wyniki eksperymentu były zgodne z przewidywaniami teorii względności dotyczącymi relatywistycznej i grawitacyjnej dylatacji czasu.

- J. C. Hafele: *Performance and results of portable clocks in aircraft*. PTTI, 3rd Annual Meeting. (November 16-18, 1971) 261-288.
- J. C. Hafele, R. E. Keating: *Around-the-World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains*. Science **177**, 4044 (July 14, 1972) 166-168.
- J. C. Hafele, R. E. Keating: *Around-the-World Atomic Clocks: Observed Relativistic Time Gains*. Science **177**, 4044 (July 14, 1972) 168-170.

1971

Roger Penrose (ur. 1931) opisał mechanizm umożliwiający pozyskiwanie energii rotacyjnej z czarnej dziury Kerr'a.

Władimir Borysowicz Bragiński (ur. 1931) doświadczalnie potwierdził równość masy grawitacyjnej i inercyjnej z dokładnością do 10^{-12} .

Robert Lull Forward (1932-2002) zaproponował sferyczny detektor rezonansowy fal grawitacyjnych.

1974

Russell Hulse (ur. 1950) odkrył podwójnego pulsara.

Brandon Carter (ur. 1942) sformułował zasadę antropiczną (anthropic principle): “Wszechświat powinien mieć takie własności, by mogło w nim powstać, trwać i rozwijać się życie”.

1975

Stephen William Hawking (ur. 1942) wykazał, że czarne dziury mogą emitować promieniowanie korpuskularne (promieniowanie Hawkinga).

1976

Robert Henry Dicke (1916-1997) przeprowadził wraz z zespołem nowy test zasady równoważności bazujący na laserowym pomiarze odległości Ziemia-Księżyc.

Stephen William Hawking (ur. 1942) sformułował drugą zasadę termodynamiki dla czarnych dziur.

1976

Robert F. C. Vessot i Martin W. Levine ze współpracownikami przeprowadzili w czerwcu 1976 test OTW z maserem wodorowym potwierdzający z bardzo dużą dokładnością (0,007%) grawitacyjną dylatację czasu (grawitacyjne poczerwienienie). Test ten nazywany jest też doświadczeniem Vessota-Levine.

Porównano częstotliwości mikrofalowych sygnałów generowanych przez wodorowy maser umieszczony w rakiecie wystrzelonej na wysokość 10000 km z częstotliwością masera pozostawionego na powierzchni Ziemi.

•R. F. C. Vessot, M. W. Levine, et al.: *Test of Relativistic Gravitation with a Space-Borne Hydrogen Maser*. Physical Review Letters **45**, 26 (29 December 1980) 2081-2084.

1978

Christian Møller (1904-1980) zmodyfikował Ogólną Teorię Względności, konstruując nową teorię pola w przestrzeni Weintzenböcka (teoria grawitacji Møllera).

1979

Joseph Hooton Taylor (ur. 1941) wykazał, że podwójny pulsar 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.

Istnienie fal grawitacyjnych po raz pierwszy postulował Einstein już w 1916.

1979

Robert Henry Dicke (1916-1997) i Phillip James Edwin Peebles (ur. 1935) sformułowali tzw. “problem płaskości”. Tuż po Wielkim Wybuchu gęstość materii we Wszechświecie powinna być zbliżona do krytycznej, czyli takiej przy której staje się on płaski, a szybkość ekspansji ulega spowolnieniu. W przeciwnym przypadku dawno temu nastąpiłby już Wielki Kolaps lub stan prawie próżni.

Podali kryteria pozwalające ustalić typ wszechświata na podstawie wartości parametru gęstości Ω . (Ω z definicji jest stosunkiem średniej gęstości masy we wszechświecie do krytycznej gęstości masy.)

Jeżeli $\Omega < 1$, to Wszechświat jest otwarty, czyli będzie rozszerzać się wiecznie.

Jeżeli $\Omega > 1$, to Wszechświat jest zamknięty, czyli będzie rozszerzać się tylko do pewnego momentu, a następnie zacznie się kurczyć.

Jeżeli $\Omega = 1$, to Wszechświat jest płaski, rozszerza się coraz wolniej.

1979

Dennis Walsh (1933-2005), Robert F. Carswell i Ray J. Weymann odkryli kwazara będącego soczewką grawitacyjną.

1980

Bronisław Edward Średniawa (ur. 1917) badał relatywistyczne równania ruchu cząstki spinowej.

1981

Alan Harvey Guth (ur. 1947) zaproponował model bardzo wczesnego wszechświata, nazwanego przez niego wszechświatem inflacyjnym.

1982

Andriej Dymitrowicz Linde (ur. 1948) przedstawił teorię “nowej inflacji”.

1983

Stephen William Hawking (ur. 1942) wprowadził pojęcie funkcji falowej wszechświata.

Dymitr Dymitrowicz Iwanienko (1904-1994) badał teorię grawitacji z cechowaniem, uwzględniającą krzywiznę i skręcenie.

Andriej Dymitrowicz Linde (ur. 1948) zaproponował teorię “chaotycznej inflacji”.

1986

Andriej Dymitrowicz Linde (ur. 1948) opracował teorię “permanentnie samo-reprodukującej się inflacji”.

1990

Grupa COBE: John C. Mather (ur. 1946) i współpracownicy opublikowali doniesienie: *Wstępne pomiary spektrum kosmicznego mikrofalowego tła uzyskane przez satelitę COBE.*

1991

Grupa COBE: George F. Smoot (ur. 1945) i współpracownicy opublikowali doniesienie: *Pierwsze wyniki pomiaru anizotropii kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła uzyskane przez satelitę COBE.*

1994

Andriej Dymitrowicz Linde (ur. 1948) ogłosił teorię “hybrydowej inflacji”.

1998

Saul Perlmutter (ur. 1959) oraz **niezależnie** Brian P. Schmidt (ur. 1967) i Adam G. Ries (ur. 1969) odkryli (1998) gwałtowny wzrost poczerwienienia światła docierającego do Ziemi z bardzo odległych źródeł.

2001

Paweł O. Mazur i Emil Motolla podali warstwowy model czarnej dziury, otrzymał on nazwę grawastar.

2002

Sergei M. Kopeikin (ur. 1956) i Edward B. Fomalont wykazali, że wartość prędkości fal grawitacyjnych jest taka sama jak wartość prędkości światła w próżni.

2003

Bruno Bertotti, L. Iess i Paolo Tortora przeprowadzili test ogólnej teorii względności, w którym wykorzystali połączenie radiowe Ziemi ze statkiem kosmicznym Cassini. Pomiarów dokonano, gdy między Ziemią i Cassini znajdowało się Słońce. Odchylenie fal radiowych i zmianę ich częstości przez Słońce na trasie Ziemia-Cassini-Ziemia zmierzono z dużą dokładnością. Wyniki potwierdziły przewidywania wynikające z OTW.

2006

Raymond Y. Cio (ur. 1940) zaproponował nową metodę generowania i detekcji fal grawitacyjnych, konstruując mikrofalowy generator i detektor helowy.

2011

20 marca 2004 satelita Gravity Probe B został umieszczony na orbicie biegunowej (polarnej) o promieniu 642 km.

Na pokładzie satelity znajdowały się cztery kriogeniczne żyroskopy, chociaż tylko jeden z nich był niezbędny. Rotory żyroskopów były kulami o średnicy 38 mm wykonanymi z kwarcu i pokrytymi warstwą niobu, zawieszane były elektrostatycznie.

Uzyskane w 2011 wyniki potwierdziły z dużą dokładnością istnienie precesji Schiffa.

Misja była prowadzona przez NASA i Uniwersytet w Stanford pod kierunkiem C. W. Francisa Everita (ur. 1934).

•C. W. F. Everitt et al.: *Gravity Probe B: Final Results of a Space Experiment to Test General Relativity*. Physical Review Letters **106**, 221101 (2011).