

Teoria Względności



Zbigniew Osiak

Wyniki

02

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)

TEORIA WZGLĘDNOŚCI
Wyniki

Małgorzata Osiak (Ilustracje)

© 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: 978-83-272-3393-6

e-mail: zbigniew.osiak@gmail.com

W 2011 i 2012 wygłosiłem dla słuchaczy Uniwersytetu Trzeciego Wieku w Uniwersytecie Wrocławskim cykl wykładów:

01. Teoria Względności – Podstawy
02. Teoria Względności – Wyniki
03. Teoria Względności – Testy
04. Teoria Względności – Zastosowania
05. Teoria Względności – Problemy
06. Teoria Względności – Błędne Interpretacje
07. Teoria Względności – Prekursorzy
08. Teoria Względności – Twórcy
09. Teoria Względności – Kulisy
10. Teoria Względności – Kosmologia Relatywistyczna
11. Teoria Względności – Czarne Dziury
12. Teoria Względności – Fale Grawitacyjne
13. Teoria Względności – Antygravitacja
14. Teoria Względności – Kalendarium

Pomocnicze materiały do tych wykładów będą dostępne w internecie.

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

Z. Osiak: *Szczególna Teoria Względności*. Self Publishing (2012).

Z. Osiak: *Ogólna Teoria Względności*. Self Publishing (2012).

Z. Osiak: *Antygravitacja*. Self Publishing (2012).

Z. Osiak: *Giganci Teorii Względności*. Self Publishing (2012).

Z. Osiak: *Energia w Szczególnej Teorii Względności*. SP (2012).

Z. Osiak: *Energy in Special Relativity*. Self Publishing (2011).

Z. Osiak: *Encyklopedia Fizyki*. Self Publishing (2012).

Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Teoria Względności*. SP (2013).

TEORIA WZGLĘDNOŚCI

Wyniki

dr Zbigniew Osiak

Portrety wykonała

Małgorzata Osiak

-
- Hendrik Antoon Lorentz – 1904 (15)
 - Albert Einstein – 1905 (16)
 - Albert Einstein – 1905, 1915 (17)
 - Albert Einstein – 1913, 1914, 1915, 1916 (18)
 - Albert Einstein – 1917 (19)
 - Henri Poincaré – 1905 (20)
 - David Hilbert – 1915 (21)
 - Marcell Grossmann – 1913 (22)
 - Max Karl Ernst Ludwig Planck – 1906, 1907 (23)
 - Hermann Minkowski – 1908 (24)
 - Carl Schwarzschild – 1916 (25)
 - Willem de Sitter – 1916, 1917 (26)
 - Hans Thirring – 1918 (27)
 - Joseph Lense – 1918 (28)
 - Tulio Levi-Civita – 1918, 1937, 1950 (29)
 - Sir Arthur Stanley Eddington – 1919, 1930 (30)

-
- Hermann Claus Hugo Weyl – 1917, 1918 (31)
 - Theodor Franz Eduard Kaluza – 1921 (32)
 - Aleksander Aleksandrowicz Friedman – 1922, 1924 (33)
 - Georges Henri Joseph Edouard Lemaître – 1925, 1927 (34)
 - Elie Joseph Cartan – 1922, 1923-1925 (35)
 - Edwin Powell Hubble – 1929 (36)
 - Howard Percy Robertson – 1928, 1929, 1933 (37)
 - Richard Chase Tolman – 1928, 1932, 1939 (38)
 - John Lighton Synge – 1937 (39)
 - Leopold Infeld – 1938 (40)
 - J. Robert Oppenheimer – 1939 (41)
 - Lew Dawidowicz Landau – 1948 (42)
 - Ewgenij Michajłowicz Lifszic – 1948 (43)
 - Kurt Gödel – 1949, 1952 (44)
 - Aleksiej Zinowiewicz Pietrow – 1954 (45)
 - Ważne wyniki po 1955 (46)

-
- Władimir Aleksandrowicz Fock – 1956 (49)
 - William Alfred Fowler – 1957 (50)
 - Charles Hard Townes – 1958 (51)
 - David Joseph Bohm – 1958 (52)
 - Christian Møller – 1958, 1962, 1978 (53)
 - Leonard Isaac Schiff – 1960 (54)
 - George Szekeres – 1960 (55)
 - Martin David Kruskal – 1960 (56)
 - Sir Roger Penrose – 1960, 1970 (57)
 - Sir Roger Penrose – 1971 (58)
 - Robert Vivian Pound – 1960 (59)
 - Joseph Weber – 1960 (60)
 - Antony Hewish – 1960, 1967 (61)
 - Martin Ryle – 1961 (62)
 - Otto Hermann Leopold Heckmann – 1961 (63)
 - Robert Henry Dicke – 1961, 1962 (64)

-
- Robert Henry Dicke – 1965 (65)
 - Robert Henry Dicke – 1976, 1979 (66)
 - Dennis William Sciama – 1962 (67)
 - Hans Jürgen Treder – 1962, 1967, 1977 (68)
 - Roy Patrick Kerr – 1963 (69)
 - Nikołaj Siemionowicz Kardaszew – 1964 (70)
 - Irwin I. Shapiro – 1964, 1968 (71)
 - Arno Allan Penzias – 1965 (72)
 - Robert Woodrow Wilson – 1965 (73)
 - Andriej Dymitriewicz Sacharow – 1967 (74)
 - Jocelyn Bell – 1967 (75)
 - John Archibald Wheeler – 1967, 1968 (76)
 - Thomas Gold – 1968 (77)
 - Charles William Misner – 1969 (78)
 - Martin John Rees – 1969 (79)
 - Paul Adrien Maurice Dirac – 1970 (80)

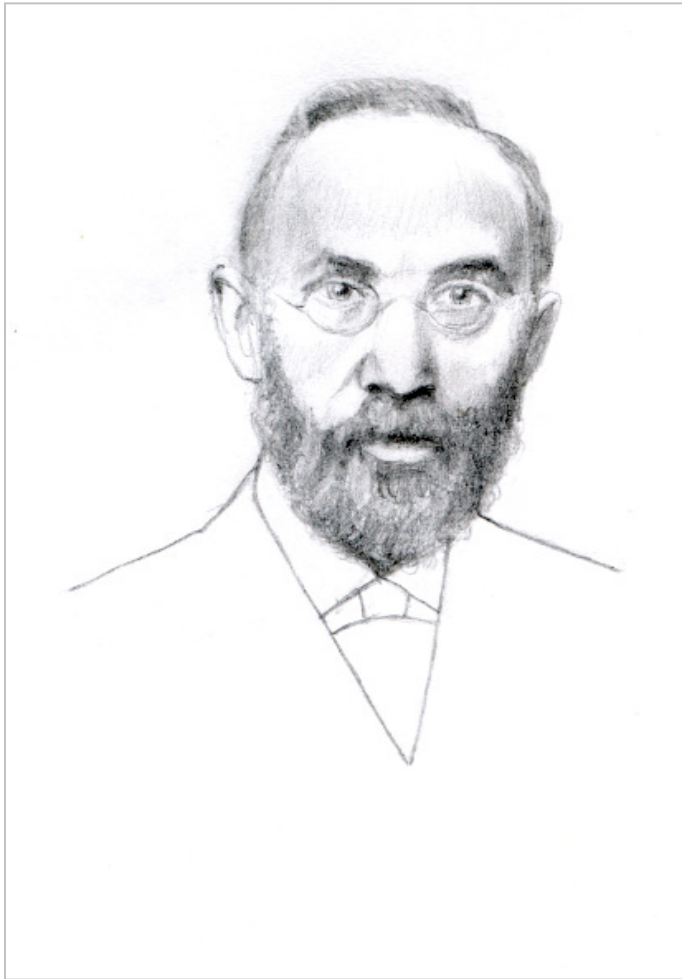
-
- Stephen Wiliam Hawking – 1970, 1976, 1983 (81)
 - Joseph C. Hafele – 1971 (82)
 - Joseph C. Hafele – 1971 (83)
 - Władimir Borysowicz Bragiński – 1971 (84)
 - Russell Alan Hulse – 1974 (85)
 - Brandon Carter – 1974 (86)
 - Robert F. C. Vessot – 1976 (87)
 - Joseph Hooton Taylor – 1979 (88)
 - Alan Harvey Guth – 1981 (89)
 - Andriej Dymitrowicz Linde – 1982, 1983, 1986, 1994 (90)
 - Sheldon Lee Glashow – 1997 (91)
 - Satelita COBE – 1976 (92)
 - John C. Mather (93)
 - George F. Smoot (94)
 - Michael G. Hauser (95)
 - Satelita COBE – 1989, 1991/1992 (96)

-
- Nagroda Nobla z fizyki w 2006 (97)
 - Saul Perlmutter – 1998 (98)
 - Brian P. Schmidt – 1998 (99)
 - Adam Guy Riess – 1998 (100)
 - Nagroda Nobla z fizyki w 2011 (101)
 - Paweł Mazur – 2001 (102)
 - Sergei Kopeikin – 2002 (103)
 - Edward B. Fomalont – 2002 (104)
 - Bruno Bertotti – 2003 (105)
 - C. W. Francis Everitt – 2004 (106)
 - Satelita Gravity Probe B – 2004 (107)

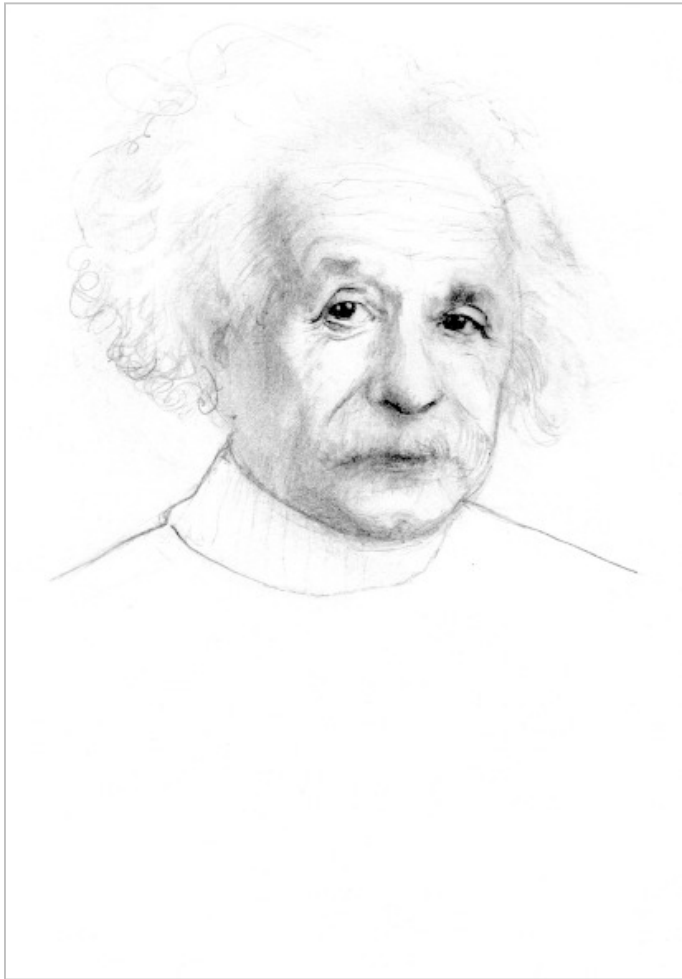
Tematyka badawcza czołowych relatywistów (108)

- Wilhelm Heinrich Walter Baade – 1958 (109)
- Dymitr Dymitrowicz Iwanienko – 1983 (110)
- Gerald Maurice Clemence – 1962 (111)

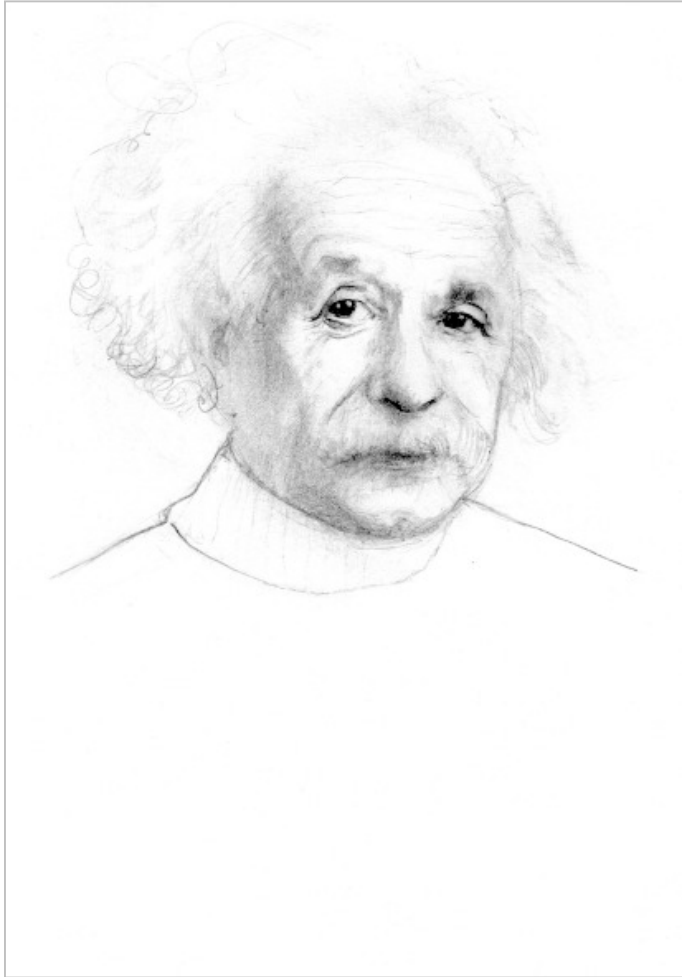
-
- Victor Frederick Weisskopf – 1960 (112)
 - Olivier Costa de Beauregard (113)
 - Madge Gertrude Adam – 1948, 1952, 1955, 1958, 1959 (114)
 - Jakow Borysowicz Zeldowicz (115)
 - Witalij Łazariewicz Ginzburg (116)
 - Bronisław Edward Średniawa – 1980 (117)
 - Abdus Salam (118)
 - Isaak Markowicz Chałatnikow (119)
 - Andrzej Trautman (120)
 - Steven Weinberg – 1987 (121)
 - Igor Dymitrowicz Nowikow (122)
 - Kip Stephen Thorne (123)
 - Edward Witten (124)



- Zaproponował (1904) transformacje współrzędnych przestrzennych i czasu, niezmienną postaci równań Maxwella.

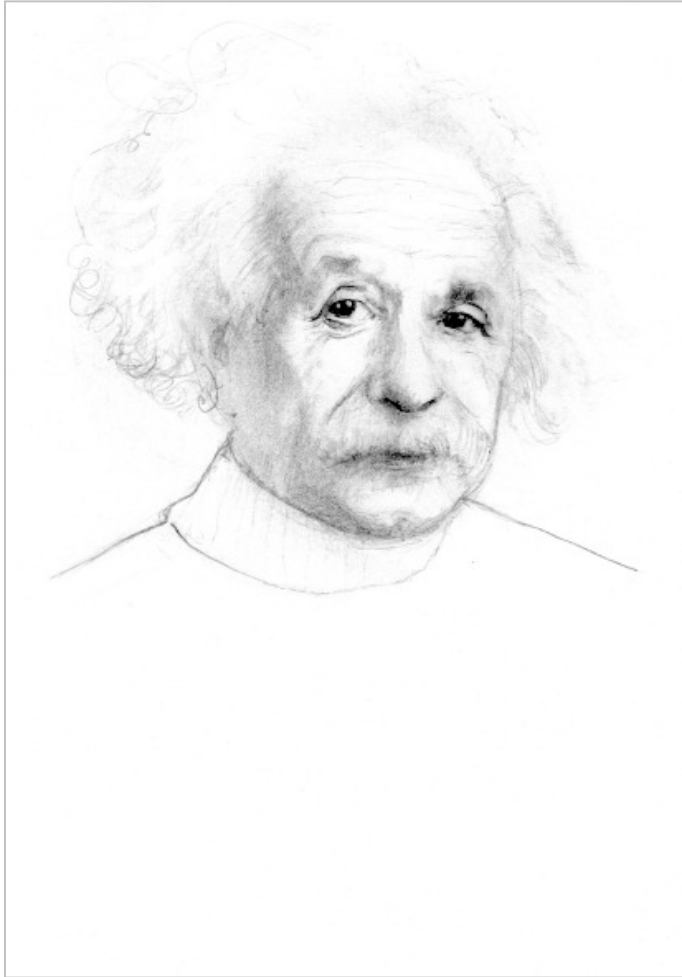


- Sformułował 30 czerwca 1905 podstawy Szczególnej Teorii Względności.
- Uzasadnił 27 września 1905 wzór $E = mc^2$.
- Sformułował 4 grudnia 1907 zasadę równoważności i wywnioskował z niej istnienie grawitacyjnego przesunięcia ku czerwieni oraz odchylenia promieni świetlnych w polu grawitacyjnym.



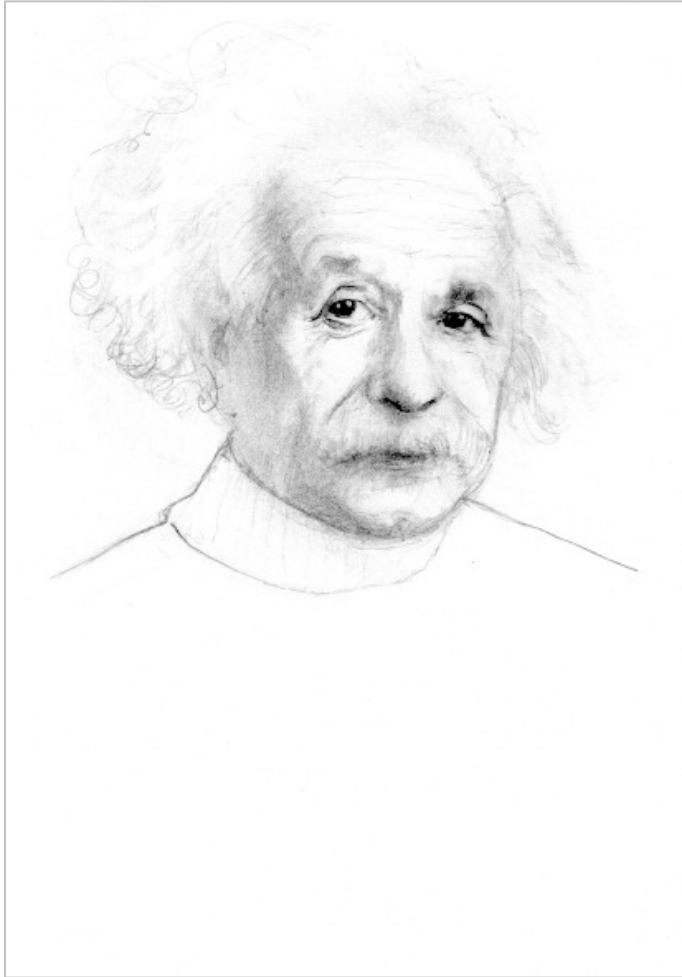
- A. Einstein i J. Laub badali w 1908 równania Maxwella-Hertza oraz równania materiałowe w poruszającym się ośrodku. Podali wzory transformacyjne dla wielkości charakteryzujących pole elektromagnetyczne i jego źródła.
- Jakościowo i ilościowo wyjaśnił 18 listopada 1915 anomalny obrót peryhelium Merkurego (i pozostałych planet) oraz odchylenie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym.

1908, 1915

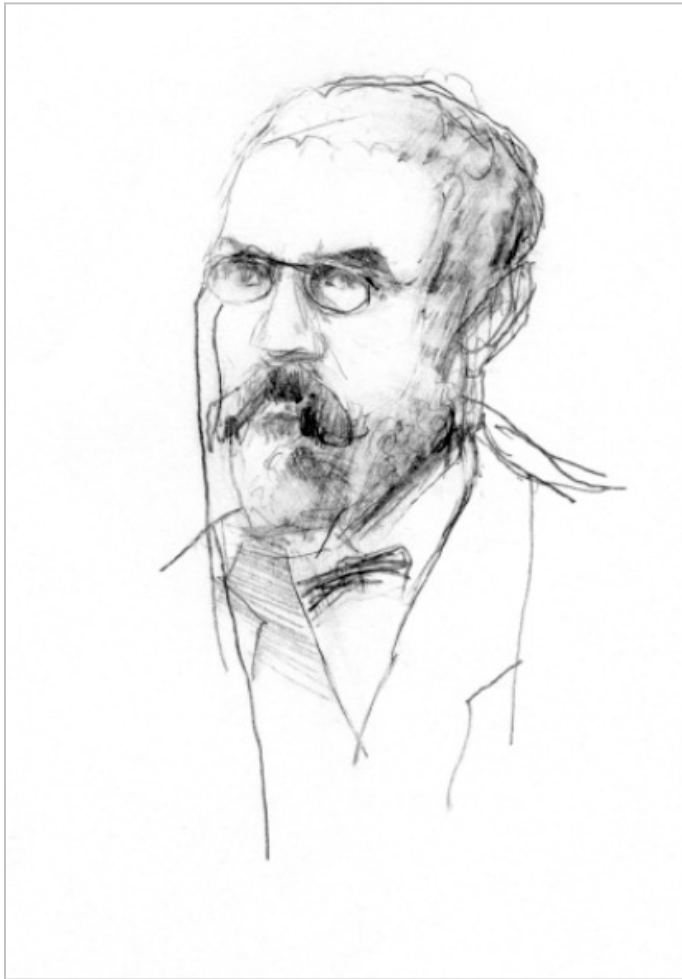


- Zaproponował 25 listopada 1915 poprawne ogólnie kowariantne równania polowe grawitacji.
- Zapisał 3 lutego 1916 równania Maxwella w postaci ogólnie kowariantnej, wcześniej uczynił to również w 1913 oraz 1914.
- Sformułował 22 czerwca 1916 teorię fal grawitacyjnych.

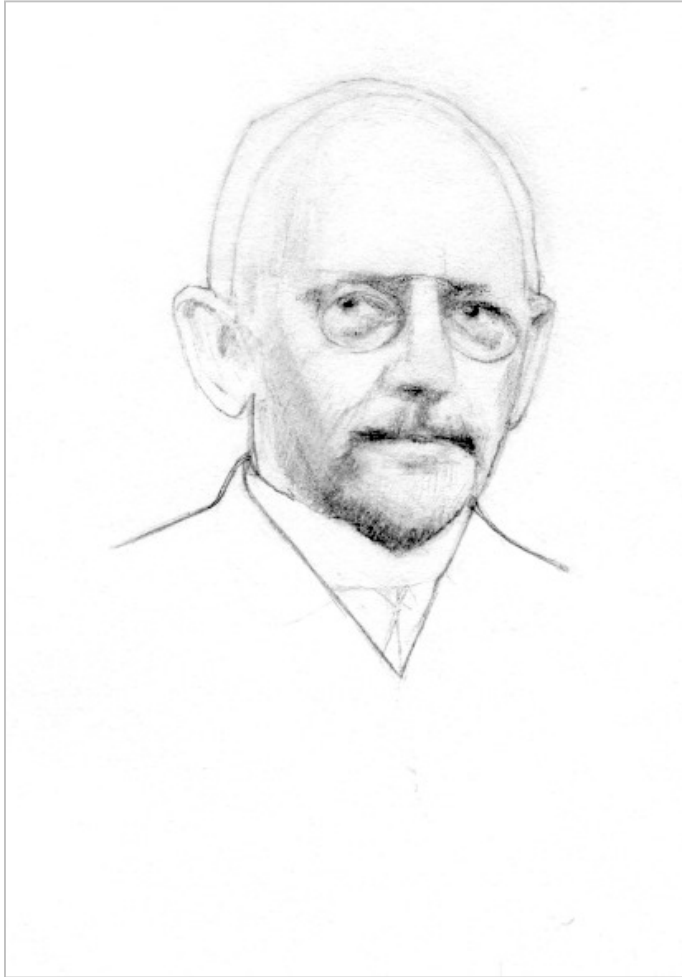
1913, 1914, 1915, 1916



- Zaproponował 8 lutego 1917 równanie pola grawitacyjnego z członem kosmologicznym i w oparciu o nie przedstawił w ramach OTW pierwszy model Wszechświata.
- Praca ta dała początek kosmologii relatywistycznej.



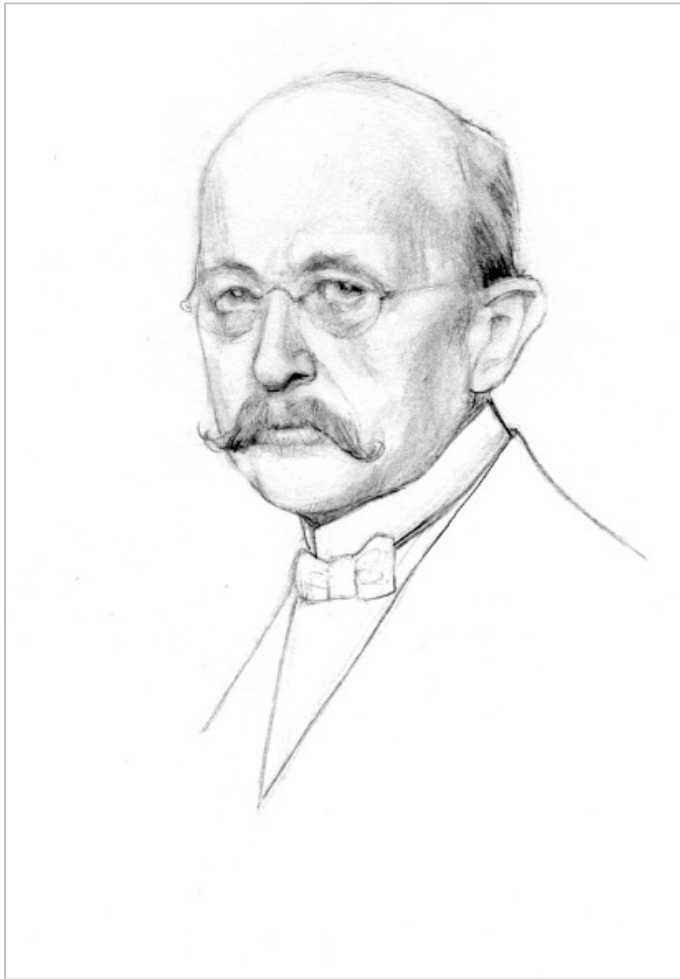
- Niezależnie od Einsteina sformułował 23 lipca 1905 Szczególną Teorię Względności.
- Zaproponował nazwę transformacje Lorentza.



- Podał 20 listopada 1915 ogólnie kowariantne równania pola grawitacyjnego, wyprowadzając je z zasady wariacyjnej.



- W znacznym stopniu przyczynił się (1913) do powstania OTW, rozwijając rachunek tensorowy.
- Wprowadził pojęcie tensora mieszanego.
- Skonstruował mieszany tensor krzywizny czwartego rzędu.
- Utworzył kowariantny tensor krzywizny drugiego rzędu.

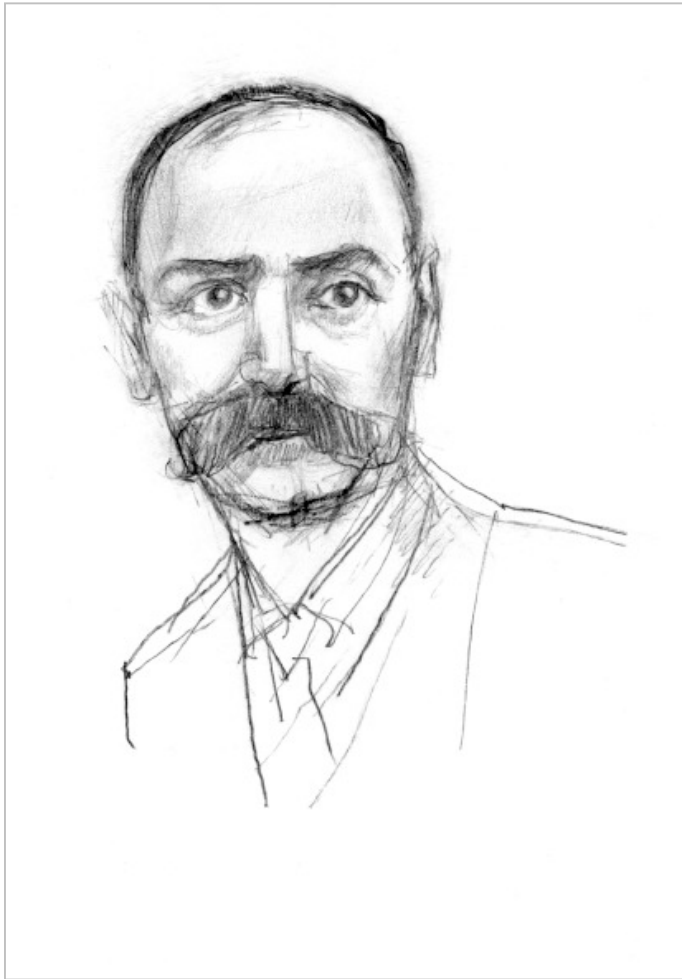


- Zaproponował (1906) nazwę Teoria Względności.
- Podał (1906) trójwymiarowe relatywistyczne równania ruchu, wyrażenia dla funkcji Lagrange'a i Hamiltona oraz pędu cząstki.
- Stworzył (1907) podstawy relatywistycznej termodynamiki.

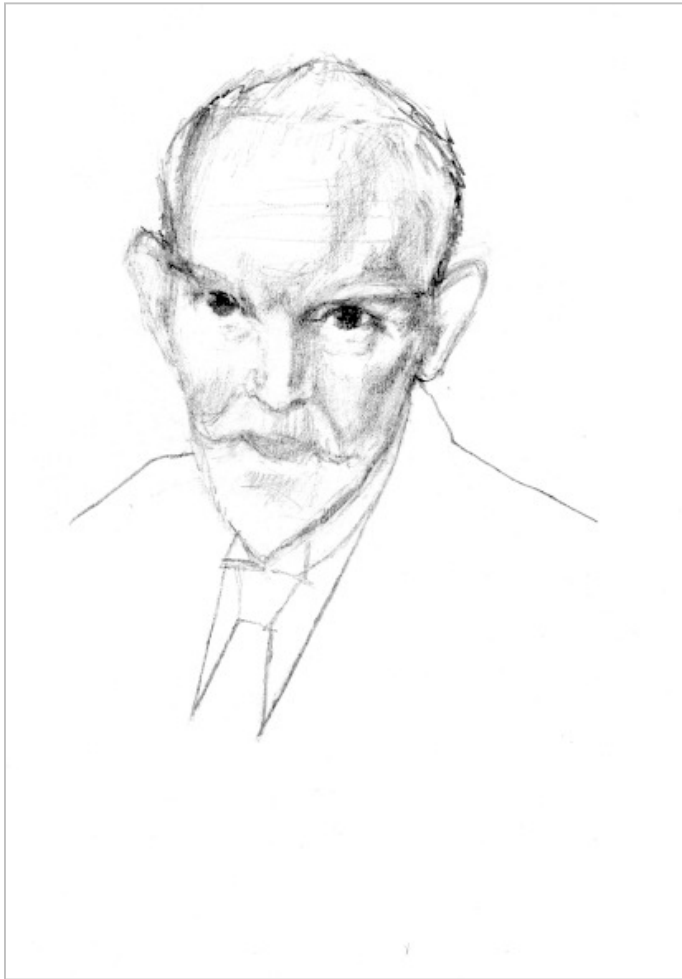
1906, 1907



- Wprowadził (1908) pojęcie czterowymiarowej czasoprzestrzeni.
- Przedstawił (1908) równania Maxwella oraz równania mechaniki punktu materialnego w czterowymiarowej postaci tensorowej.
- Prace Minkowskiego ułatwiły przejście od STW do OTW.



- Podał (1916) pierwsze dokładne zewnętrzne rozwiązanie równań Einsteina w przypadku statycznego 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.



- Opisał (1916) efekt geodezyjny, czyli wkład do precesji **orbitalnego** momentu pędu swobodnie orbitującej cząstki **niezależny** od prędkości kątowej wirującego ciała źródłowego. Efekt ten nazywany jest też precesją de Sittera, precesją geodezyjną, efektem geodetycznym oraz efektem de Sittera.
- Znalazł 31 marca 1917 rozwiązanie równań pola z członem kosmologicznym opisujące Wszechświat bez materii traktowany jako czasoprzestrzeń o stałej krzywiznie.

1916, 1917

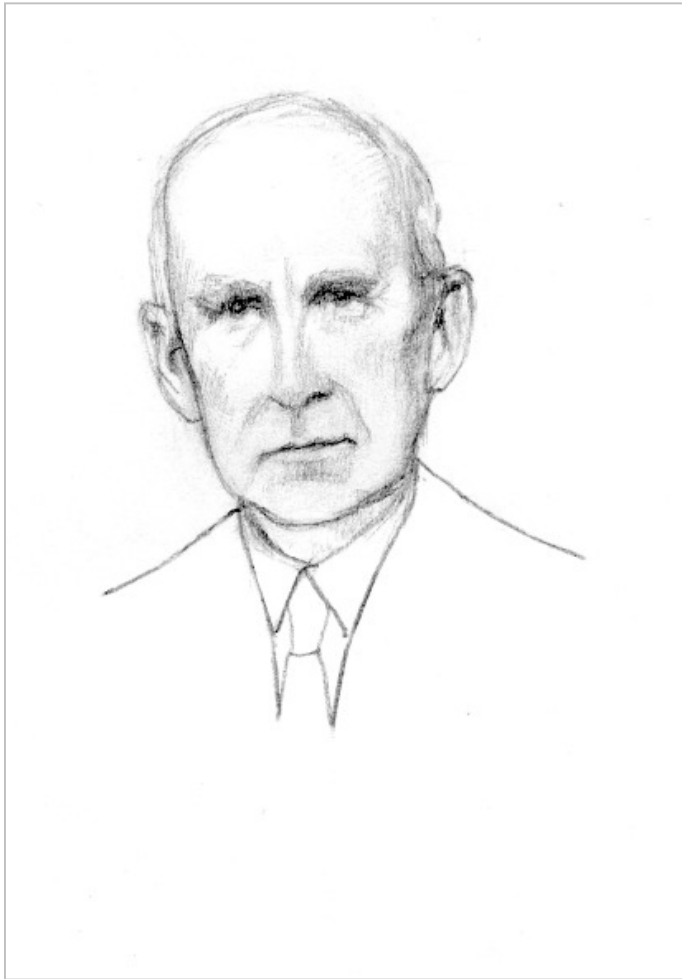
- Joseph Lense i Hans Thirring opisali (1918) wkład do precesji wektora **orbitalnego** momentu pędu swobodnie orbitującej cząstki **zależny** od prędkości kątowej wirującego ciała źródłowego (efekt Lensego-Thirringa, precesja Lensego-Thirringa, precesja żyroskopowa, wleczenie układów inercjalnych).

- Joseph Lense i Hans Thirring opisali (1918) wkład do precesji wektora **orbitalnego** momentu pędu swobodnie orbitującej cząstki **zależny** od prędkości kątowej wirującego ciała źródłowego (efekt Lensego-Thirringa, precesja Lensego-Thirringa, precesja żyroskopowa, wleczenie układów inercjalnych).



- Znalazł (1918) statyczne rozwiązanie równań pola posiadającego symetrię osiową.
- Zajmował się (1937, 1950) relatywistycznym problemem wielu ciał.

1918, 1937, 1950



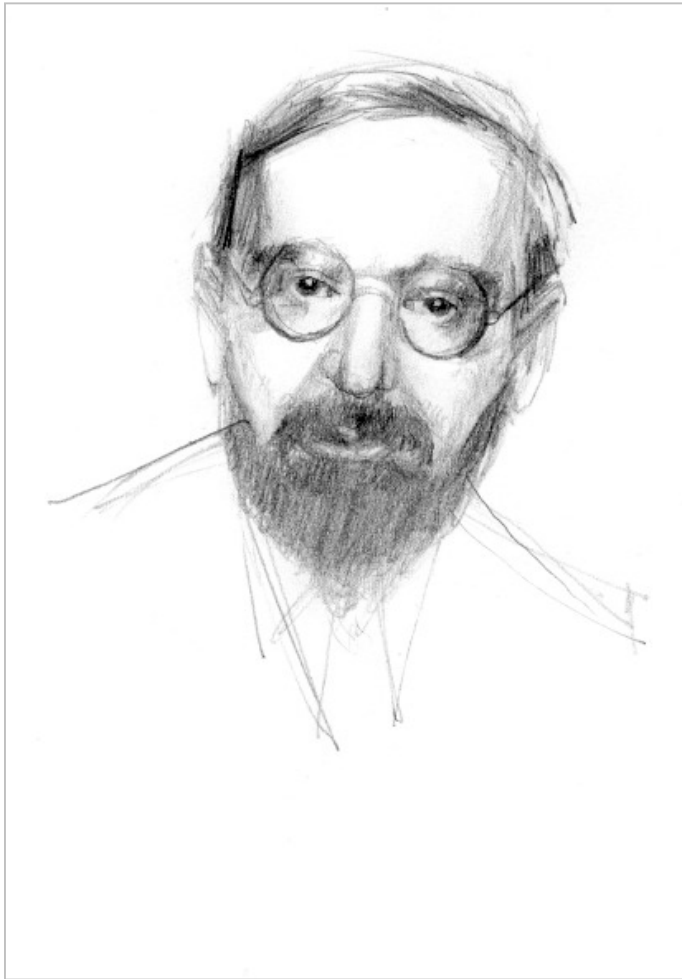
- Przeprowadzone 29 maja 1919 pod jego kierunkiem obserwacje zaćmienia Słońca potwierdziły przewidziane przez OTW odchylenie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym.
- Udowodnił (1930), że kosmologiczne rozwiązanie Einsteina jest niestabilne.

1919, 1930

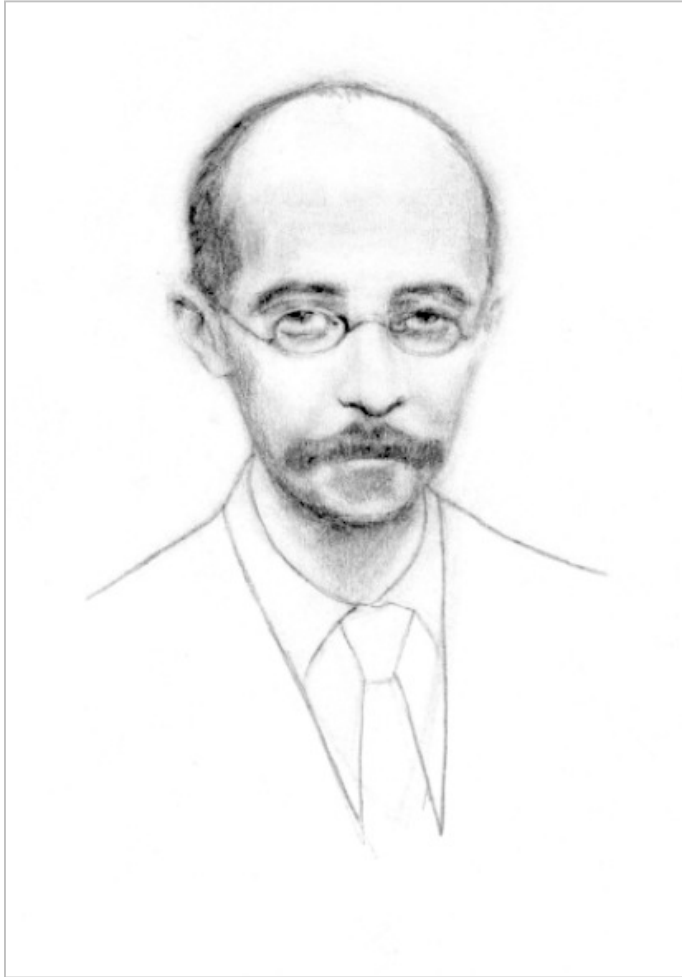


- Wykazał (1917), że znikanie dywergencji wynika z zasady wariacyjnej.
- Podał (1917) rozwiązanie próżniowych równań pola statycznego o symetrii osiowej.
- Zdefiniował (1918) bardzo przydatny w OTW nowy kowariantny tensor czwartego rzędu nazywany tensorem krzywizny konforemnej lub tensorem Weyla.

1917, 1918



- 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.



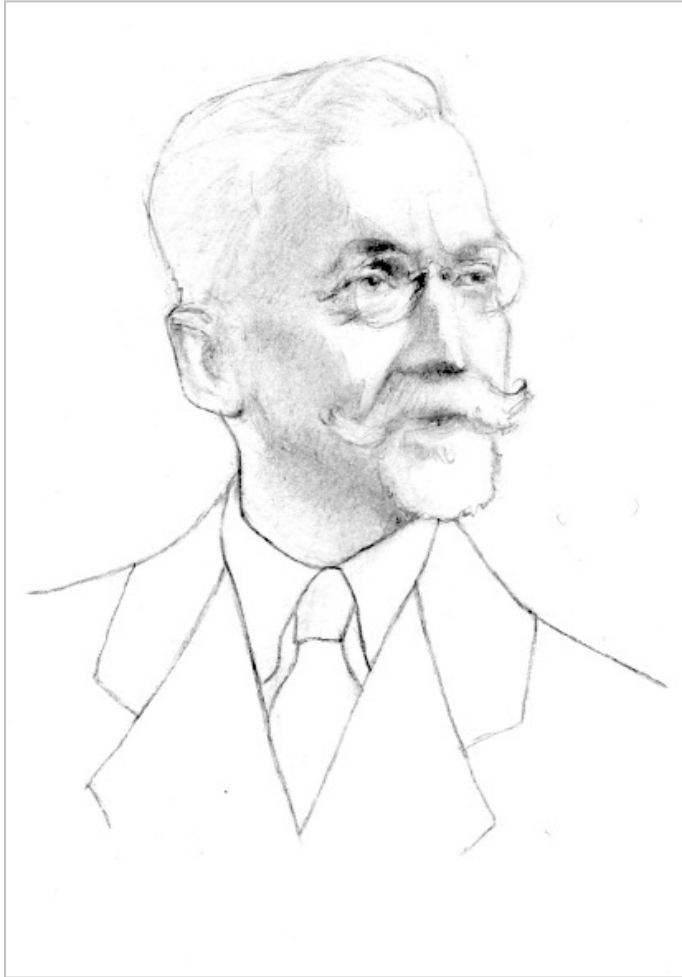
- Znalazł (1922 oraz 1924) niestacjonarne rozwiązanie równań pola Einsteina dla jednorodnego rozkładu masy opisujące rozszerzający się Wszechświat o zmiennej w czasie krzywiznie przestrzennej.
- W 1929 roku jego teoria została potwierdzona odkryciem przez Hubble'a ucieczki galaktyk.

1922, 1924



- 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.

1925, 1927

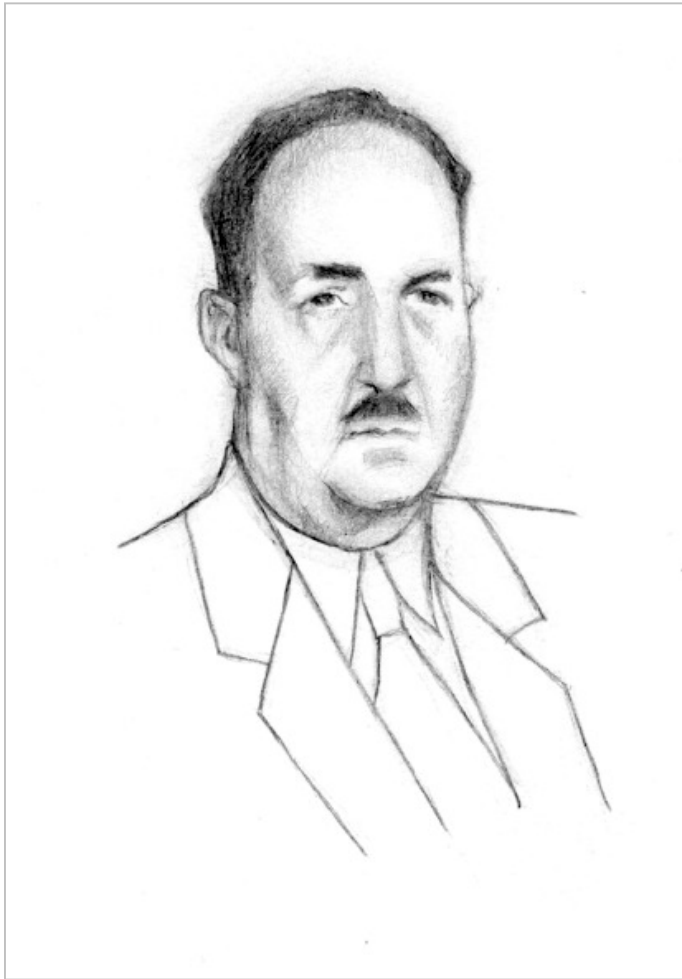


- Wprowadził (1922) tensor skręcenia.
- Zaproponował (1923-1925) modyfikację OTW zwaną teorią Einsteina-Cartana.

1922, 1923-1925



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



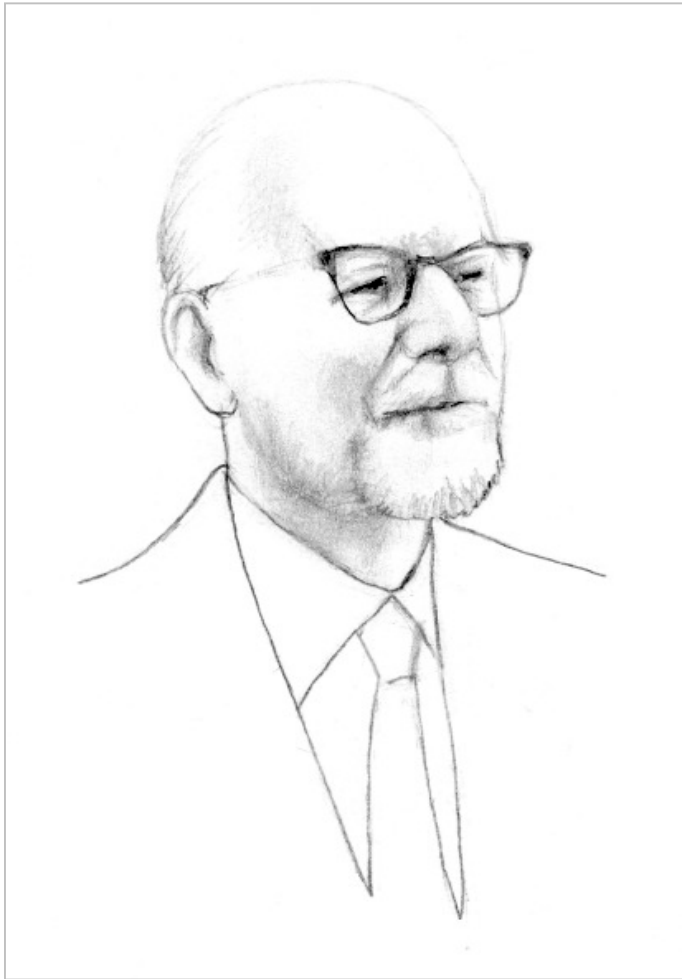
- Wykazał (1928) niezależnie od Lemaître, że w modelu de Sittera przestrzeń ulega ekspansji.
- Zapisał (1929) oba kosmologiczne rozwiązania Friedmana w postaci jednego wyrażenia.
- Dokonał (1933) twórczego przeglądu osiągnięć kosmologii relatywistycznej w latach 1917-1932.

1928, 1929, 1933



- Rozwinął (1928) relatywistyczną termodynamikę.
- Richard C. Tolman i Morgan Ward zbadali (1932) oscylacyjny model Wszechświata, w którym zachodzą procesy nieodwracalne.
- Podał (1939) trzy nowe statyczne rozwiązania równań pola Einsteina dla kuli z cieczy.

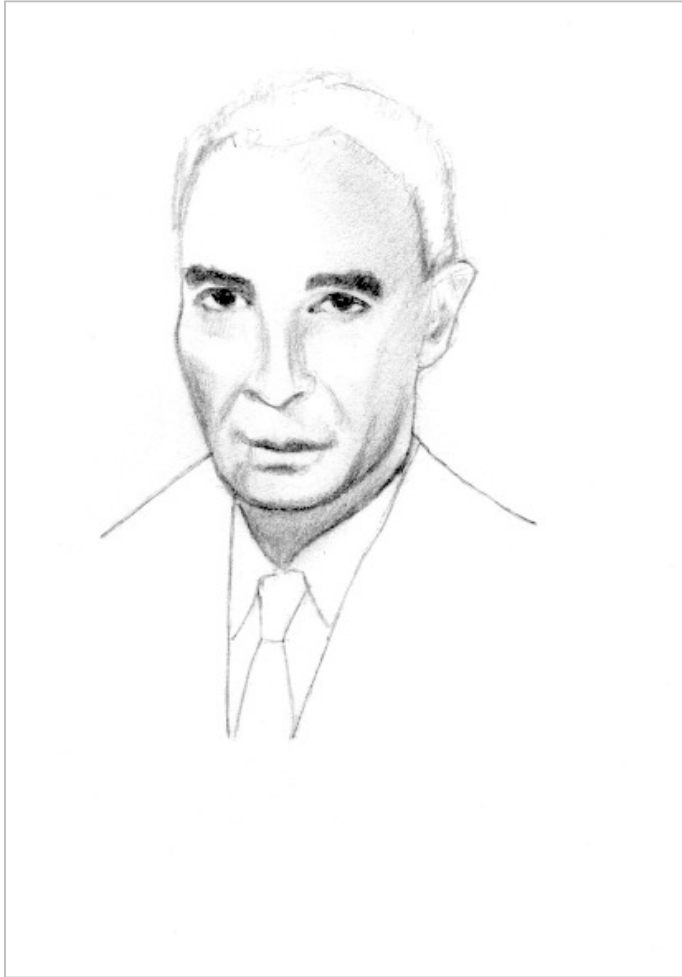
1928, 1932, 1939



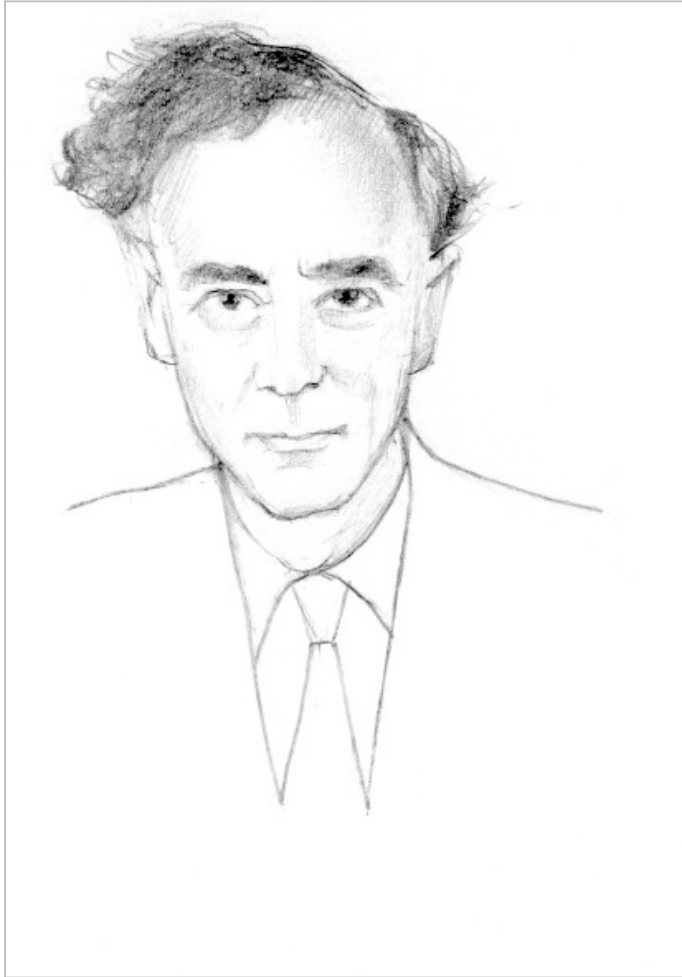
- Jest współautorem wspaniałego podręcznika o rachunku tensorowym.
- Opracował (1937) mechanikę relatywistyczną ośrodków ciągłych (relatywistyczną hydrodynamikę).



- 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).
- Jest autorem wielu prac o problemie ruchu w OTW.
- Badał promieniowanie grawitacyjne i strukturę jego źródeł.



- 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.



- Landau i Lifszic wyprowadzili (1948) tzw. wzór kwadrupolowy na moc energii wysyłanej w postaci fal grawitacyjnych przez poruszające się ciała [będące emiterami].



- Landau i Lifszyc wyprowadzili (1948) tzw. wzór kwadrupolowy na moc energii wysyłanej w postaci fal grawitacyjnych przez poruszające się ciała [będące emiterami].



- 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.

1949, 1952



- 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 Liego (grup ruchów, grup przekształceń konforemnych oraz grup przekształceń rzutowych).

- Projekt i budowa pierwszego detektora promieniowania grawitacyjnego – Weber, 1960
- Pomiar w warunkach laboratoryjnych przesunięcia linii widmowych spowodowanego polem grawitacyjnym Ziemi – Pound i Rebka, 1960
- Podanie rozwiązania próżniowych równań pola Einsteina dla przypadku wirującego źródła (metryka Kerr) – Kerr, 1963
- Odkrycie mikrofalowego promieniowania tła – Penzias i Wilson, 1965
- Wykazanie, że czas przelotu sygnału radarowego na trasie Ziemia-Wenus (Merkury)-Ziemia w pobliżu Słońca jest dłuższy niż czas przelotu z dala od Słońca – Shapiro, 1968

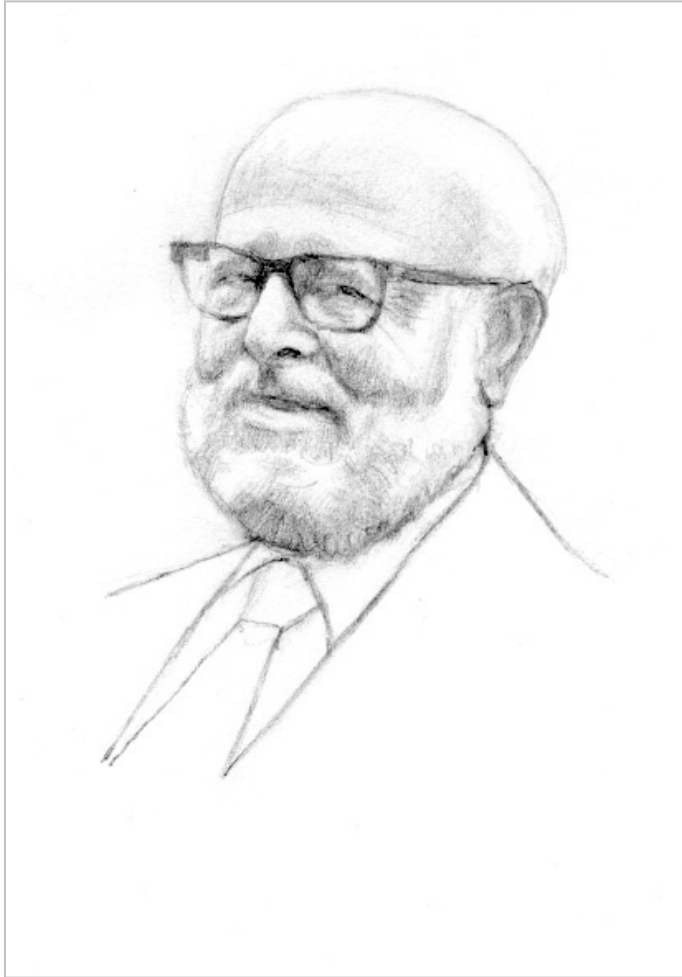
- Eksperyment potwierdzający istnienie relatywistycznej i grawitacyjnej dylatacji czasu – Hafele i Keating, 1971
- Porównanie częstotliwości mikrofalowych sygnałów generowanych przez wodorowy maser umieszczony w rakiecie wystrzelonej na wysokość 10000 km z częstotliwością masera pozostawionego na powierzchni Ziemi – Vessot i Levine, 1976
- Wykazanie, że podwójny pulsar emituje fale grawitacyjne – Taylor, 1979
- Odkrycie kwazara będącego soczewką grawitacyjną – Walsh, Carswell i Weymann, 1979
- Propozycja modelu bardzo wczesnego Wszechświata nazwanego Wszechświatem Inflacyjnym – Guth, 1981

- Pomiar kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła przez satelitę COBE – Smoot, Mather i Hauser, 1989
- Odkrycie gwałtownego wzrostu poczerwienienia światła docierającego do Ziemi z bardzo odległych źródeł – Saul Perlmutter oraz **niezależnie** Brian P. Schmidt i Adam G. Riess, 1998
- Pomiar odchylenia fal radiowych i zmiany ich częstotliwości przez Słońce na trasie Ziemia-Cassini-Ziemia – Bertotti, Iess i Tortora, 2003
- Potwierdzenie z dużą dokładnością przez satelitę Gravity Probe B istnienia precesji Schiffa, czyli złożenia precesji de Sittera i precesji Lense-Thirringa – Everitt, 2004
- Zarejestrowanie przez detektory LIGO fal grawitacyjnych, 2015



- Otrzymał (1956) z równań pola Einsteina równania ruchu dla rotujących ciał z uwzględnieniem ich wewnętrznej struktury.

1956



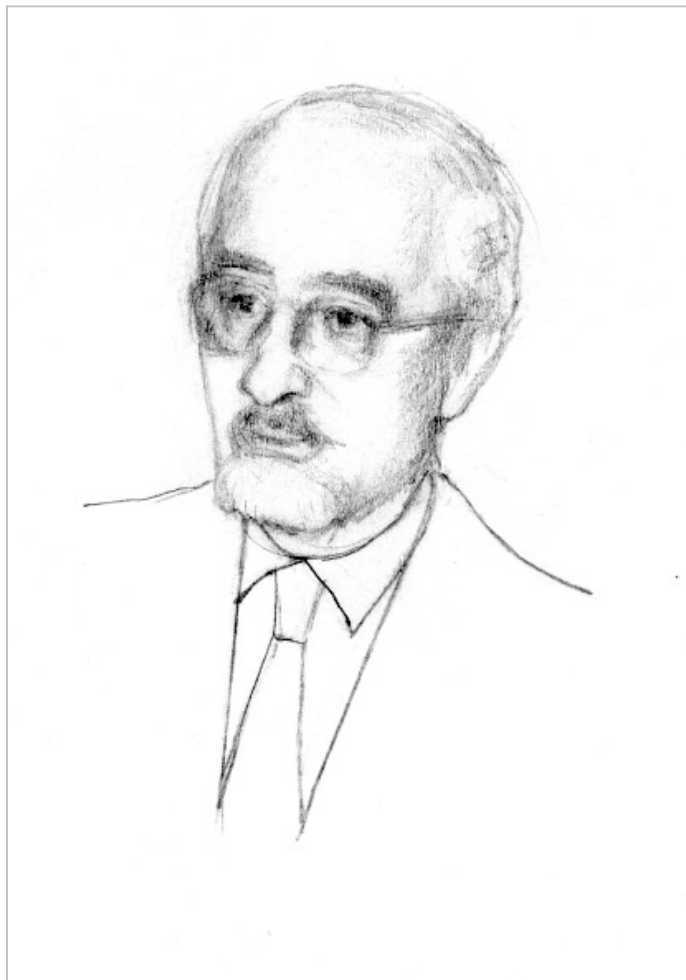
- Jest jednym z twórców astrofizyki jądrowej oraz współautorem teorii syntezy pierwiastków w gwiazdach opublikowanej w 1957.



- Powtórzył (1958) ze współpracownikami doświadczenie Michelsona-Morley'a, zwiększając dokładność pomiarów dzięki wykorzystaniu masera amoniakalnego.



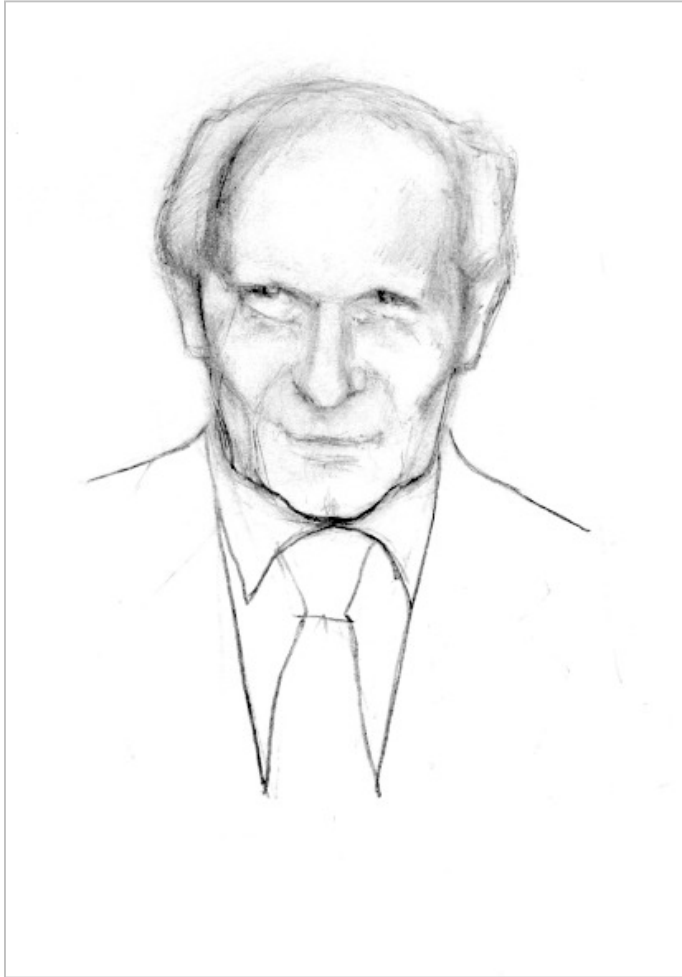
- David Joseph Bohm i Jean-Pierre Vigier opracowali (1958) relatywistyczną hydrodynamikę wirujących cieczy.



- Wprowadził (1958) nowy pseudotensor energii-pędu w teorii grawitacji (pseudotensor energii-pędu Møllera).
- Zmodyfikował (1962, 1978) Ogólną Teorię Względności, konstruuując nową teorię pola w przestrzeni Weintzenböcka (tetradowa teoria grawitacji Møllera).

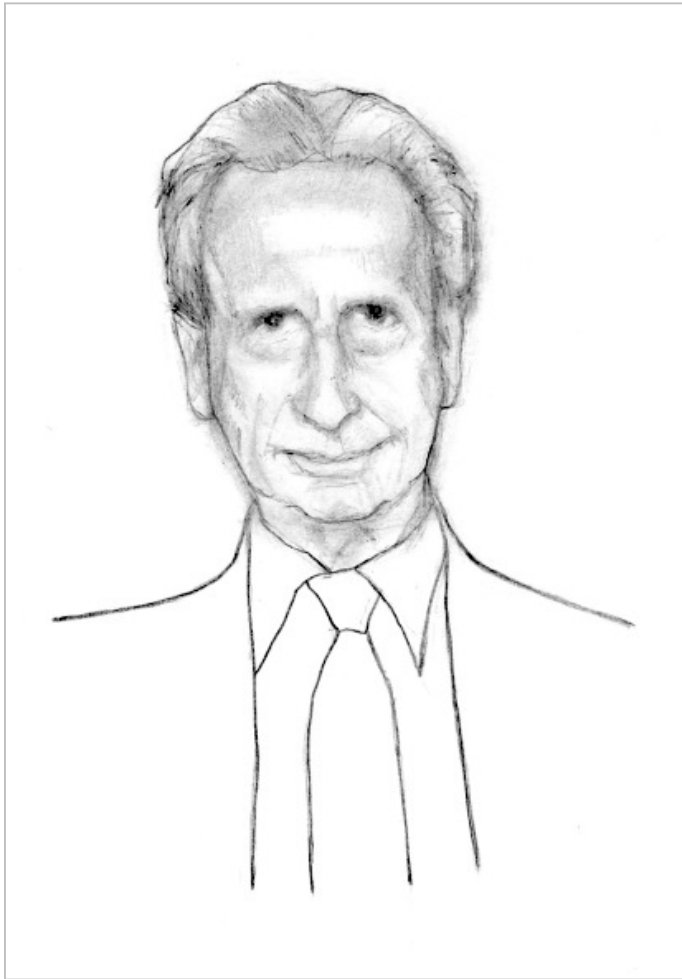
1958, 1962, 1978

- Opisał (1960) złożenie precesji de Sittera i precesji Lensego-Thirringa wektora **spinowego** momentu pędu swobodnie orbitującego żyroskopu w polu grawitacyjnym wirującego ciała źródłowego. Zjawisko to nazywane jest precesją (efektem) Schiffa.



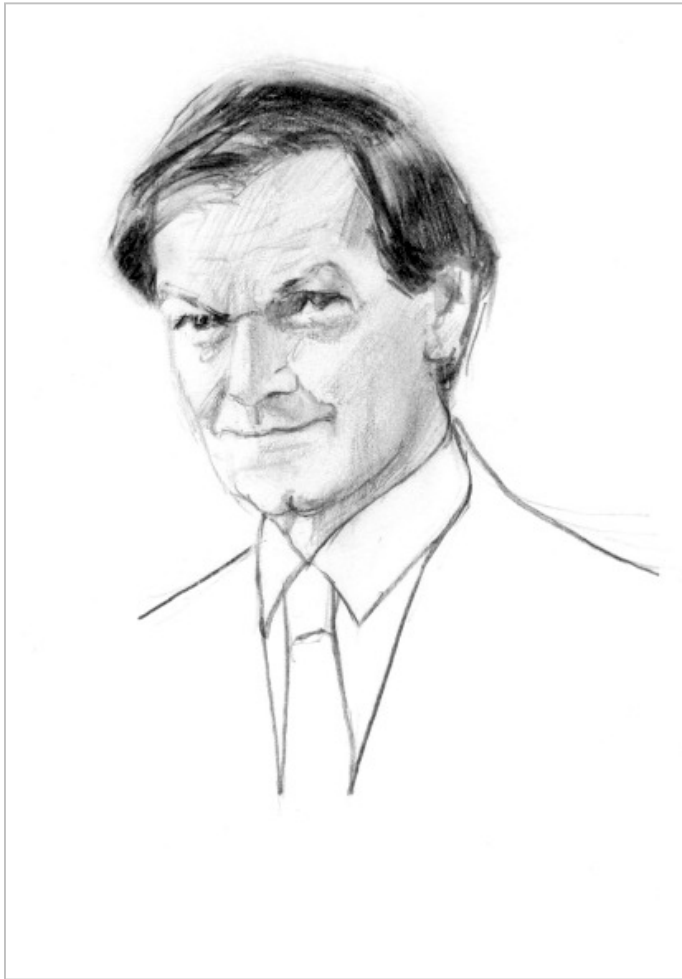
- Zaproponował (1960) [niezależnie od M. D. Kruskala] układ współrzędnych pozwalający pozbyć się pozornych osobliwości związanych z metryką Schwarzschilda.

1960



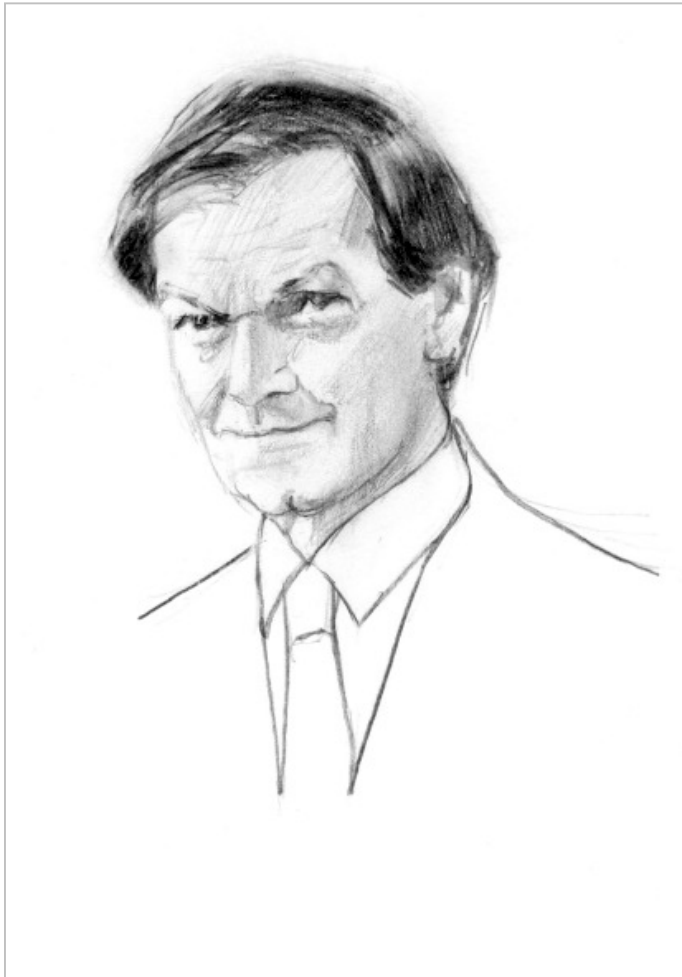
- Niezależnie od J. Szekeresa skonstruował (1960) układ współrzędnych świetnie współgrający z metryką Schwarzschilda.

1960

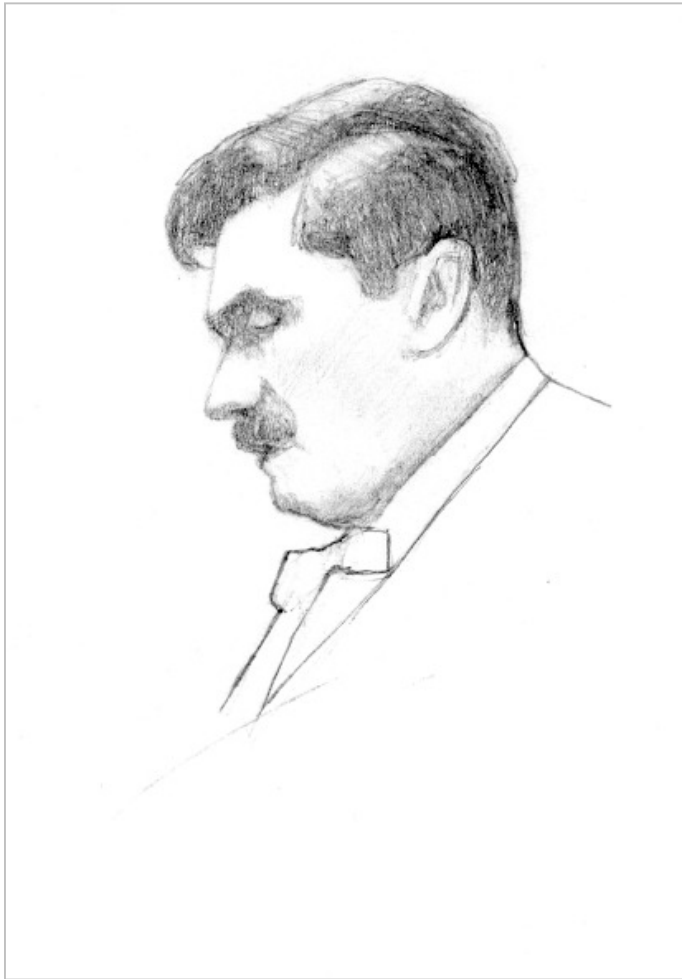


- Sformułował (1960) spinorowe podejście do OTW.
- Zaproponował badanie globalnych własności czasoprzestrzeni.
- Badał fale grawitacyjne.
- Analizował własności związków przyczynowych między punktami czasoprzestrzeni.
- S. W. Hawking i R. Penrose przedstawili (1970) hipotezę, że Wszechświat powstał z osobliwości.

1960, 1970



- Opisał (1971) mechanizm umożliwiający pozyskiwanie energii rotacyjnej z czarnej dziury Kerr'a.
- 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.

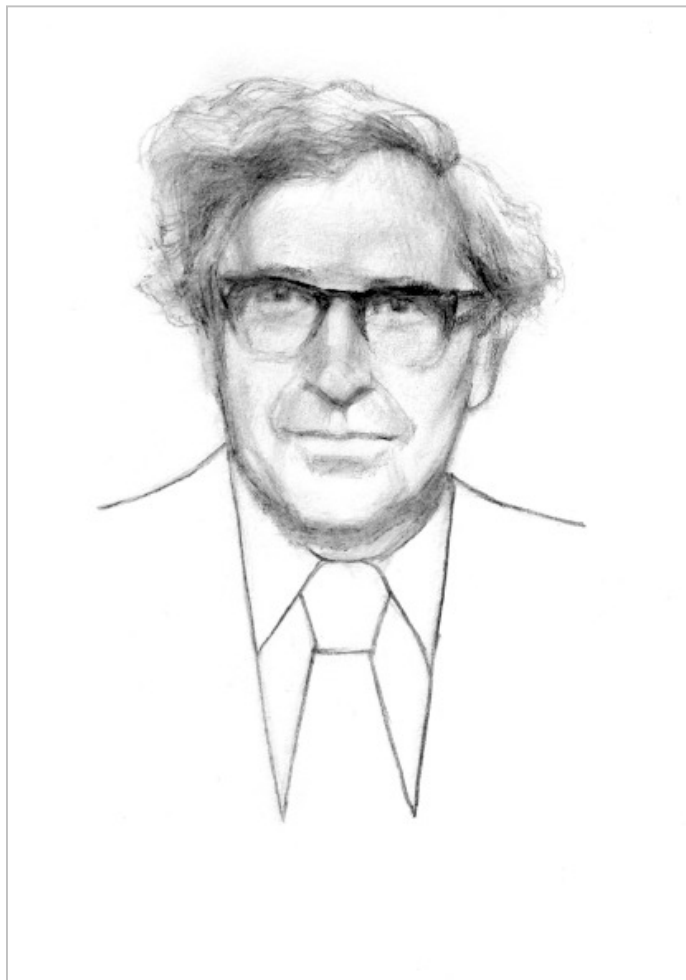


- R. V. Pound i G. A. Rebka zmierzili (1960) w warunkach laboratoryjnych przesunięcie linii widmowych spowodowane polem grawitacyjnym Ziemi, wykorzystując efekt Mössbauera.



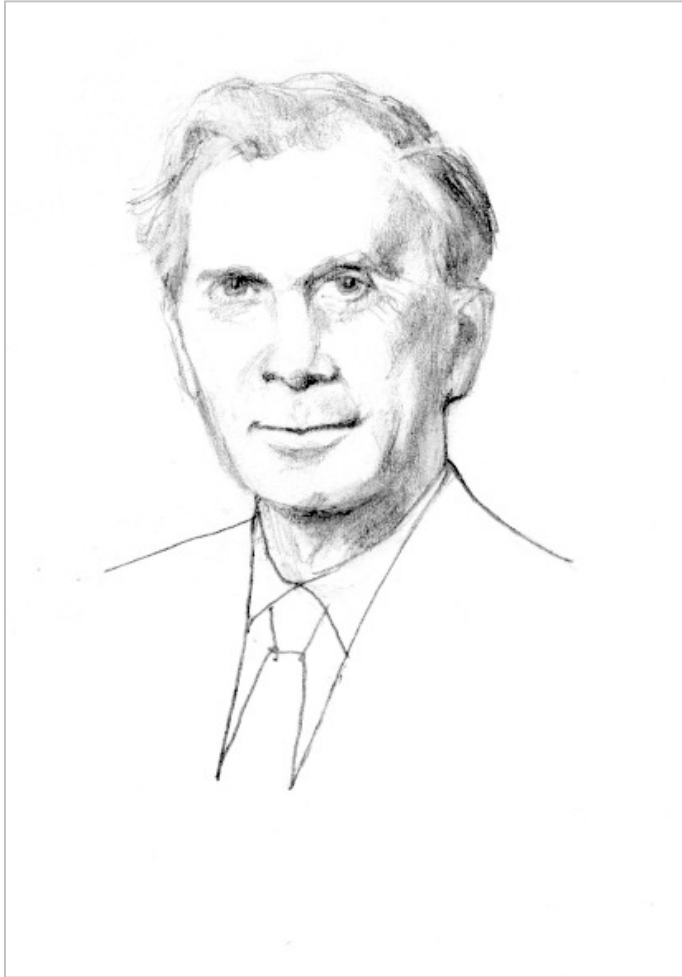
- Zaprojektował i zbudował (1960) pierwszy detektor promieniowania grawitacyjnego.

1960

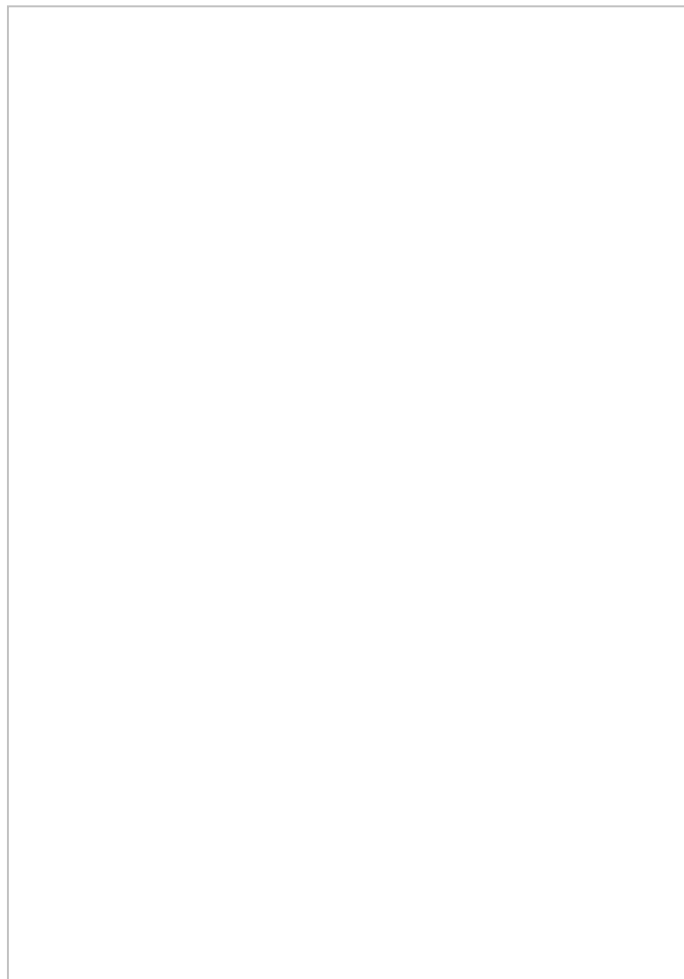


- M. Ryle i A. Hewish opracowali (1960) metodę syntezy apertury, dzięki czemu można zastąpić obserwacje dużym radioteleskopem wieloma małymi.
- Jego doktorantka Jocelyn Bell odkryła (1967) pulsara.

1960, 1967



- Martin Ryle i R. W. Clarke dokonali (1961) obserwacji rozmieszczenia radioźródeł, które nie potwierdzały przewidywań Teorii Stanu Stacjonarnego.



- Sformułował (1961) hipotezę o możliwości wpływu rotacji Wszechświata na jego ekspansję.



- Opracował (1961) wspólnie z Carlem Branssem skalarno-tensorową teorię grawitacji zakładającą, że „stała” grawitacyjna zmniejsza się z szybkością jednej części na 10^{11} w ciągu roku (teoria Bransa-Dicke).
- Eksperymentalnie potwierdził (1964) równowagę masy grawitacyjnej i inercyjnej z dokładnością do 10^{-11} .

1961, 1964

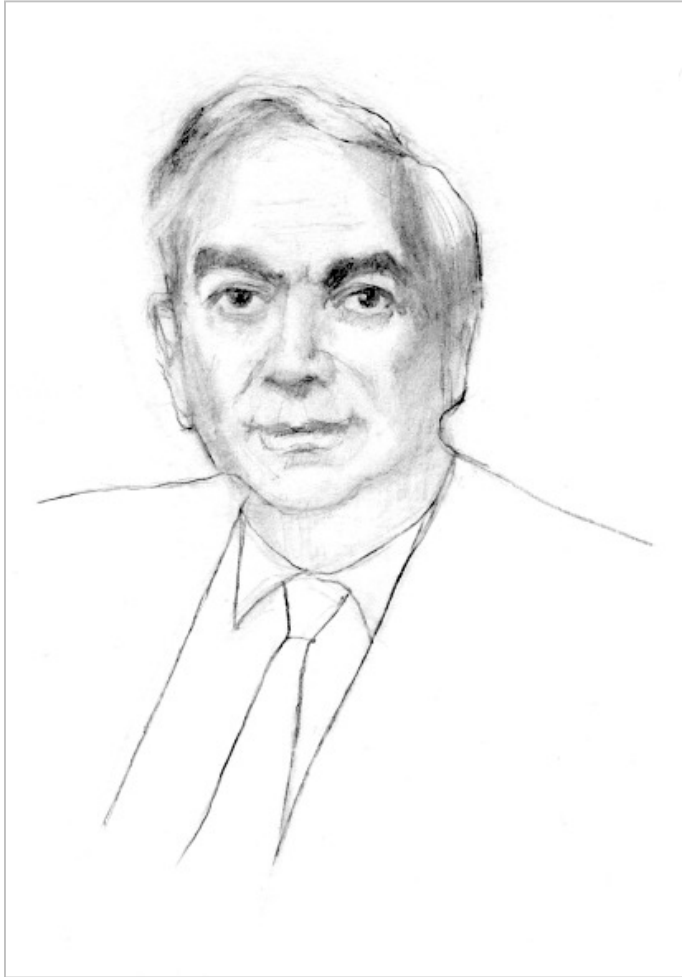


- Dicke i współpracownicy wysunęli hipotezę (1965), że Wszechświat jest wypełniony mikrofalowym promieniowaniem tła (promieniowaniem reliktowym) odpowiadającym temperaturze kilku stopni Kelvina, będącym pozostałością po Wielkim Wybuchu.
- Stanowiło to wyjaśnienie odkrycia dokonanego w 1965 przez A. A.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



- Przeprowadził (1976) wraz z zespołem nowy test zasady równoważności bazujący na laserowym pomiarze odległości Ziemia-Księżyc.
- Robert Henry Dicke i Phillip James Edwin Peebles sformułowali w 1979 tzw. „problem płaskości”. Tuż po Wielkim Wybuchu gęstość materii we Wszechświecie powinna być zbliżona do krytycznej, czyli takiej przy której staje się on przestrzennie płaski, a szybkość ekspansji ulega spowolnieniu. W przeciwnym przypadku dawno temu nastąpiłby już Wielki Kolaps lub stan prawie próżni.

1976, 1979

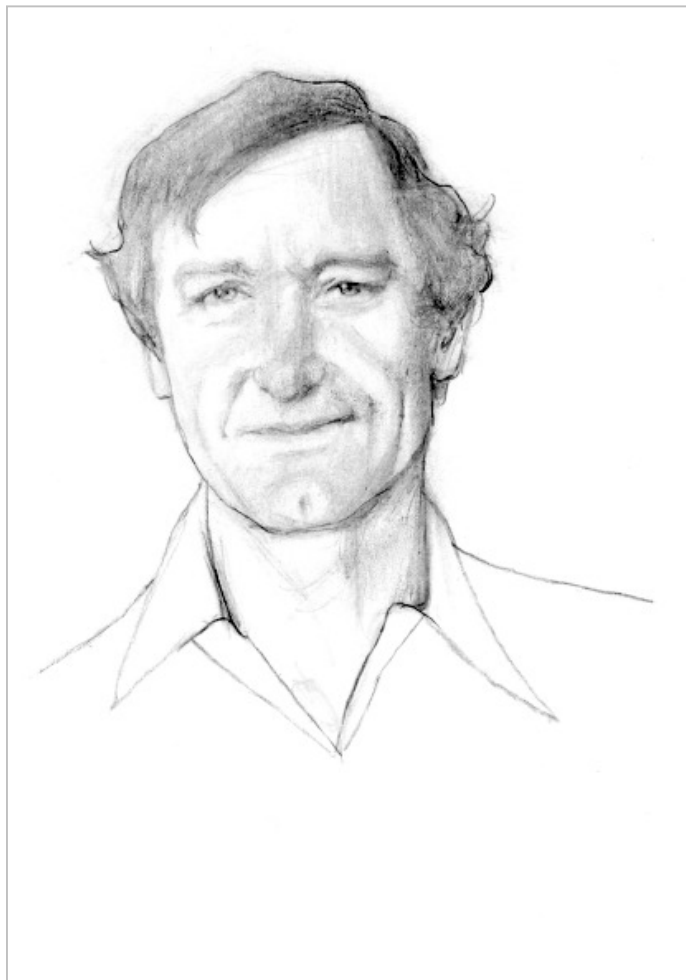


- Rozwinął (1962) teorię czasoprzestrzeni ze skręceniem (teoria Einsteina-Cartana-Sciama-Kibble'a).



- Badał (1962, 1977) grawitacyjne fale uderzeniowe.
- Rozwinął (1967) tetradową teorię grawitacji.

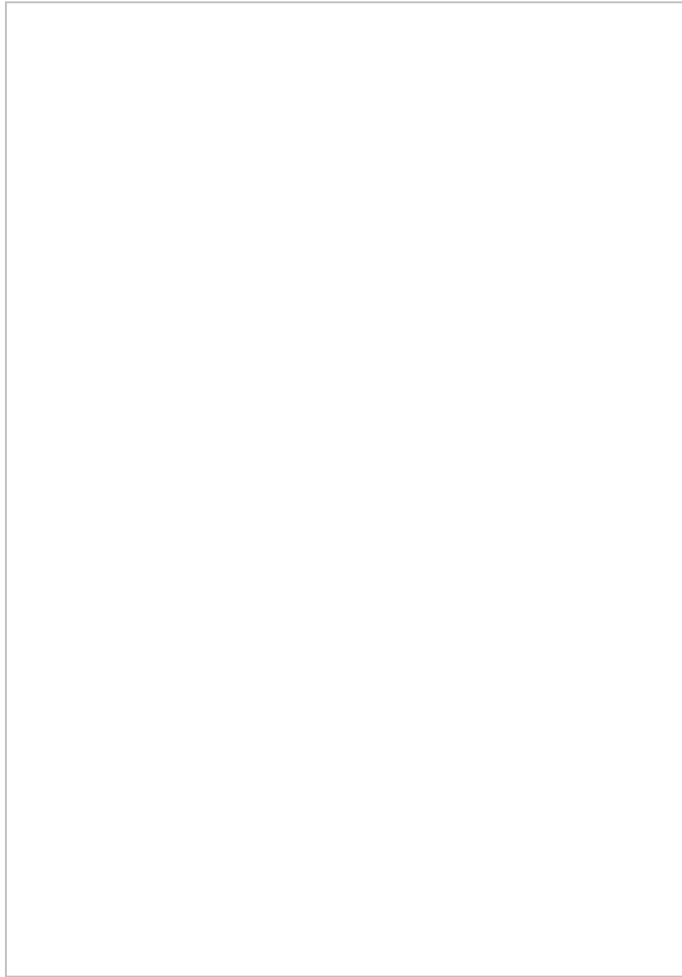
1962, 1967, 1977



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



- 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 gwiazdę będącą elipsoidą obrotową (z wyjątkiem kuli) wirującą wokół jednej ze swych osi, dwie gwiazdy o jednakowych masach, orbitujące jedna wokół drugiej oraz gwiazdę kolapsującą anizotropowo.

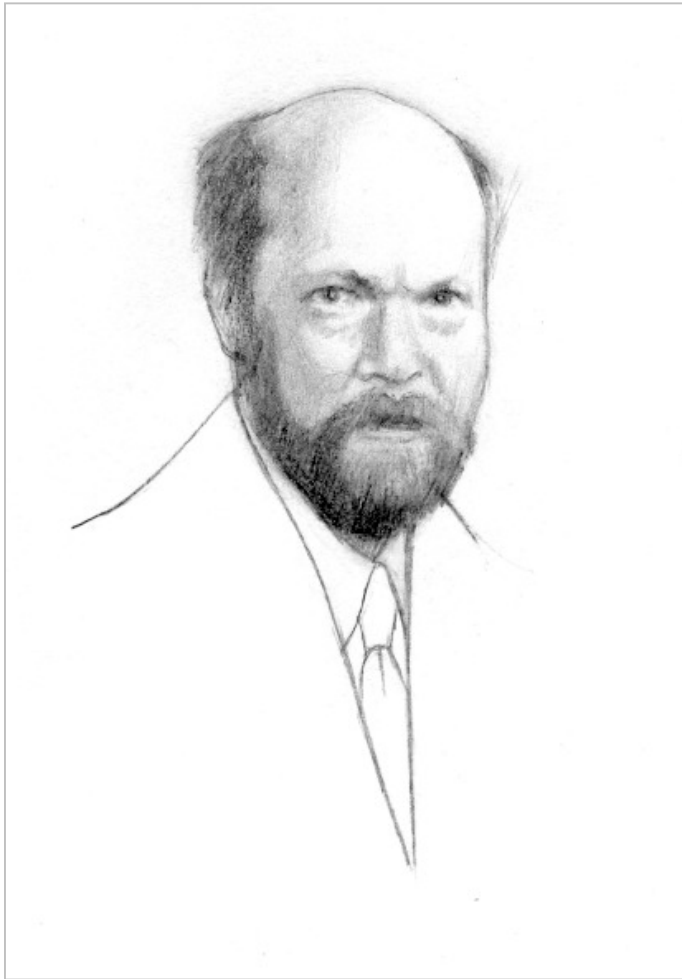


- Przewidział (1964) i wykazał (1968), że czas przelotu sygnału radarowego na trasie Ziemia-Wenus (Merkury)-Ziemia w pobliżu Słońca jest dłuższy niż czas przelotu z dala od Słońca.

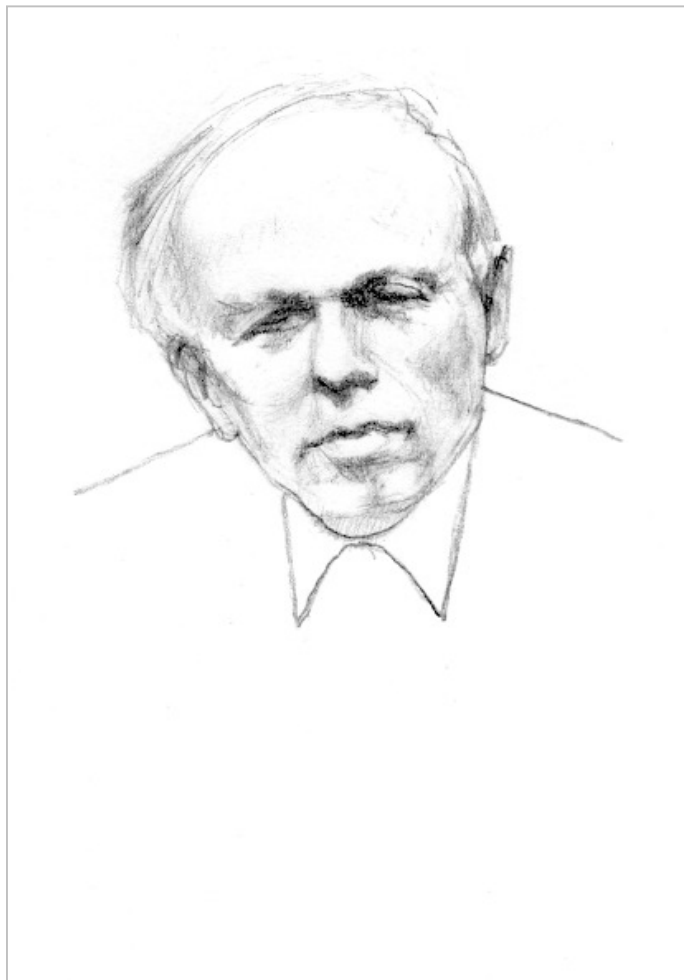
1964, 1968



- 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.
- Odkrycie to potwierdziło hipotezę o istnieniu promieniowania szczątkowego jako pozostałości po Wielkim Wybuchu.

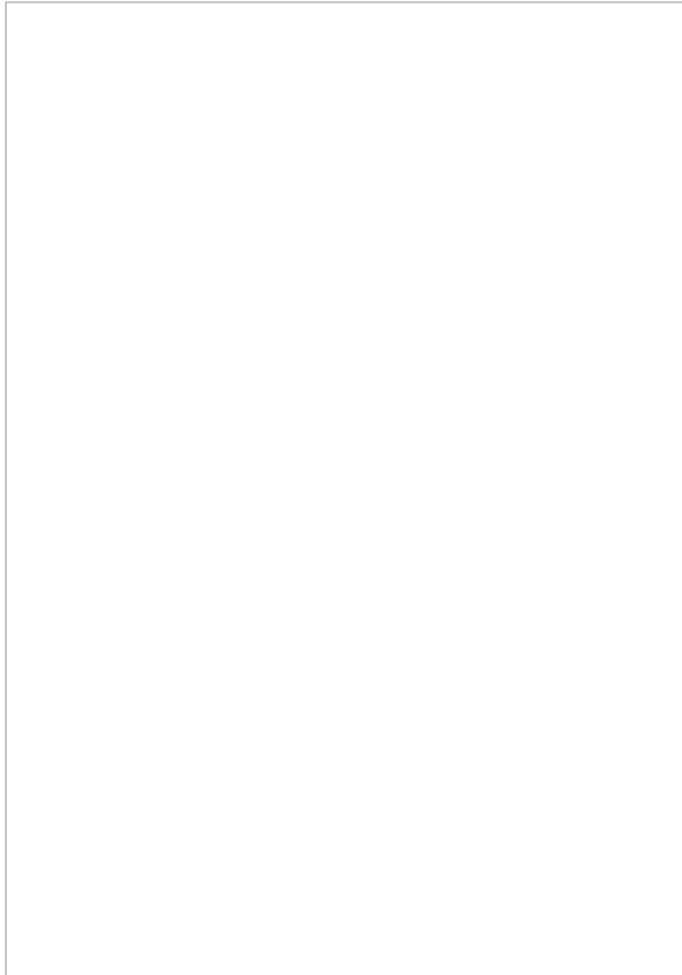


- A. A. Penzias i R. W. Wilson odkryli (1965) mikrofalowe izotropowe promieniowanie tła odpowiadające temperaturze 3,5 stopni Kelvina. Promieniowanie tła zwane jest również promieniowaniem reliktowym lub szczątkowym.
- Odkrycie to potwierdziło hipotezę o istnieniu promieniowania szczątkowego jako pozostałości po Wielkim Wybuchu.



- Postulował (1967), że podczas Wielkiego Wybuchu wystąpiła nadwyżka materii nad antymaterią. Ta tzw. asymetria barionowa umożliwiła powstanie Wszechświata. W przypadku braku asymetrii barionowej materia i antymateria uległyby anihilacji.
- Pierwszy zasugerował, że we Wszechświecie może istnieć wielka ilość materii w postaci słabo oddziałujących masywnych cząstek [weakly interacting massive particles] WIMP. Materia ta nazywana jest także zimną ciemną materią [cold dark matter] CDM.

1967

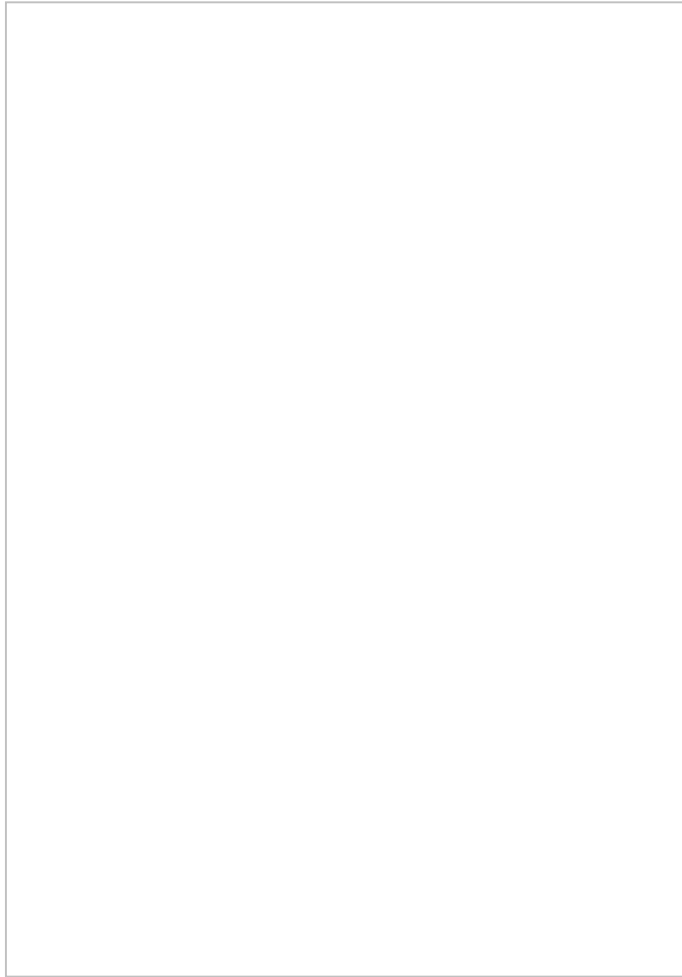


- Odkryła (1967) pulsara.

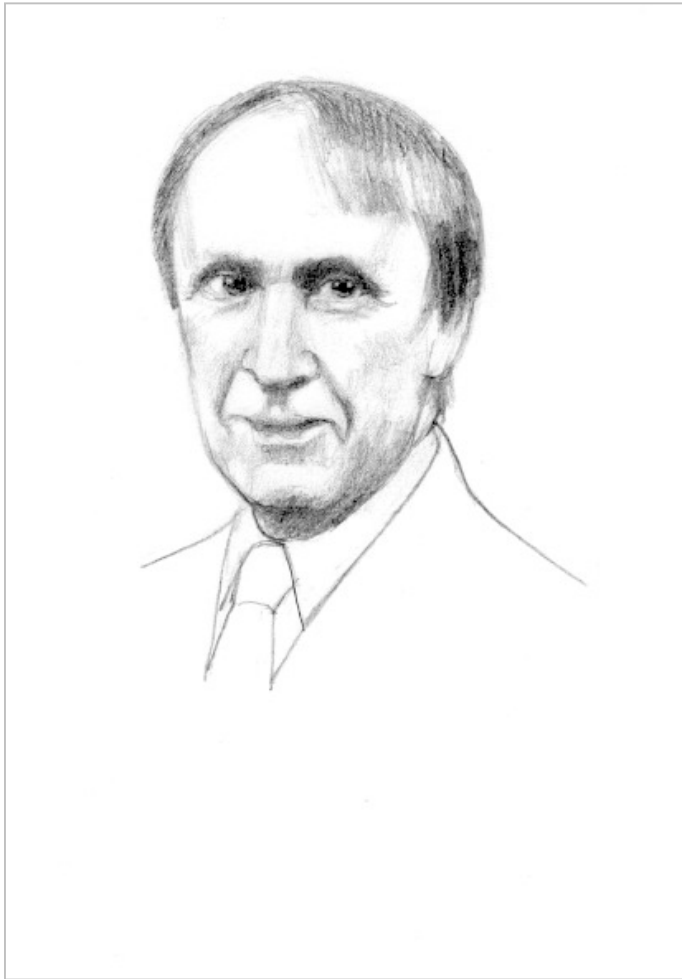


- Zaproponował nazwę czarna dziura (1967 – wykład, 1968 – artykuł) oraz frazę czarne dziury nie mają włosów (black holes have no hair).

1967, 1968



- Pierwszy sugerował (1968), że pulsary są wirującymi gwiazdami neutronowymi.



- 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?

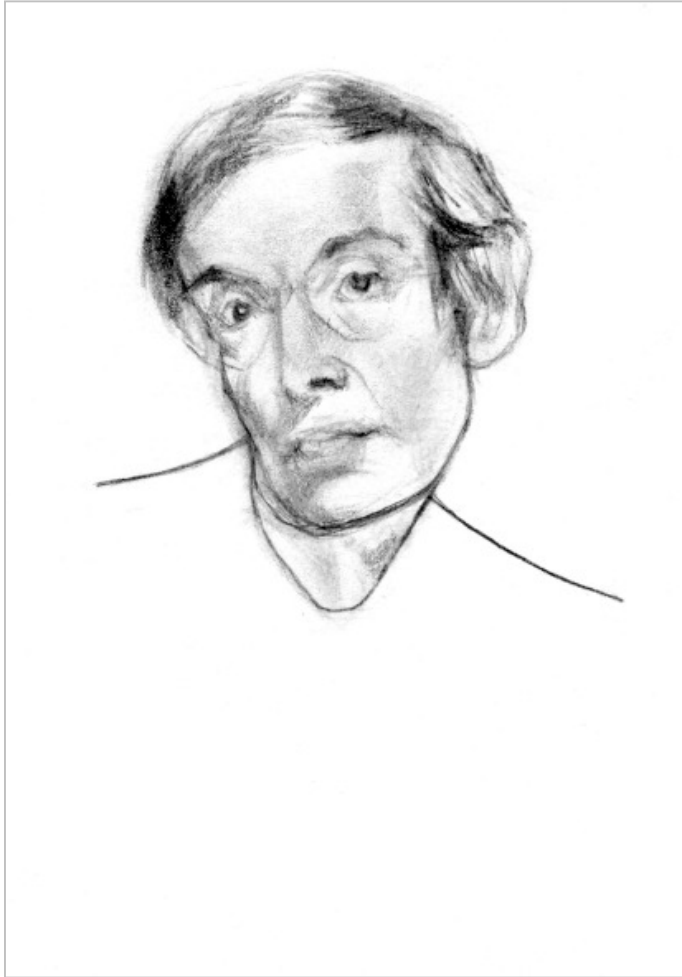


- Martin John Rees i Dennis William Sciama przewidzieli (1969), że fluktuacje mikrofalowego promieniowania tła zostały spowodowane nierównomiernym rozkładem materii we Wszechświecie.



- Rozwinął (1970) teorię spinorów, wprowadzonych po raz pierwszy przez Cartana.

1970



- S. W. Hawking i R. Penrose przedstawili (1970) hipotezę, że Wszechświat powstał z osobliwości.
- Sformułował (1976) drugą zasadę termodynamiki dla czarnych dziur.
- Wprowadził (1983) pojęcie funkcji falowej Wszechświata.

1970, 1976, 1983

- Joseph C. Hafele i Richard E. Keating w październiku 1971 przeprowadzili eksperyment potwierdzający istnienie relatywistycznej i grawitacyjnej dylatacji czasu.
- Okrążyli dwukrotnie w kierunkach wschodnim i zachodnim Ziemię rejsowym samolotem, na pokładzie którego umieścili cztery cezowe zegary atomowe. Następnie porównali wskazania podróżujących zegarów ze wskazaniami zegarów pozostawionych na Ziemi.

- Przelot w kierunku wschodnim na trasie Waszyngton – Londyn – Frankfurt – Sztambuł – 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.



- Doświadczalnie potwierdził (1971) równość masy grawitacyjnej i inercyjnej z dokładnością do 10^{-12} .



- W 1974 Russell Hulse (będąc studentem Taylora) odkrył podwójnego pulsara, za co obaj otrzymali Nagrodę Nobla z fizyki w 1993.

1974

- Sformułował (1974) zasadę antropiczną (anthropic principle): „Wszechświat powinien mieć takie własności by mogło w nim powstać, trwać i rozwijać się życie” lub innymi słowami „prawa fizyki powinny być takie, by umożliwiły powstanie, trwanie i rozwijanie się życia.”

- Vessot i współpracownicy w czerwcu 1976 przeprowadzili test z maserem wodorowym potwierdzający z bardzo dużą dokładnością (0,007%) grawitacyjną dylatację czasu (grawitacyjne poczerwienienie). Test ten nazywany jest też doświadczeniem Vessota-Levine'a. (Martin W. Levine)
- Porównano częstotliwości mikrofalowych sygnałów generowanych przez wodorowy maser umieszczony w rakiecie wystrzelonej na wysokość 10000 km z częstotliwością masera pozostawionego na powierzchni Ziemi.



- Wykazał (1979), że podwójny pulsar (PSR B1913+16) 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.



- Zaproponował (1981) model bardzo wczesnego Wszechświata nazwanego przez niego Wszechświatem Inflacyjnym.



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

1982, 1983, 1986, 1994



- Opublikował, poczynając od 1997, wiele prac poświęconych testom szczególnej i ogólnej teorii względności.

-
- W 1976 NASA powołała trzy zespoły badawcze w celu dokonania pomiarów kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła przyrządami umieszczonymi na satelicie COBE (Cosmic Background Explorer).
 - Na czele tych zespołów stanęli Smoot, Mather i Hauser.

- W ramach projektu COBE Mather był odpowiedzialny za sporządzenie mapy przestrzennego rozkładu temperatury kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła.

- W ramach projektu COBE Smoot był odpowiedzialny za ustalenie czy widmo tego promieniowania jest krzywą charakterystyczną dla promieniowania ciała doskonale czarnego.

- W ramach projektu COBE Hauser był odpowiedzialny za detekcję promieniowania podczerwonego pochodzącego od wczesnych galaktyk.

- COBE został wystrzelony 18 listopada 1989. Wstępne wyniki pomiarów znane już były dwa miesiące później.
- Okazało się, że widmo kosmicznego promieniowania tła pokrywa się niemal idealnie z widmem ciała doskonale czarnego o temperaturze 2,735 K z błędem 0,06 K.
- Według innych danych z lat 1991/1992 pochodzących z COBE w naszej galaktyce występuje efekt kwadrupolowy, a w przestrzennym rozkładzie temperatury promieniowania tła istnieją znikome fluktuacje.

1989, 1991/1992

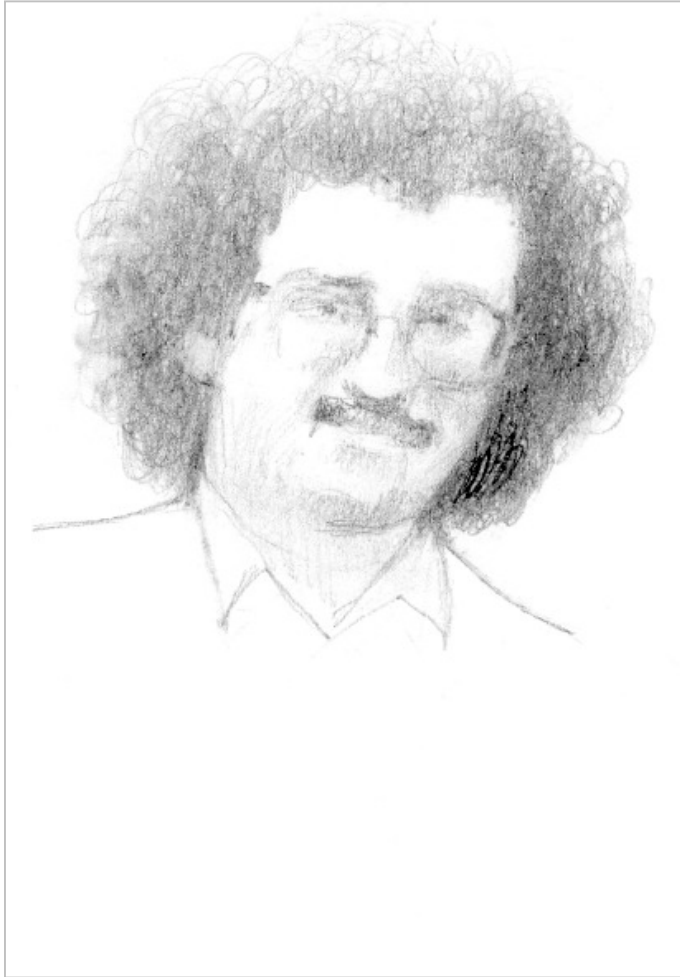
- Mather i Smoot otrzymali w 2006 Nagrodę Nobla z fizyki “za odkrycie, że kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła charakteryzuje się widmem ciała doskonale czarnego oraz anizotropią”.

- W 1998 Saul Perlmutter oraz **niezależnie** Brian P. Schmidt i Adam G. Riess odkryli gwałtowny wzrost poczerwienienia światła docierającego do Ziemi z bardzo odległych źródeł.
- Ponieważ uczeni ci są zwolennikami Teorii Wielkiego Wybuchu opartej o kosmologiczne rozwiązanie Friedmana, zinterpretowali swoje obserwacje jako gwałtowny wzrost szybkości ekspansji Wszechświata, który nastąpił około 5 mld lat temu.

- W 1998 Brian P. Schmidt i Adam G. Riess i Brian P. Schmidt oraz **niezależnie** Saul Perlmutter odkryli gwałtowny wzrost poczerwienienia światła docierającego do Ziemi z bardzo odległych źródeł.
- Ponieważ uczeni ci są zwolennikami Teorii Wielkiego Wybuchu opartej o kosmologiczne rozwiązanie Friedmana, zinterpretowali swoje obserwacje jako gwałtowny wzrost szybkości ekspansji Wszechświata, który nastąpił około 5 mld lat temu.

- W 1998 Adam G. Riess i Brian P. Schmidt oraz **niezależnie** Saul Perlmutter odkryli gwałtowny wzrost poczerwienienia światła docierającego do Ziemi z bardzo odległych źródeł.
- Ponieważ uczeni ci są zwolennikami Teorii Wielkiego Wybuchu opartej o kosmologiczne rozwiązanie Friedmana, zinterpretowali swoje obserwacje jako gwałtowny wzrost szybkości ekspansji Wszechświata, który nastąpił około 5 mld lat temu.

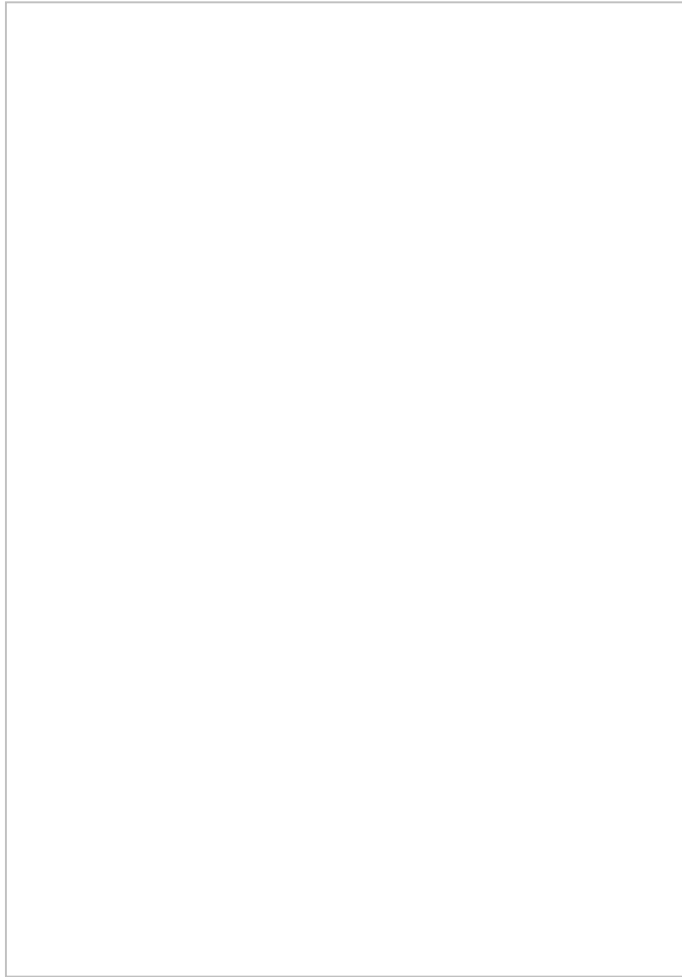
Perlmutter, Schmidt i Riess otrzymali w 2011 Nagrodę Nobla z fizyki “za odkrycie przyspieszającej ekspansji Wszechświata na podstawie obserwacji odległych supernowych”.



- Wspólnie z Emilem Mottolą podali (2001) warstwowy model czarnej dziury, otrzymał on nazwę grawastar.



- Kopeikin i Fomalont wykazali (2002), że wartość prędkości fal grawitacyjnych jest taka sama jak wartość prędkości światła w próżni.



- Kopeikin i Fomalont wykazali (2002), że wartość prędkości fal grawitacyjnych jest taka sama jak wartość prędkości światła w próżni.

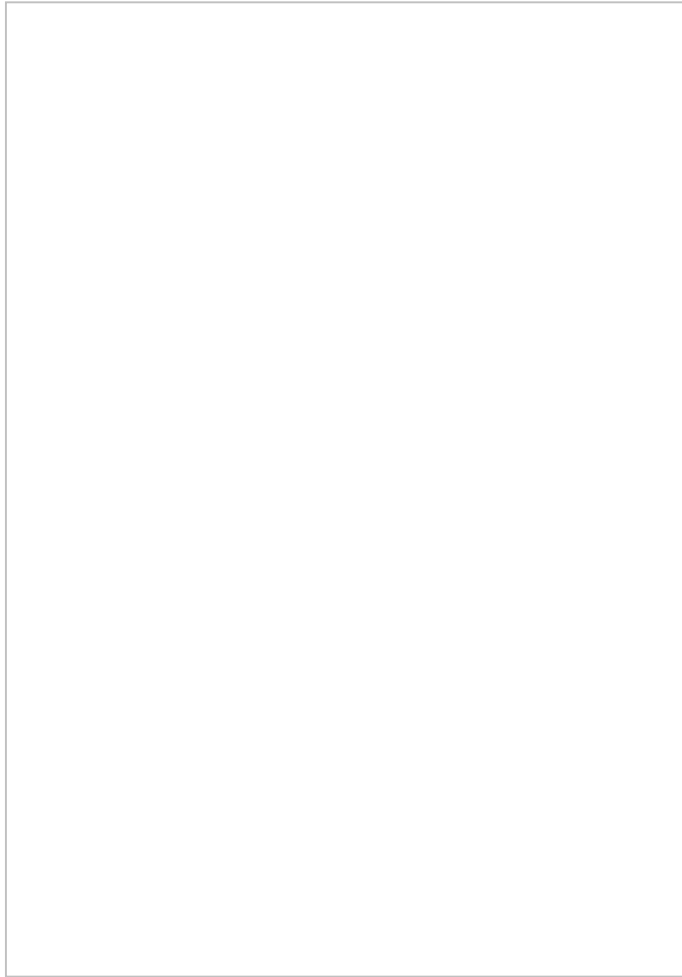
- B. Bertotti, L. Iess i P. Tortora przeprowadzili (2003) test OTW, w którym wykorzystali połączenie radiowe Ziemi ze statkiem kosmicznym **Cassini**. Pomiarów dokonano, gdy między Ziemią i Cassini znajdowało się Słońce. Odchylenie fal radiowych i zmianę ich częstości przez Słońce na trasie Ziemia-Cassini-Ziemia zmierzono z dużą dokładnością. Wyniki potwierdziły przewidywania wynikające z OTW.



- Everitt kierował misją prowadzoną przez NASA i Uniwersytet w Stanford polegającą na umieszczeniu 20 marca 2004 na **orbicie biegunowej** (polarnej) o promieniu 642 km satelity Gravity Probe B.

- 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 warstewką niobu, zawieszane były elektrostatycznie.
- W przypadku orbity biegunowej (polarnej) o promieniu 642 km w ciągu roku precesja de Sittera odchyła oś żyroskopu w płaszczyźnie orbity o 6,6061 sekund kątowych, a precesja Lennsego-Thirringa odchyła oś żyroskopu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny orbity o 39,2 milisekund kątowych.
- Uzyskane wyniki potwierdziły z dużą dokładnością istnienie precesji Schiffa, czyli złożenia precesji de Sittera i precesji Lennsego-Thirringa wektora **spinowego** momentu pędu swobodnie orbitującego żyroskopu w polu grawitacyjnym wirującego ciała źródłowego.

Tematyka badawcza czołowych relatywistów



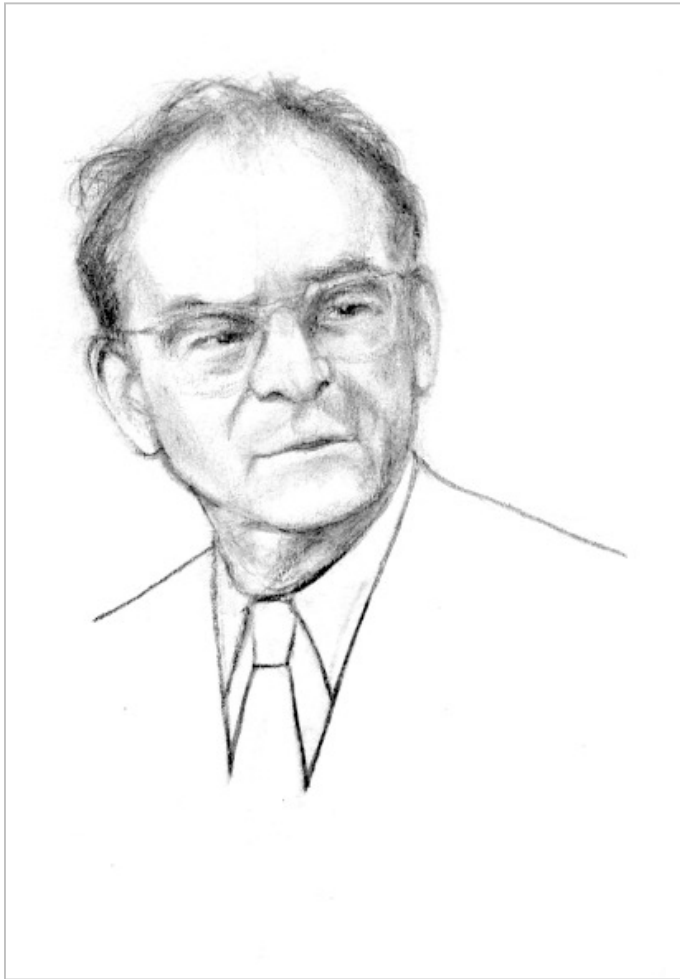
- Badał (1958) problemy związane z wyznaczaniem odległości galaktyk.



- Badał (1983) teorię grawitacji z cechowaniem, uwzględniającą krzywiznę i skręcenie.



- Analizował (1962) w ramach OTW odległości między planetami a Słońcem.



- Badał (1960) wygląd szybko poruszających się obiektów.

1960



- Przedmiotem jego badań były:
 - Hydrodynamika relatywistyczna
 - Termodynamika relatywistyczna
 - Cząstki ze spinem w OTW
 - Kwantyzacja grawitacji

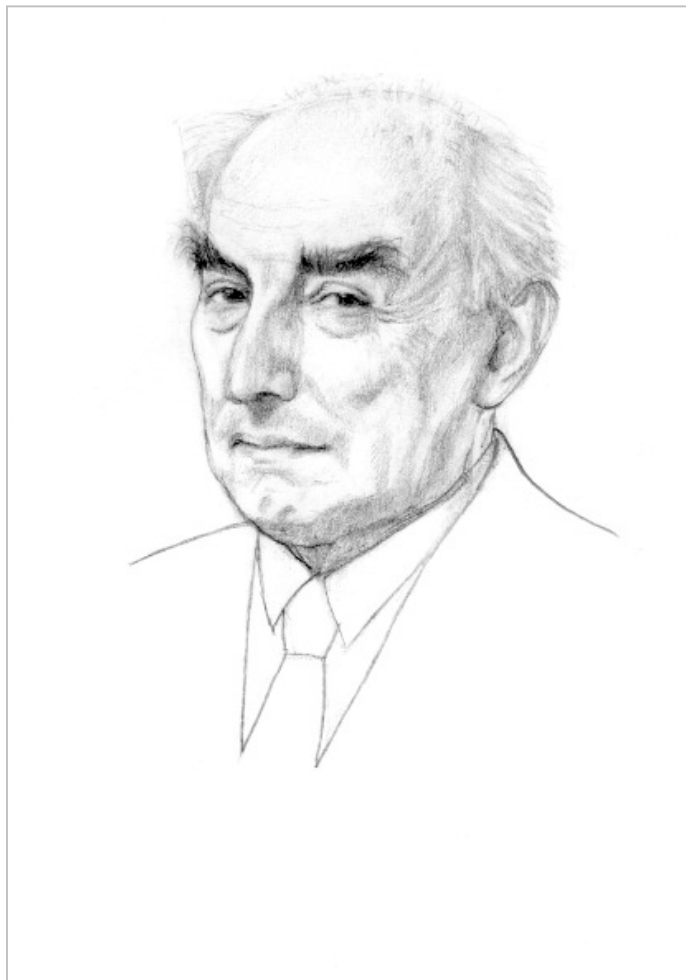


- Poczynając od 1948, badała Einsteinowskie przesunięcie grawitacyjne słonecznych linii widmowych, publikując wyniki w latach 1948, 1952, 1955, 1958 oraz 1959.

1948, 1952, 1955, 1958, 1959



- Przedmiotem jego badań były:
 - Zjawiska umożliwiające obserwację czarnych dziur
 - Emisja fal grawitacyjnych
 - Inflacyjna faza kreacji Wszechświata
 - Fluktuacje promieniowania tła
 - Tworzenie się galaktyk i gromad
 - Wielkoskalowa struktura Wszechświata



- Jest autorem dociekliwych prac poświęconych historii i metodologii Teorii Względności.
- Przedmiotem jego badań były ponadto astrofizyka promieniowania kosmicznego, teoria radio emisji pulsarów i elektrodynamika czarnych dziur.



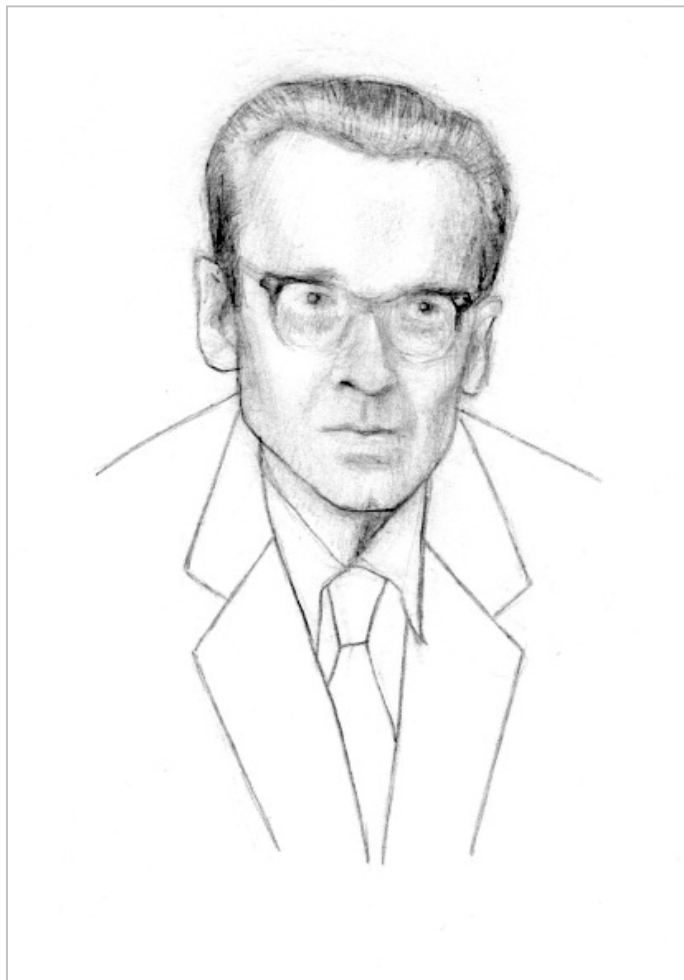
- Badał (1980) relatywistyczne równania ruchu cząstki spinowej.



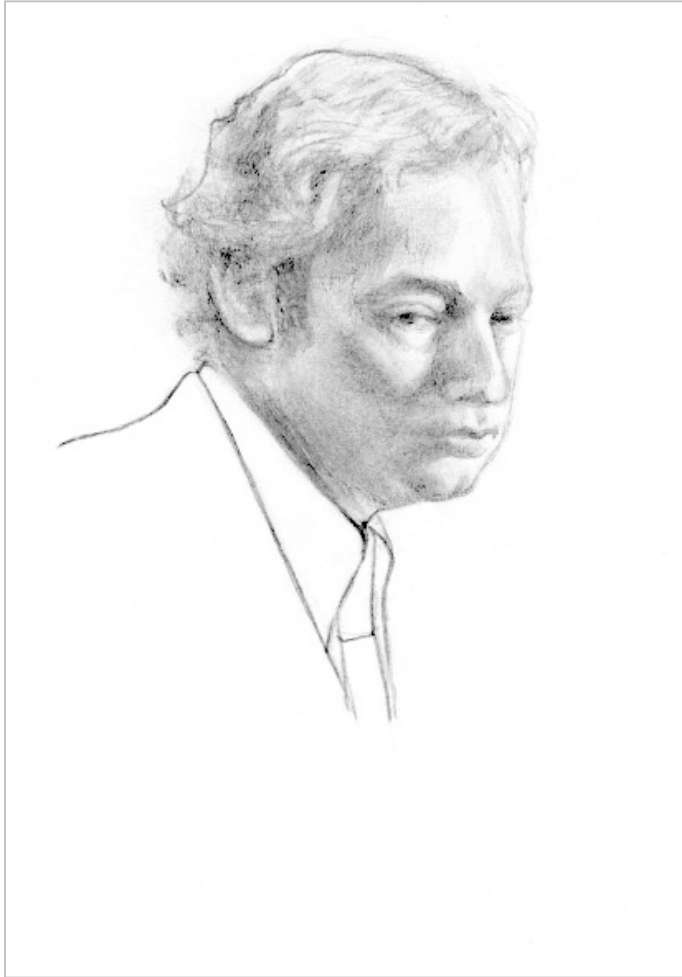
- Poświęcił kilka prac relatywistycznej teorii pola niestabilnych cząstek, relatywistycznej strukturze $SU(6)$, relatywistycznej teorii $U(6, 6)$, czarnym dziurom oraz teorii Kaluzy-Kleina.



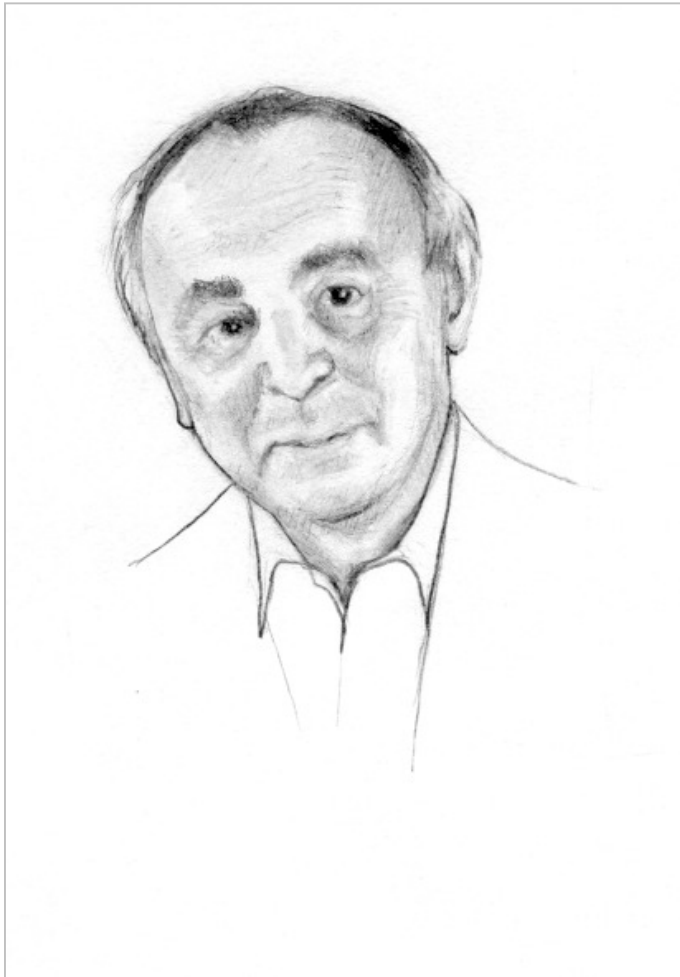
- Przedmiotem jego badań są:
 - Hydrodynamika relatywistyczna
 - Astrofizyka relatywistyczna
 - Kosmologia relatywistyczna



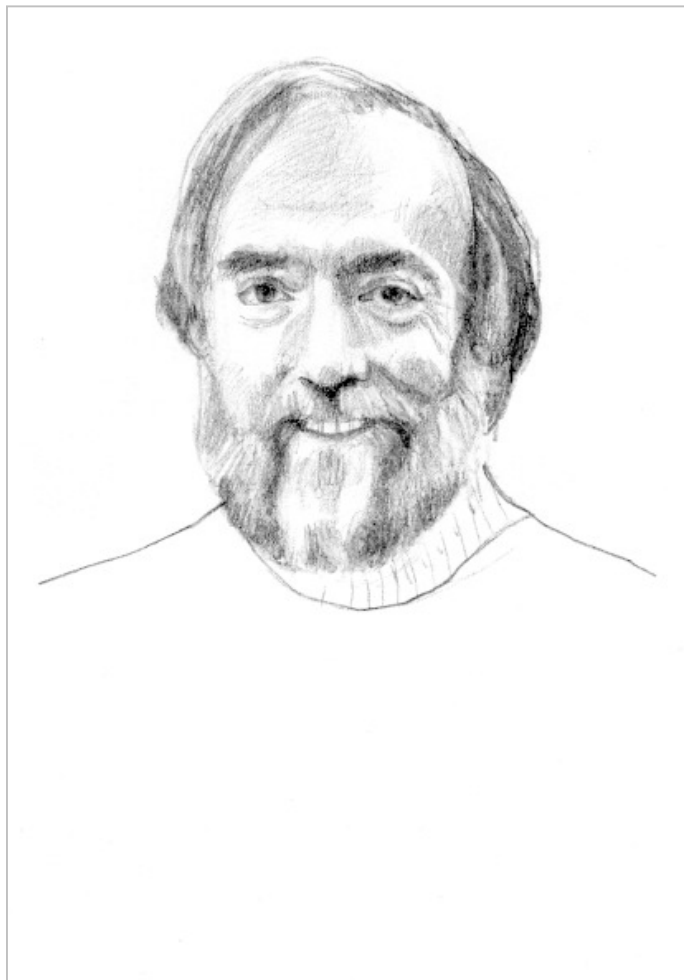
- Przedmiotem jego badań są:
 - Równania ruchu w OTW
 - Fale grawitacyjne
 - Warunki brzegowe w OTW
 - Energia pola grawitacyjnego
 - Prawa zachowania w OTW
 - Struktury czasoprzestrzenne
 - Teoria Einsteina-Cartana
 - Zastosowanie w OTW równań Killinga, algebr Clifforda i spinorów



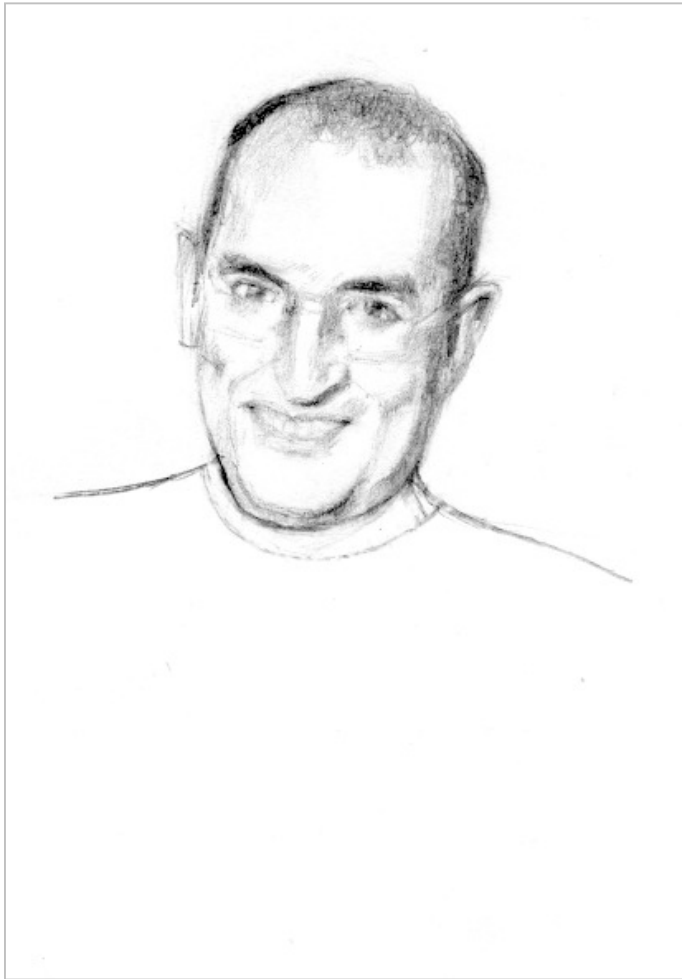
- Poczynając od 1987 bada problemy związane ze stałą kosmologiczną.



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



- Przedmiotem jego badań są:
 - Czarne dziury
 - Fale grawitacyjne
 - Obserwacyjne, eksperymentalne oraz astrofizyczne aspekty OTW
- Kip Thorne, Rainer Weiss i William Prest Drever stworzyli projekt LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory).



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

Teoria Względności



Zbigniew Osiak

Wyniki

02