

# 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](mailto: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)

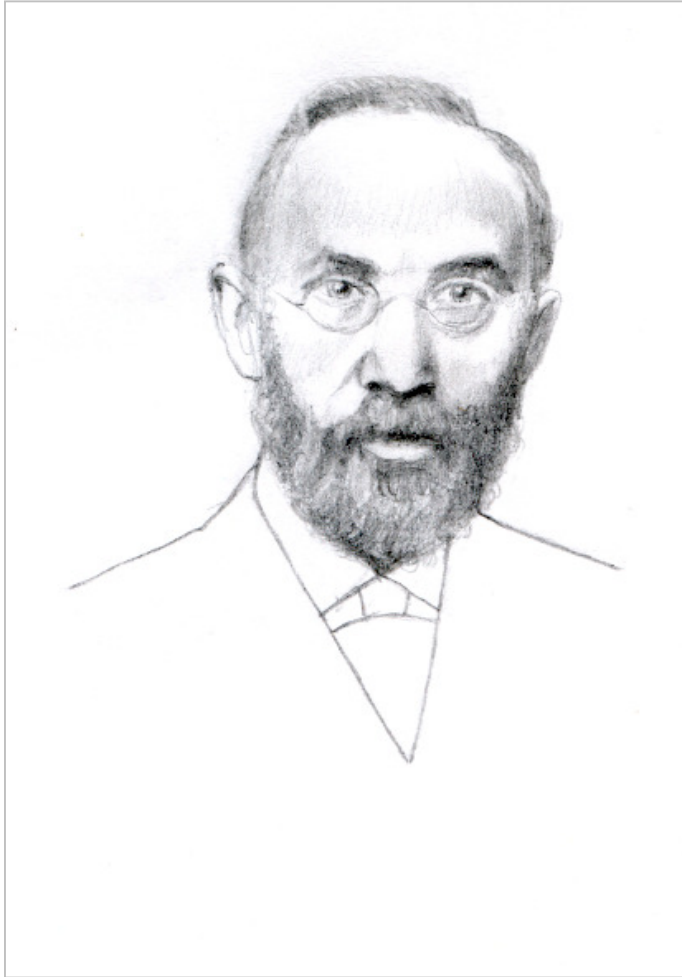
- 
- Stephen Wiliam Hawking – 1970, 1976, 1983 (81)
  - Joseph C. Hafele – 1971 (82)
  - Joseph C. Hafele – 1971 (83)
  - Władimir Borysowicz Bragiński – 1971 (84)
  - Russell Alan Hulse – 1974 (85)
  - Brandon Carter – 1974 (86)
  - Robert F. C. Vessot – 1976 (87)
  - Joseph Hooton Taylor – 1979 (88)
  - 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)**

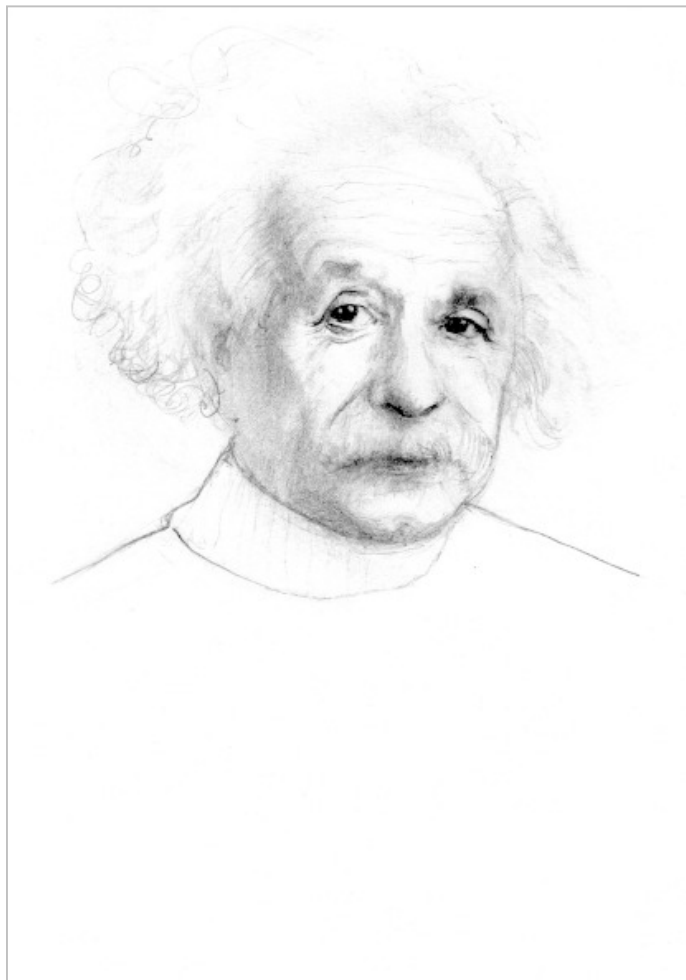
- Wilhelm Heinrich Walter Baade – 1958 (109)
- Dymitr Dymitrowicz Iwanienko – 1983 (110)
- Gerald Maurice Clemence – 1962 (111)

- 
- 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)

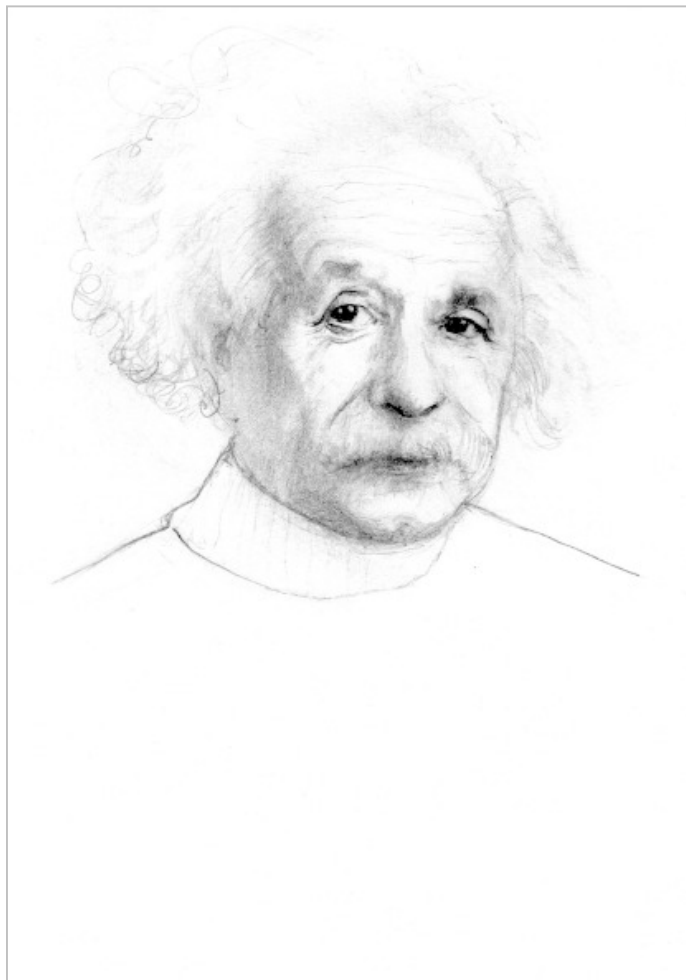


- Zaproponował (1904) transformacje współrzędnych przestrzennych i czasu, niezmieniające postaci równań Maxwella.

1904

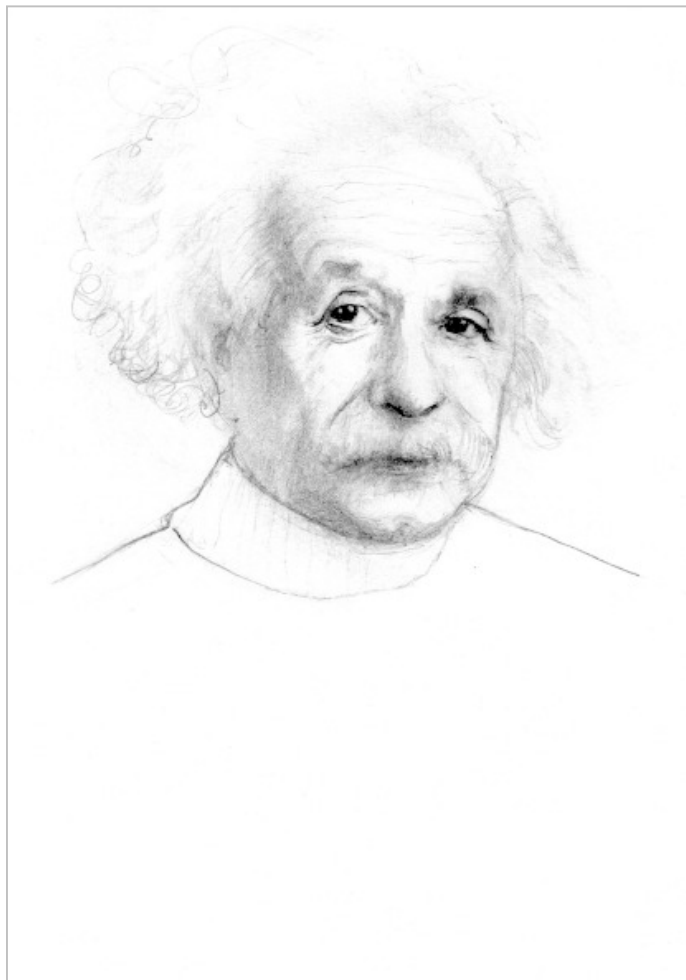


- Sformułował 30 czerwca 1905 podstawy Szczególnej Teorii Względności.
- Uzasadnił 27 września 1905 wzór  $E = mc^2$ .
- Sformułował 4 grudnia 1907 zasadę równoważności i wywnioskował z niej istnienie grawitacyjnego przesunięcia ku czerwieni oraz odchylenia promieni świetlnych w polu grawitacyjnym.



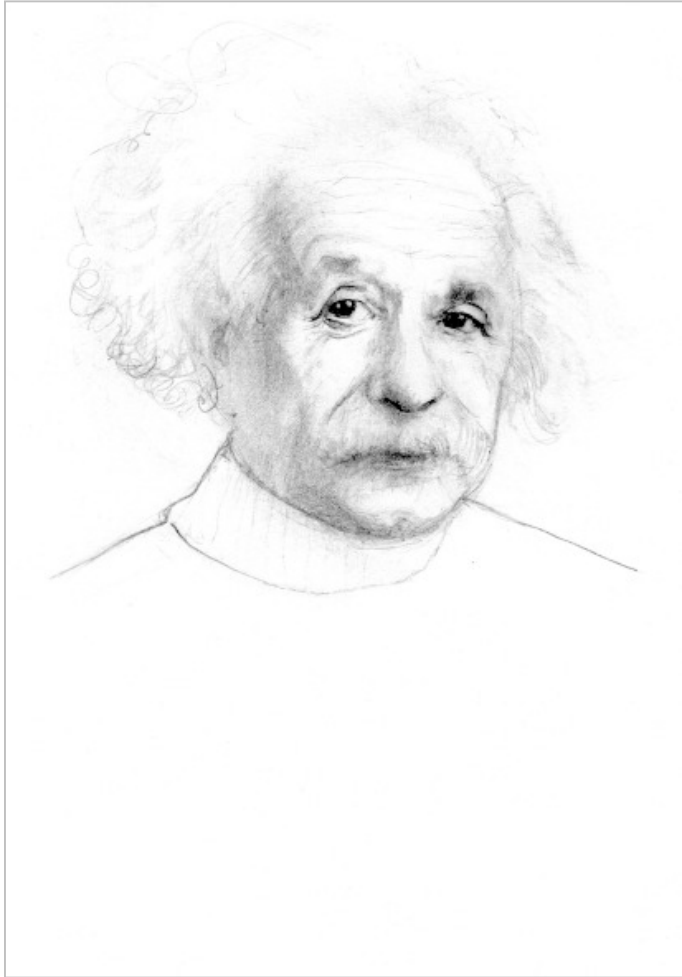
- A. Einstein i J. Laub badali w 1908 równania Maxwella-Hertza oraz równania materiałowe w poruszającym się ośrodku. Podali wzory transformacyjne dla wielkości charakteryzujących pole elektromagnetyczne i jego źródła.
- Jakościowo i ilościowo wyjaśnił 18 listopada 1915 anomalny obrót peryhelium Merkurego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

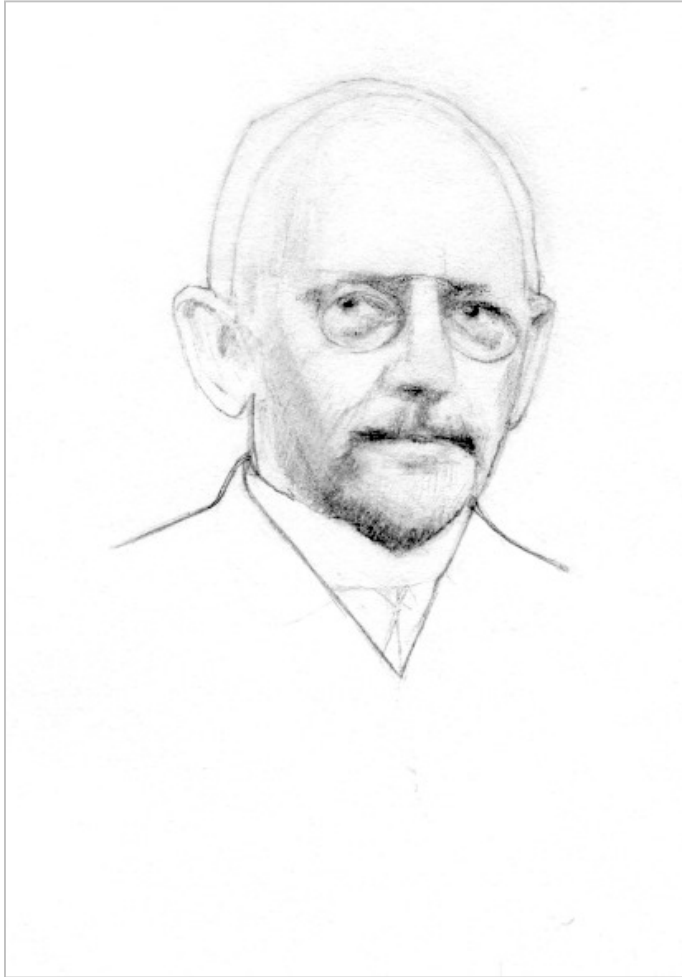
**1913, 1914, 1915, 1916**



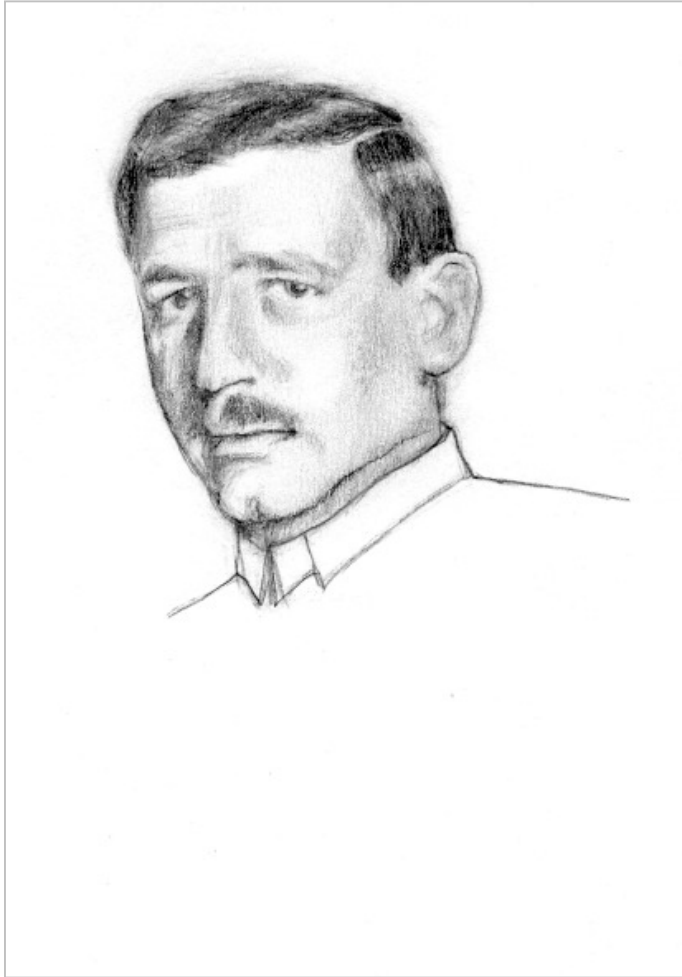
- Zaproponował 8 lutego 1917 równanie pola grawitacyjnego z członem kosmologicznym i w oparciu o nie przedstawił w ramach OTW pierwszy model Wszechświata.
- Praca ta dała początek kosmologii relatywistycznej.



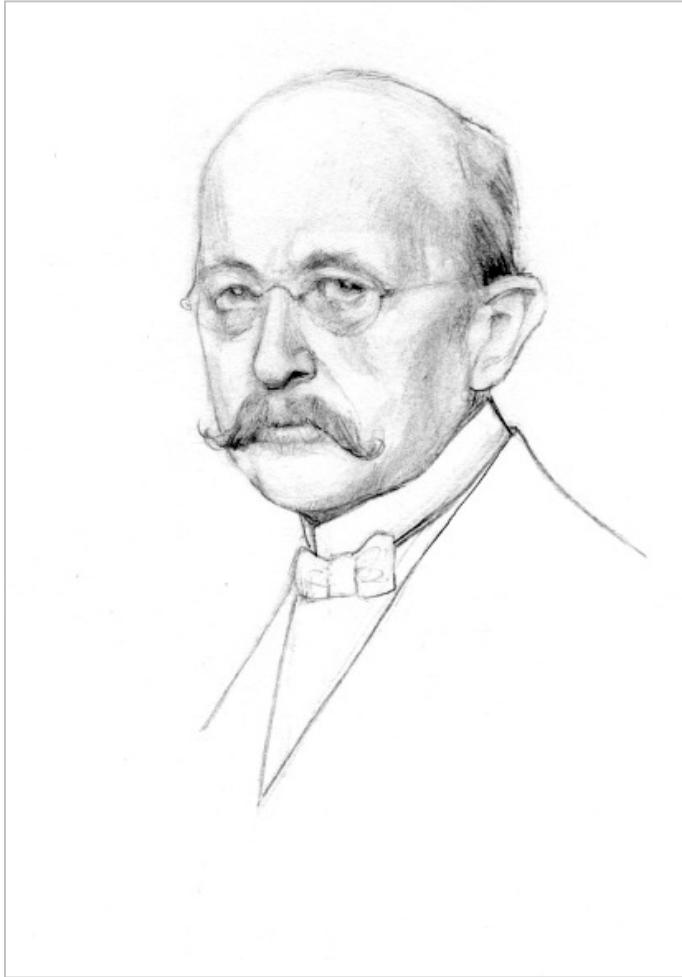
- Niezależnie od Einsteina sformułował 23 lipca 1905 Szczególną Teorię Względności.
- Zaproponował nazwę transformacje Lorentza.



- 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.

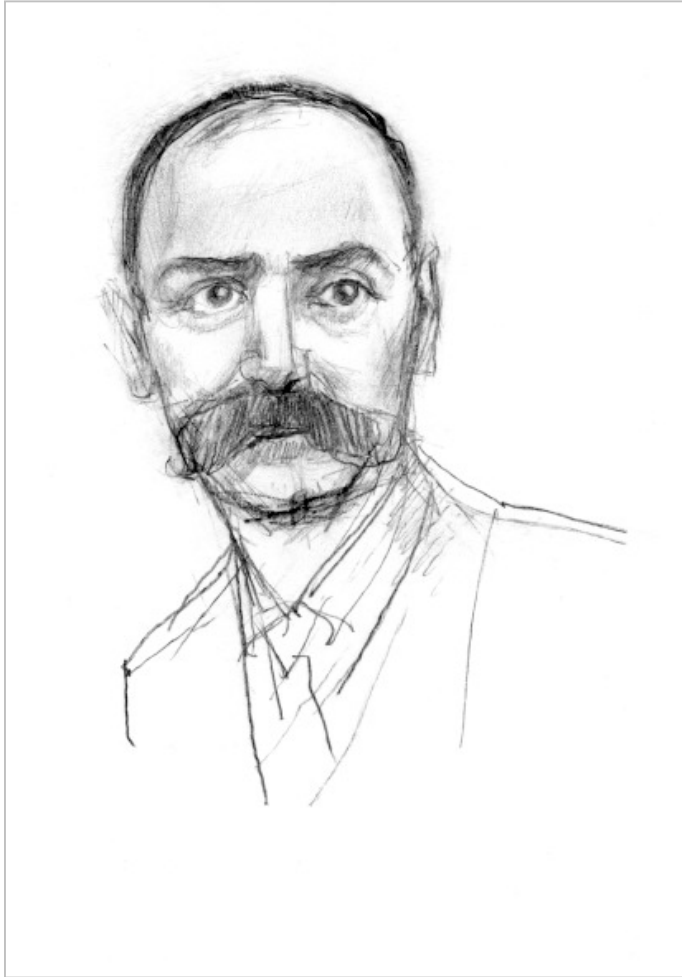


- Zaproponował (1906) nazwę Teoria Względności.
- Podał (1906) trójwymiarowe relatywistyczne równania ruchu, wyrażenia dla funkcji Lagrange'a i Hamiltona oraz pędu cząstki.
- Stworzył (1907) podstawy relatywistycznej termodynamiki.

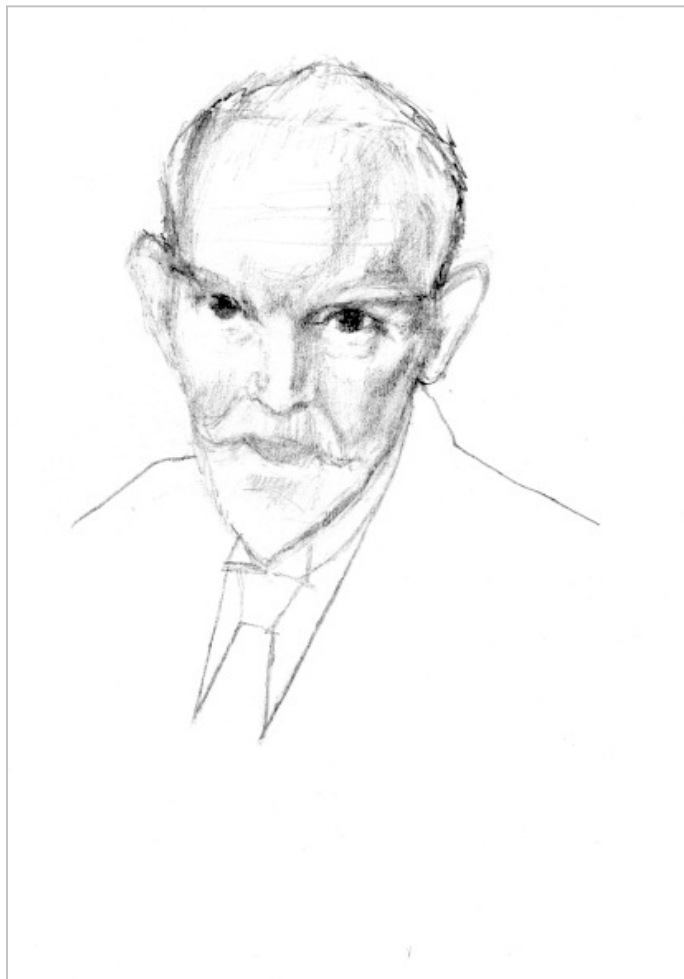
1906, 1907



- 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 osi obrotu swobodnie orbitującego żyroskopu 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

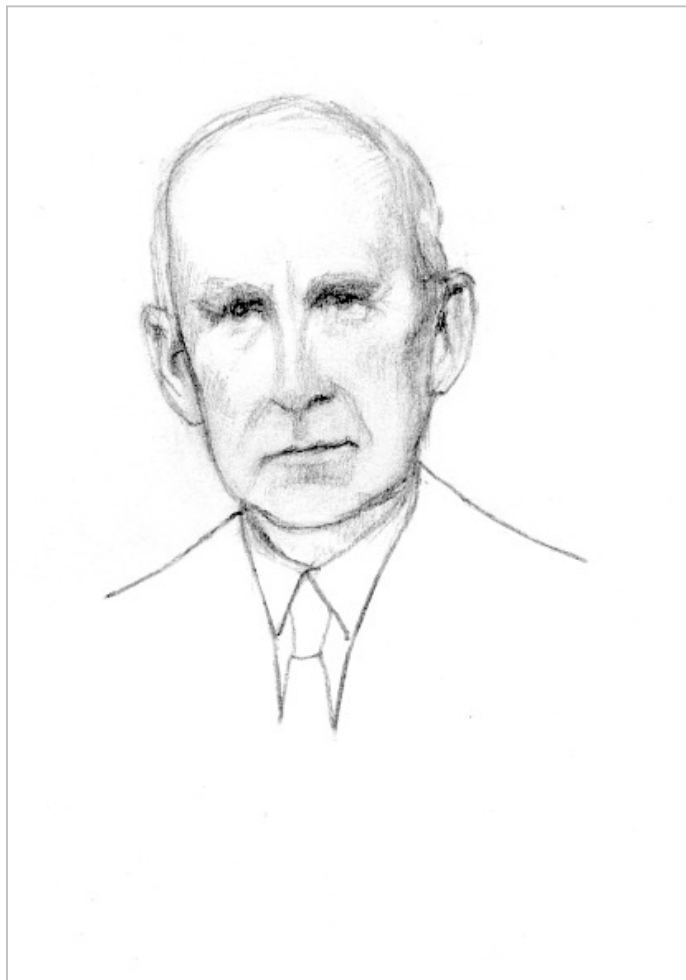
- Joseph Lense i Hans Thirring wykazali (1918), na podstawie równań Einsteina, że w polu wirującego źródła orbitalny moment pędu (prostopadły do płaszczyzny orbity) swobodnie orbitującej cząstki ulega precesji (efekt Lensego-Thirringa, precesja Lensego-Thirringa, precesja żyroskopowa, sprzężenie momentów pędów spinowego i orbitalnego, wleczenie układów inercjalnych).

- Joseph Lense i Hans Thirring wykazali (1918), na podstawie równań Einsteina, że w polu wirującego źródła orbitalny moment pędu (prostopadły do płaszczyzny orbity) swobodnie orbitującej cząstki ulega precesji (efekt Lensego-Thirringa, precesja Lensego-Thirringa, precesja żyroskopowa, sprzężenie momentów pędów spinowego i orbitalnego, wleczenie układów inercjalnych).



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

1918, 1937, 1950

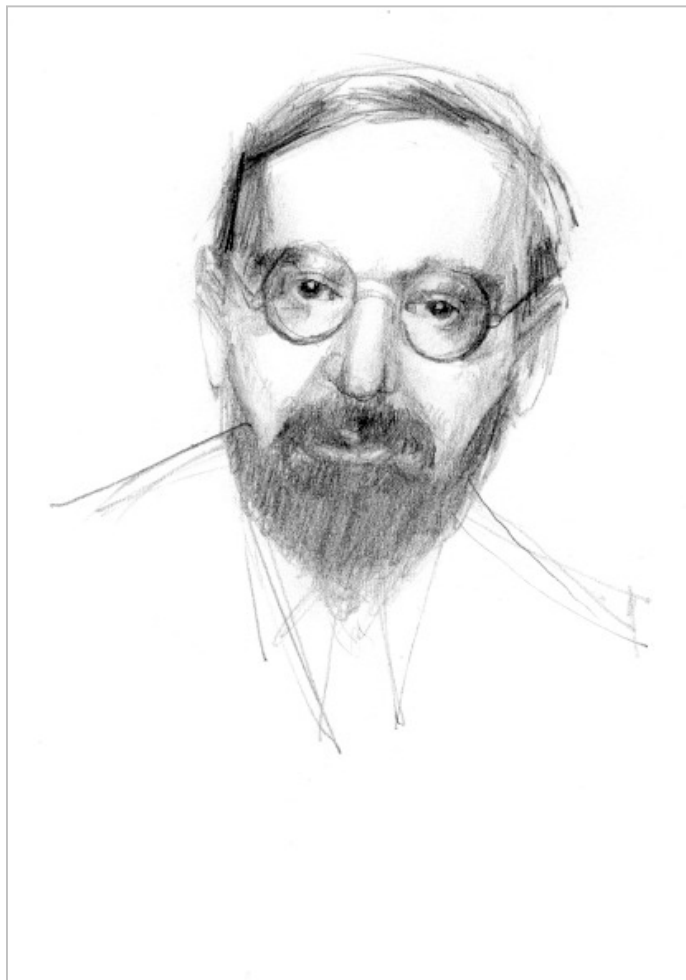


- Przeprowadzone 29 maja 1919 pod jego kierunkiem obserwacje zaćmienia Słońca potwierdziły przewidziane przez OTW odchylenie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym.
- Udowodnił (1930), że kosmologiczne rozwiązanie Einsteina jest niestabilne.

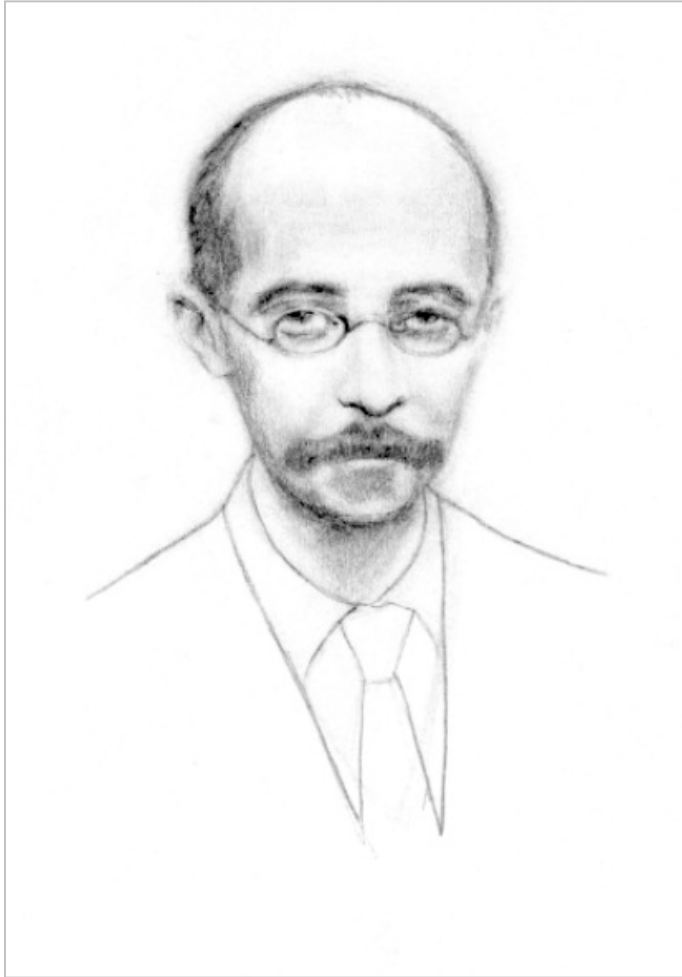
1919, 1930



- 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.



- 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.



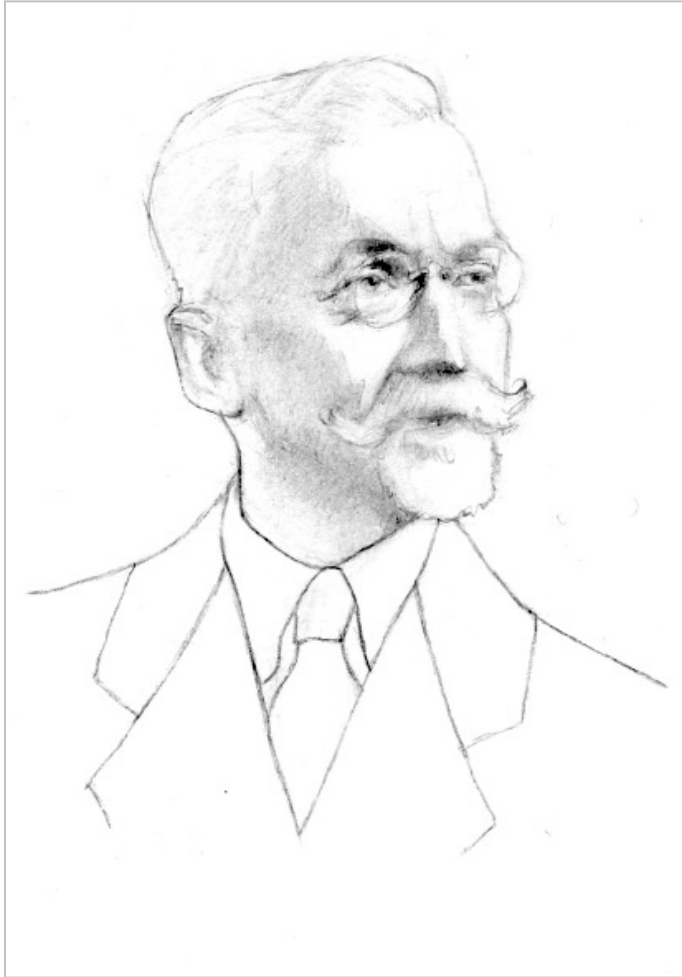
- Znalazł (1922 oraz 1924) niestacjonarne rozwiązanie równań pola Einsteina dla jednorodnego rozkładu masy opisujące rozszerzający się Wszechświat o zmiennej w czasie krzywiznie przestrzennej.
- W 1929 roku jego teoria została potwierdzona odkryciem przez Hubble'a ucieczki galaktyk.

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

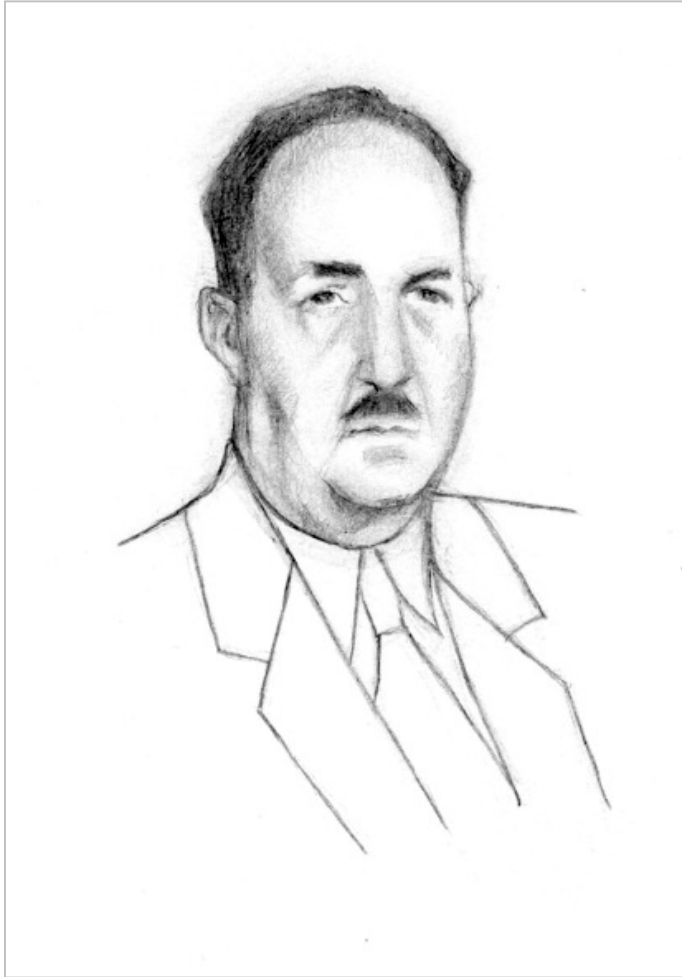


- Wprowadził (1922) tensor skręcenia.
- Zaproponował (1923-1925) modyfikację OTW zwaną teorią Einsteina-Cartana.

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.



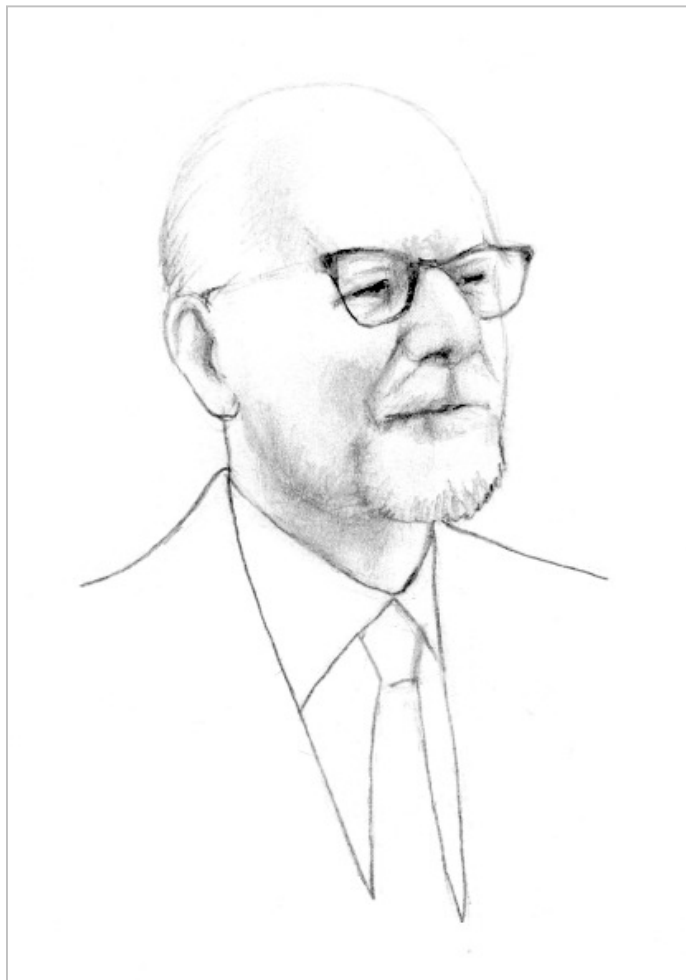
- Wykazał (1928) niezależnie od Lemaître, że w modelu de Sittera przestrzeń ulega ekspansji.
- Zapisał (1929) oba kosmologiczne rozwiązania Friedmana w postaci jednego wyrażenia.
- Dokonał (1933) twórczego przeglądu osiągnięć kosmologii relatywistycznej w latach 1917-1932.

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.

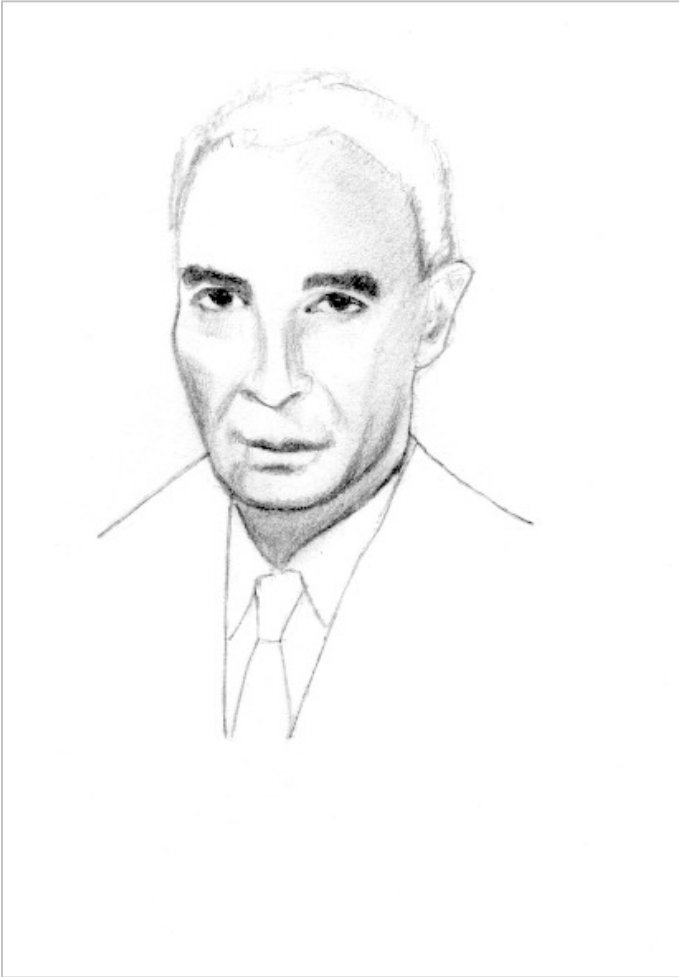
1928, 1932, 1939



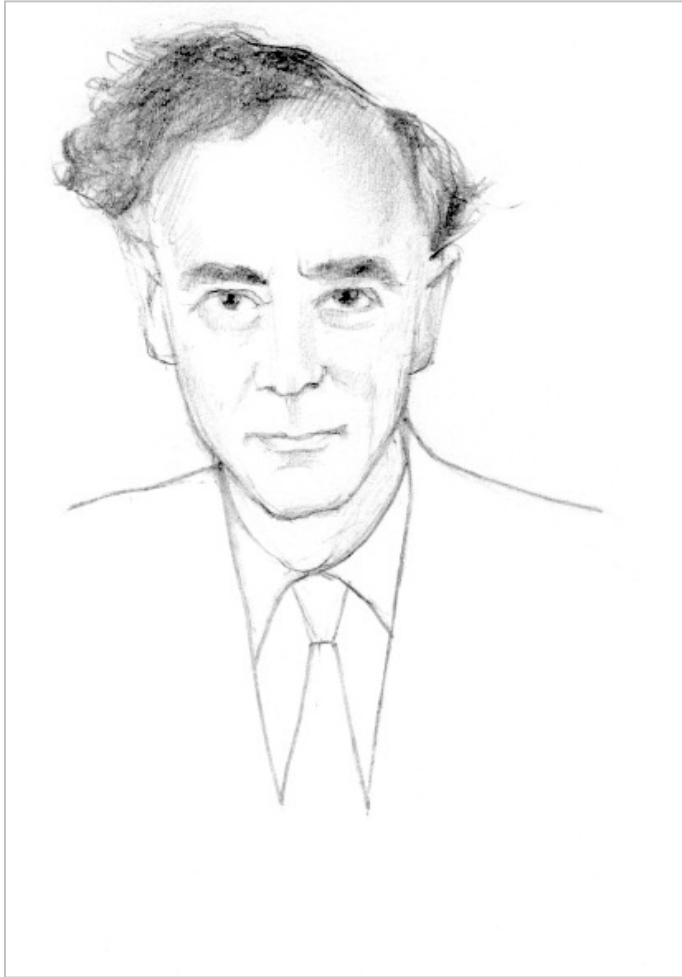
- Jest współautorem wspaniałego podręcznika o rachunku tensorowym.
- Opracował (1937) mechanikę relatywistyczną ośrodków ciągłych (relatywistyczną hydrodynamikę).



- 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 Lifszic 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

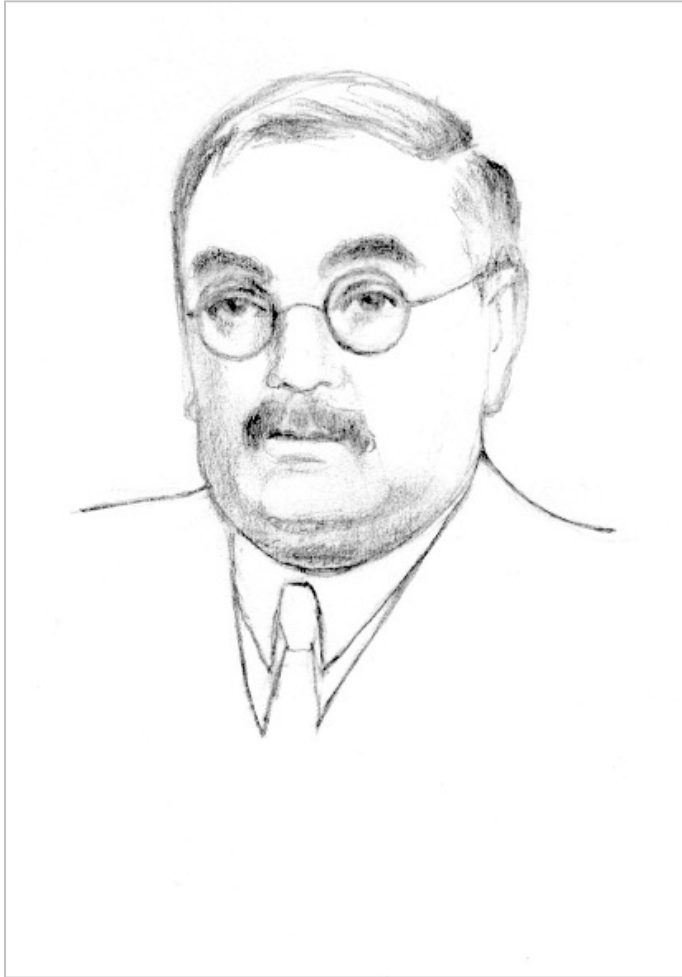


- Pokazał (1954), że istnieją trzy i tylko trzy rodzaje pól grawitacyjnych w próżni (trzy typy Pietrowa). Podział ten wynika z własności tensora krzywizny konforemnej Weyla.
- Sklasyfikował (1954) pola grawitacyjne według grup ciągłych przekształceń Liego (grup ruchów, grup przekształceń konforemnych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

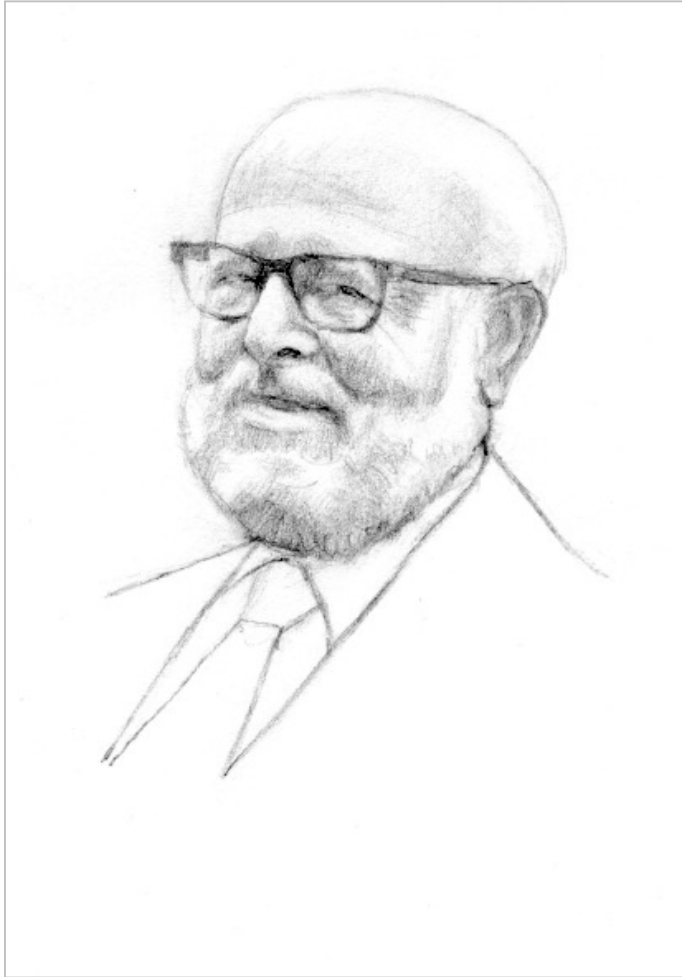
- Projekt i budowa pierwszego detektora promieniowania grawitacyjnego – Weber, 1960
- Pomiar w warunkach laboratoryjnych przesunięcia linii widmowych spowodowanego polem grawitacyjnym Ziemi – Pound i Rebka, 1960
- Podanie rozwiązania próżniowych równań pola Einsteina dla przypadku wirującego źródła (metryka Kerra) – 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.

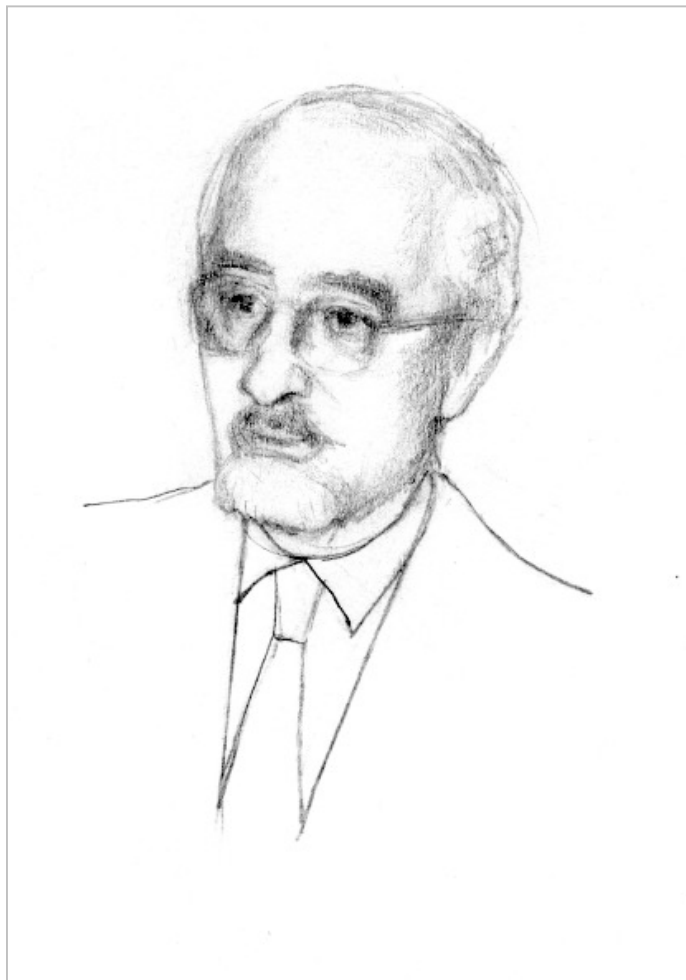


- Jest jednym z twórców astrofizyki jądrowej oraz współautorem teorii syntezy pierwiastków w gwiazdach opublikowanej w 1957.



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

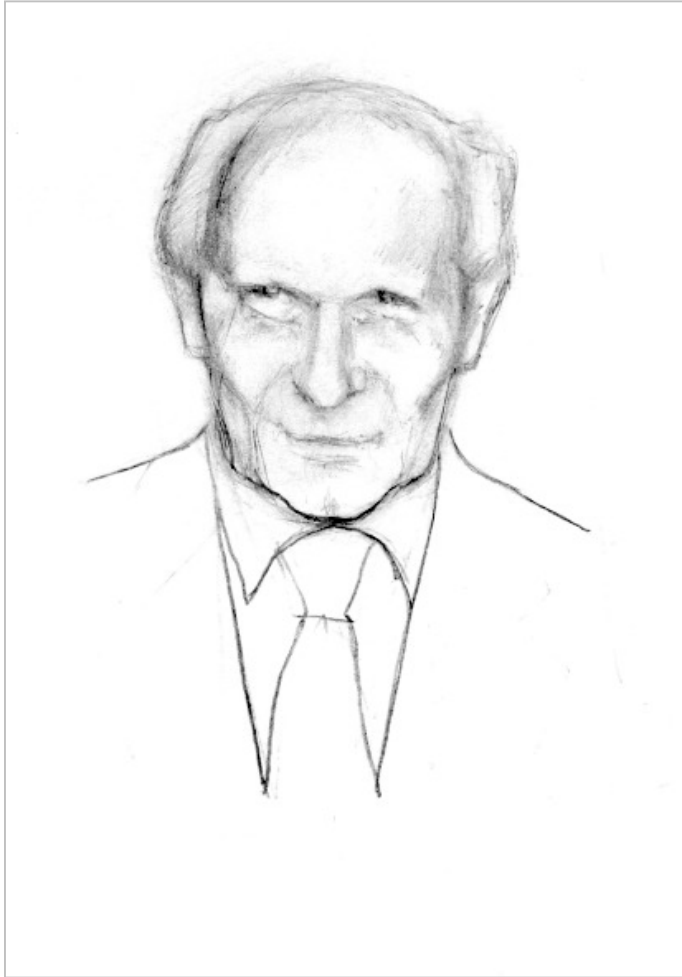
- David Joseph Bohm i Jean-Pierre Vigier opracowali (1958) relatywistyczną hydrodynamikę wirujących cieczy.



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

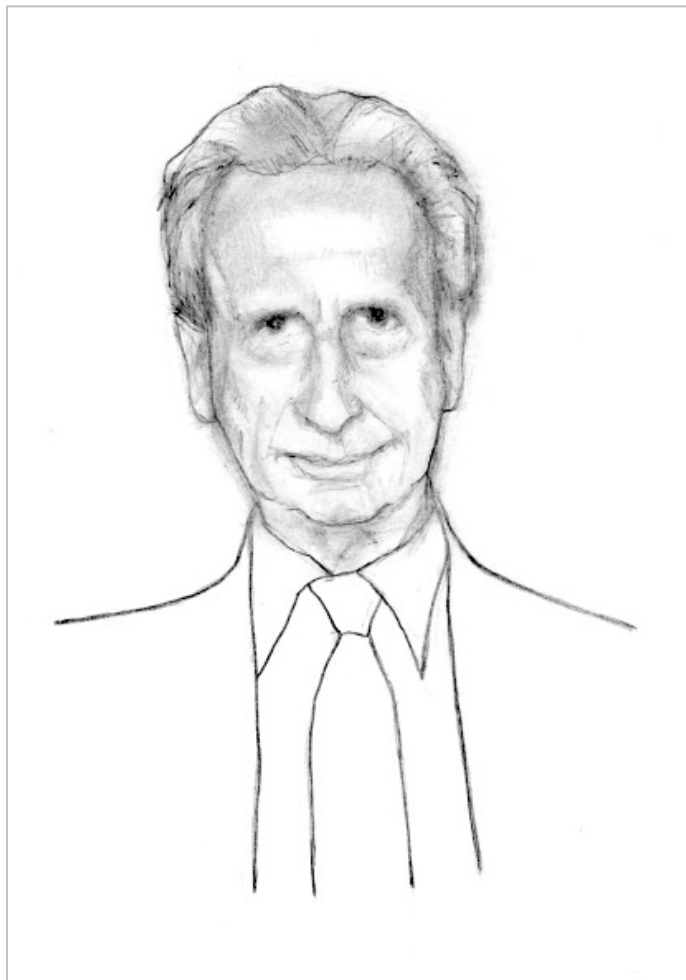
1958, 1962, 1978

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

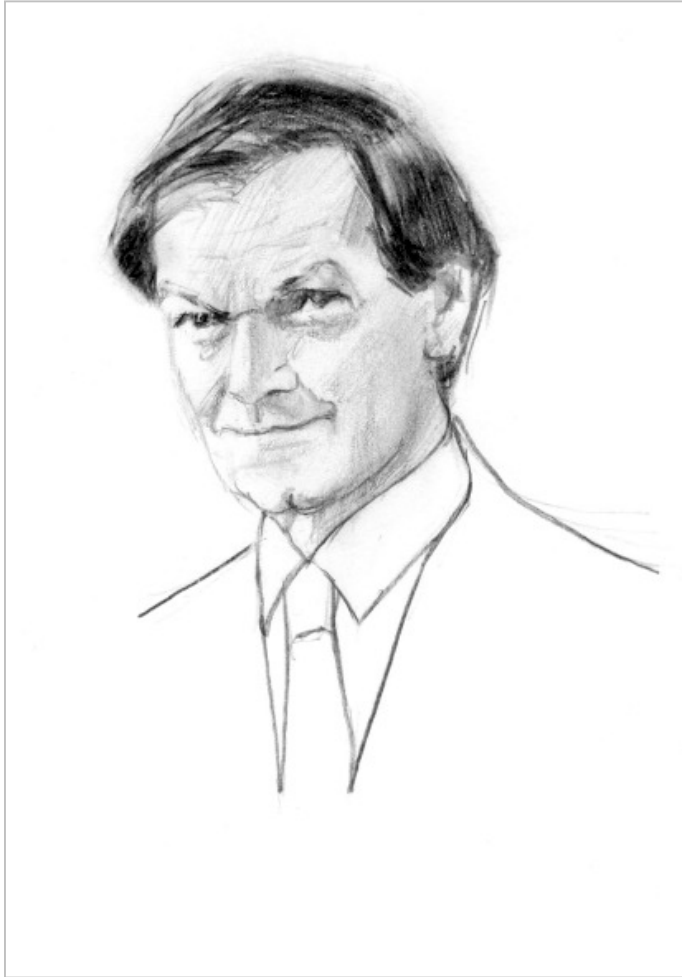


- Zaproponował (1960) [niezależnie od M. D. Kruskala] układ współrzędnych pozwalający pozbyć się pozornych osobliwości związanych z metryką Schwarzschilda.

1960

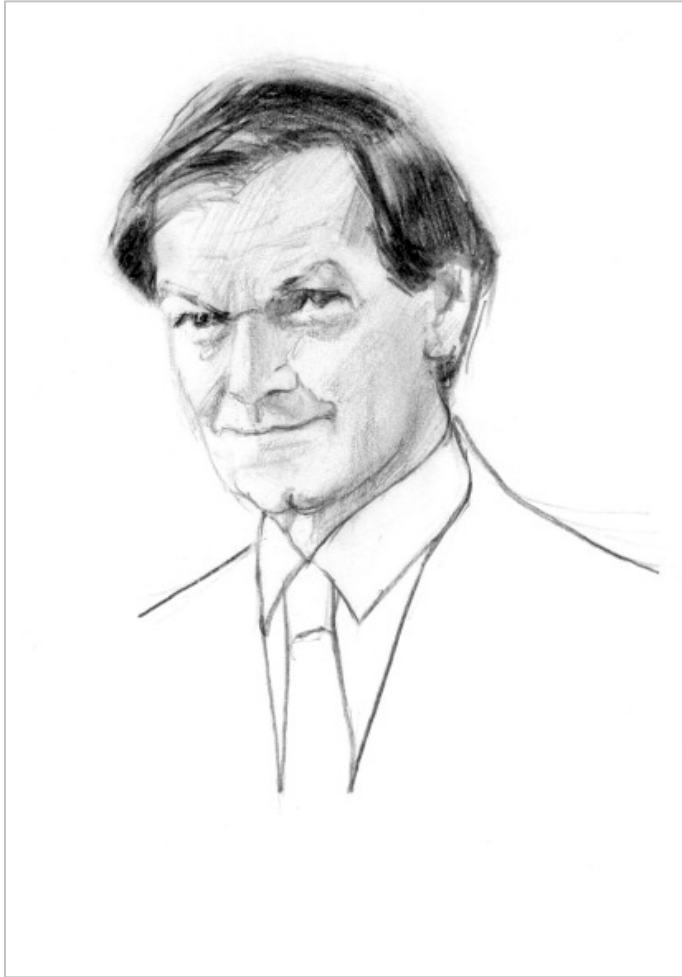


- Niezależnie od J. Szekeresa skonstruował (1960) układ współrzędnych świetnie współgrający z metryką Schwarzschilda.

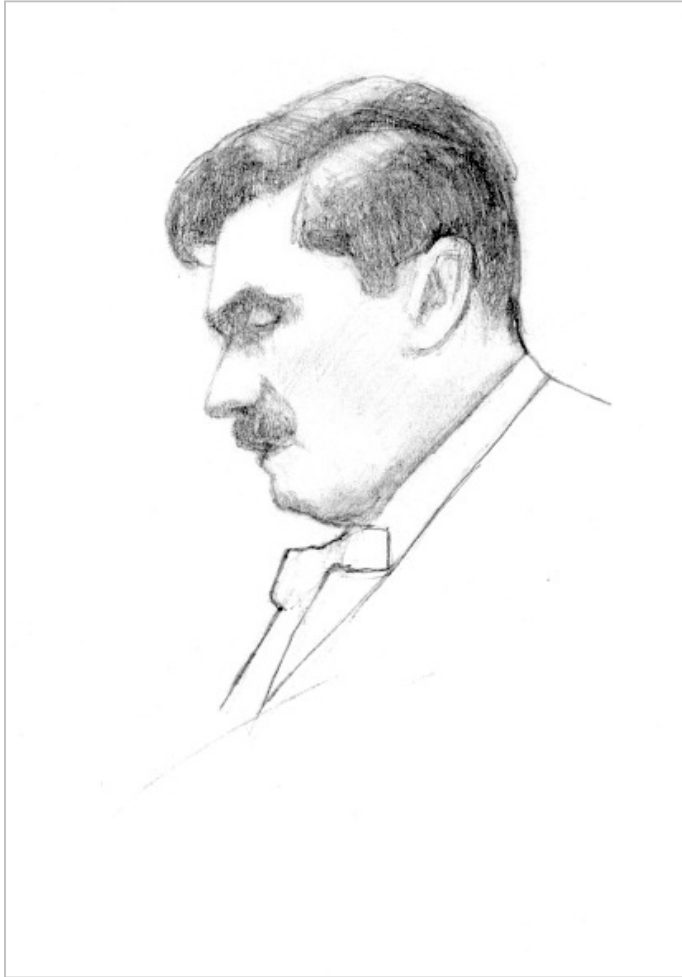


- Sformułował (1960) spinorowe podejście do OTW.
- Zaproponował badanie globalnych własności czasoprzestrzeni.
- Badał fale grawitacyjne.
- Analizował własności związków przyczynowych między punktami czasoprzestrzeni.
- S. W. Hawking i R. Penrose przedstawili (1970) hipotezę, że Wszechświat powstał z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

1960, 1970



- Opisał (1971) mechanizm umożliwiający pozyskiwanie energii rotacyjnej z czarnej dziury Kerra.
- 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.

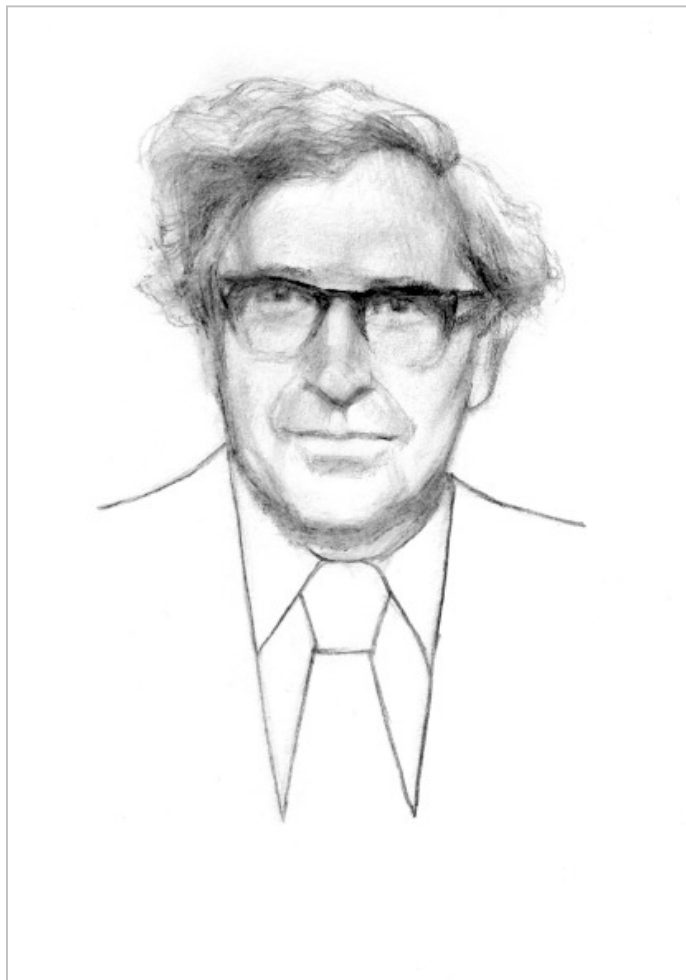


- R. V. Pound i G. A. Rebka zmierzili (1960) w warunkach laboratoryjnych przesunięcie linii widmowych spowodowane polem grawitacyjnym Ziemi, wykorzystując efekt Mössbauera.



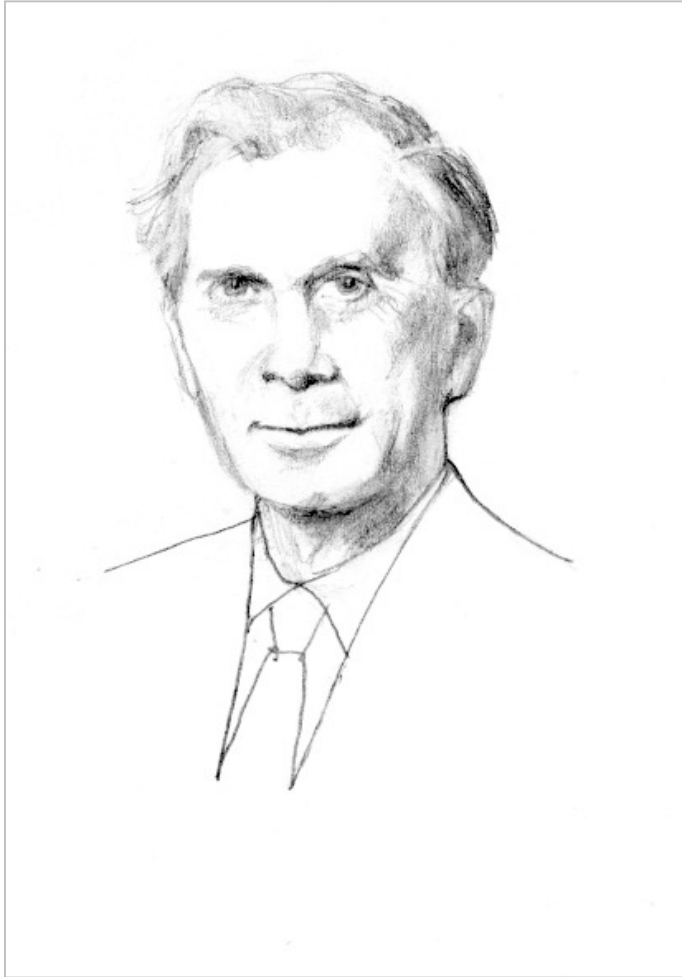
- Zaprojektował i zbudował (1960) pierwszy detektor promieniowania grawitacyjnego.

1960



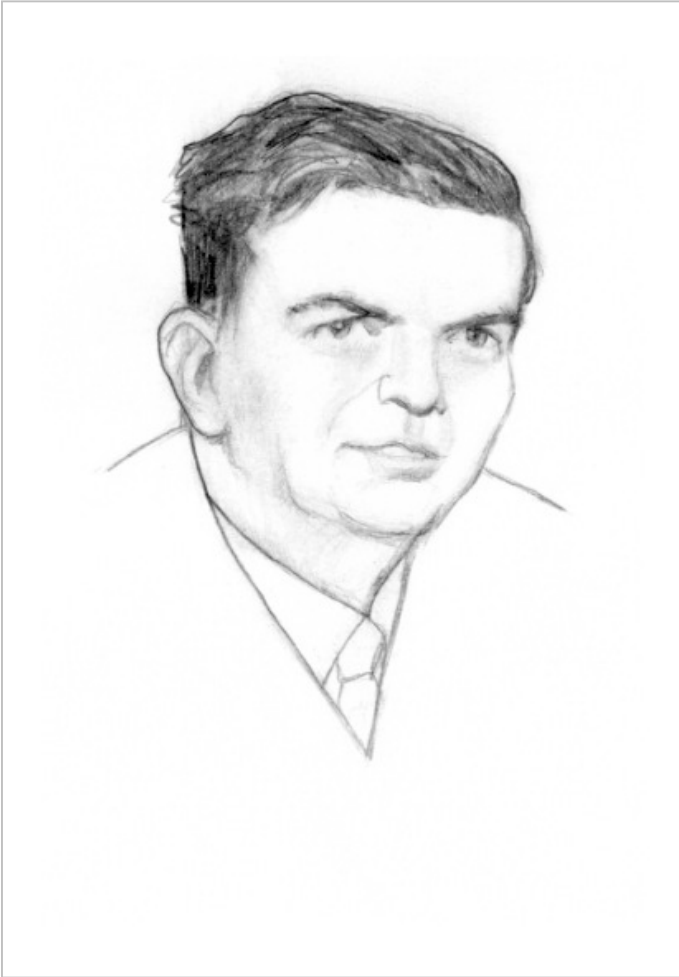
- M. Ryle i A. Hewish opracowali (1960) metodę syntezy apertury, dzięki czemu można zastąpić obserwacje dużym radioteleskopem wieloma małymi.
- Jego doktorantka Jocelyn Bell odkryła (1967) pulsara.

1960, 1967



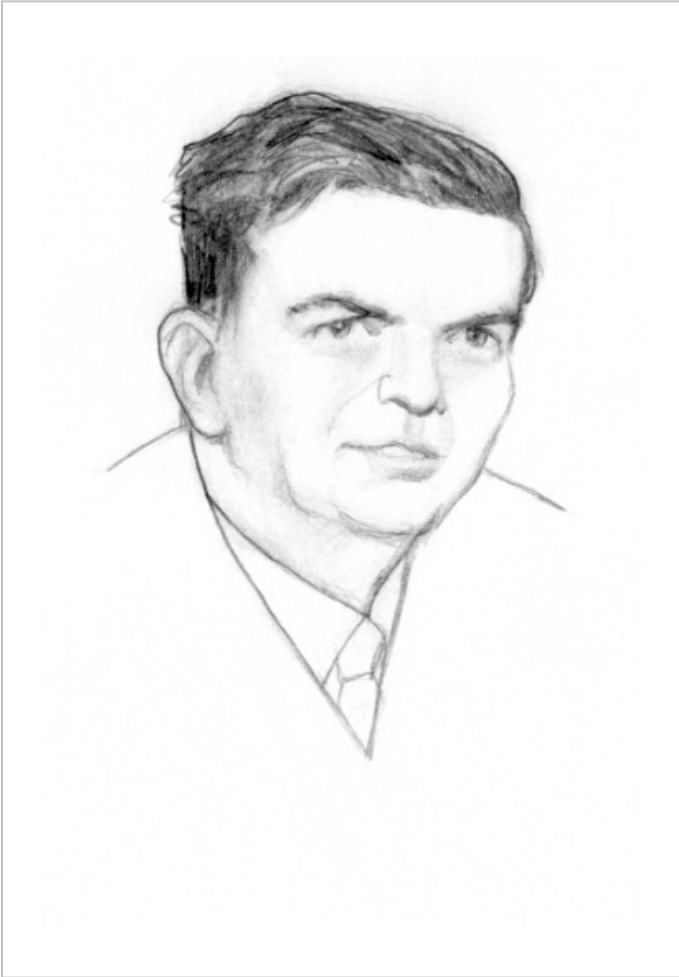
- Martin Ryle i R. W. Clarke dokonali (1961) obserwacji rozmieszczenia radioźródeł, które nie potwierdzały przewidywań Teorii Stanu Stacjonarnego.

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

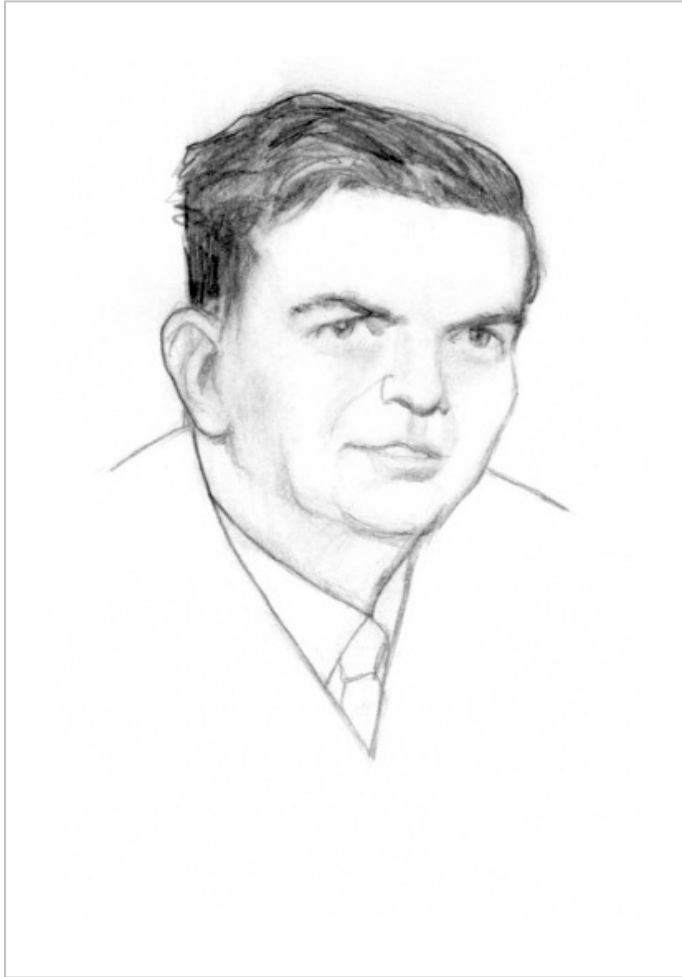


- Opracował (1961) wspólnie z Carlem Branssem skalarno-tensorową teorię grawitacji zakładającą, że „stała” grawitacyjna zmniejsza się z szybkością jednej części na  $10^{11}$  w ciągu roku (teoria Bransa-Dicke).
- Eksperymentalnie potwierdził (1964) równowagę masy grawitacyjnej i inercyjnej z dokładnością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

1961, 1964

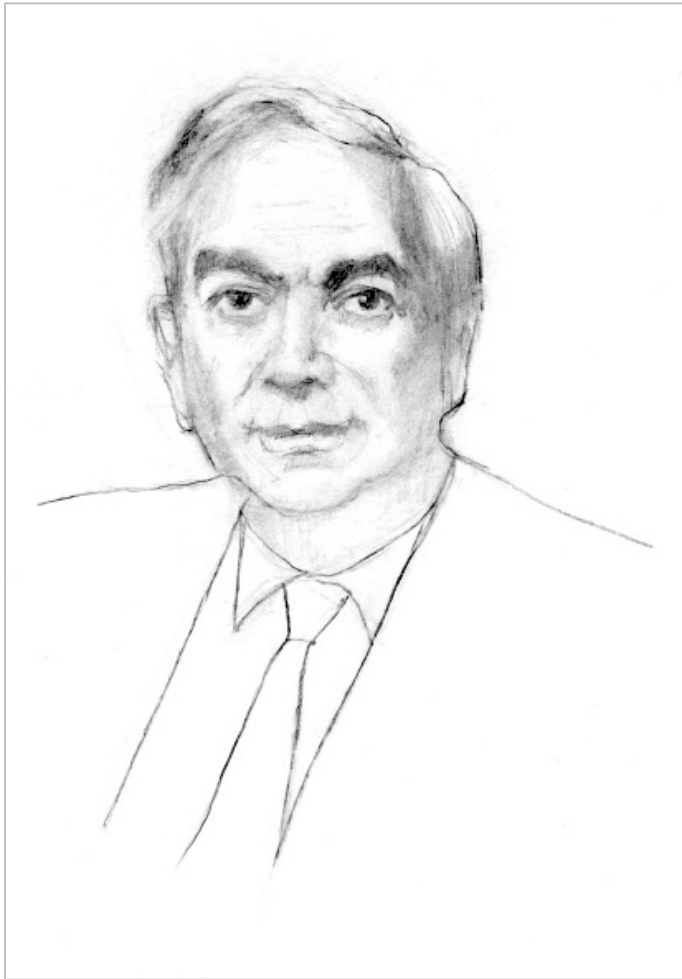


- Dicke i współpracownicy wysunęli hipotezę (1965), że Wszechświat jest wypełniony mikrofalowym promieniowaniem tła (promieniowaniem reliktowym) odpowiadającym temperaturze kilku stopni Kelvina, będącym pozostałością po Wielkim Wybuchu.
- Stanowiło to wyjaśnienie odkrycia dokonanego w 1965 przez A. A.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

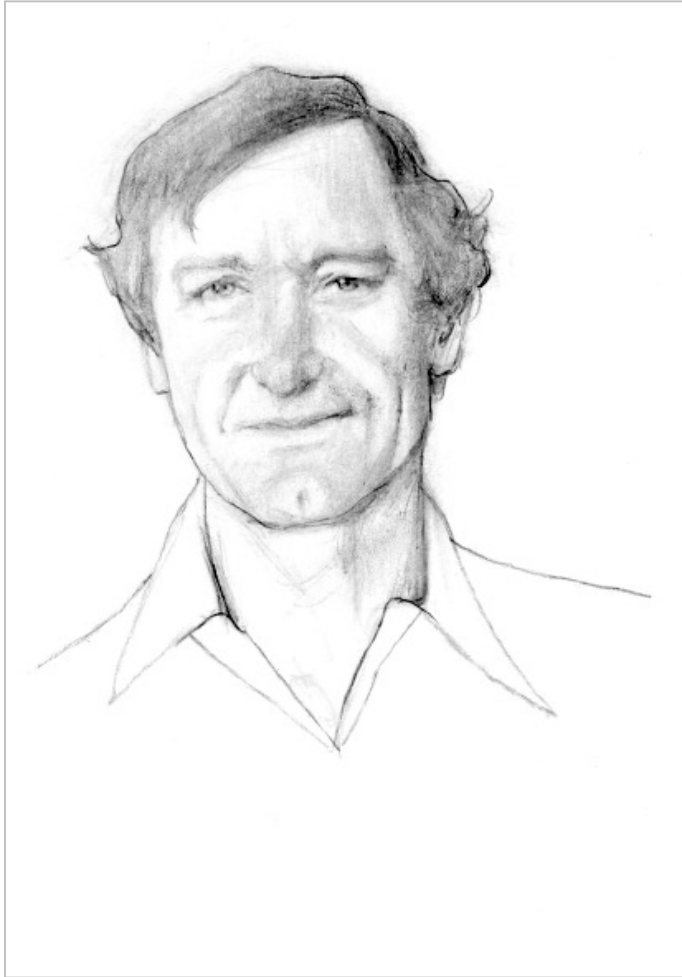


- Rozwinął (1962) teorię czasoprzestrzeni ze skręceniem (teoria Einsteina-Cartana-Sciama-Kibble'a).



- 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).



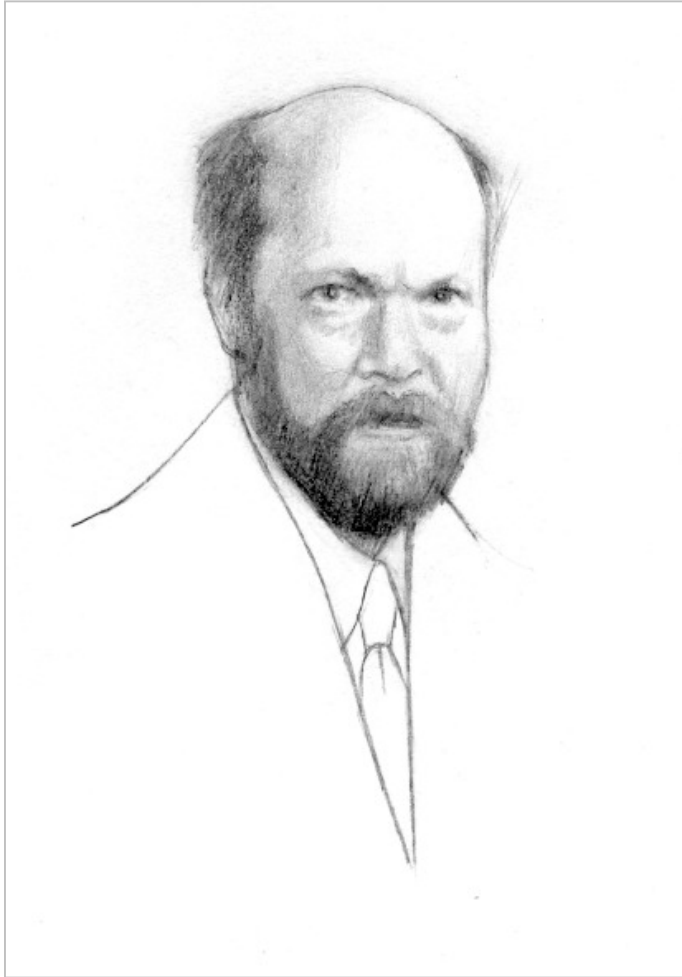
- Josif Samojłowicz Szklowski i Nikołaj Siemionowicz Kardaszew obliczyli (1964), że podczas zapadania się super ciężkich gwiazd wysyłane są fale grawitacyjne o dużej mocy.
- Jako przykłady podali gwiazdę będącą elipsoidą obrotową (z wyjątkiem kuli) wirującą wokół jednej ze swych osi, dwie gwiazdy o jednakowych 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.

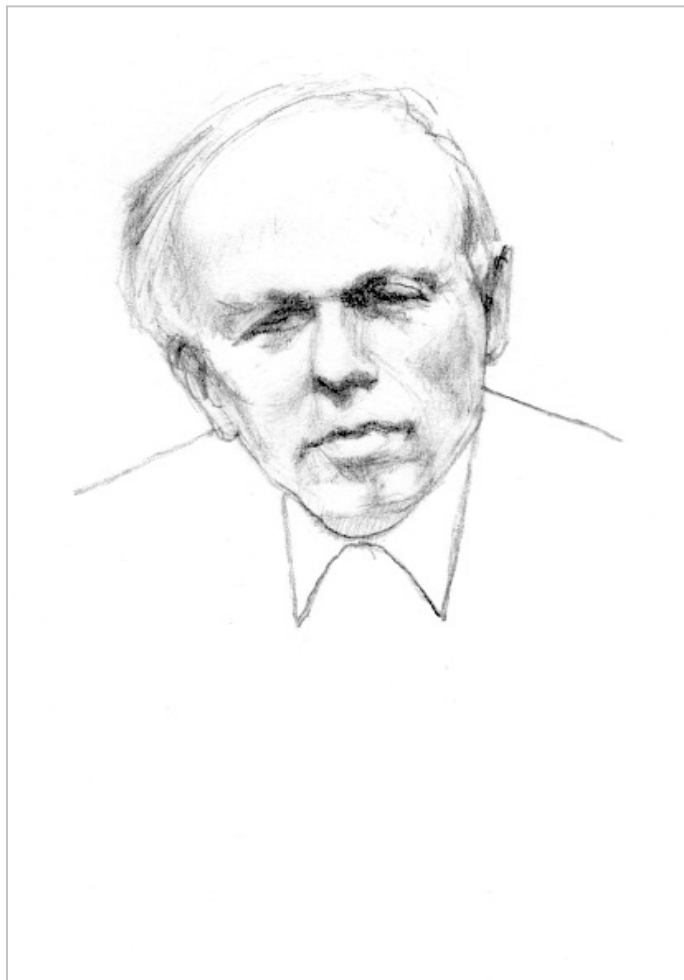
1964, 1968



- 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.



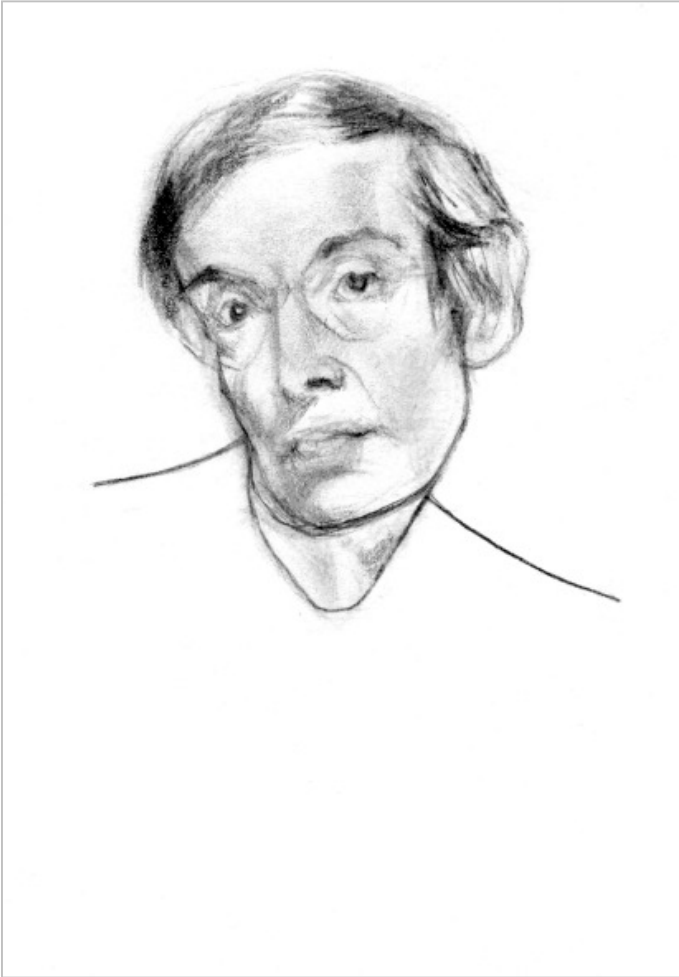
- Sformułował (1969) „paradoks horyzontu”.

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.



- 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  $10^{-12}$ .



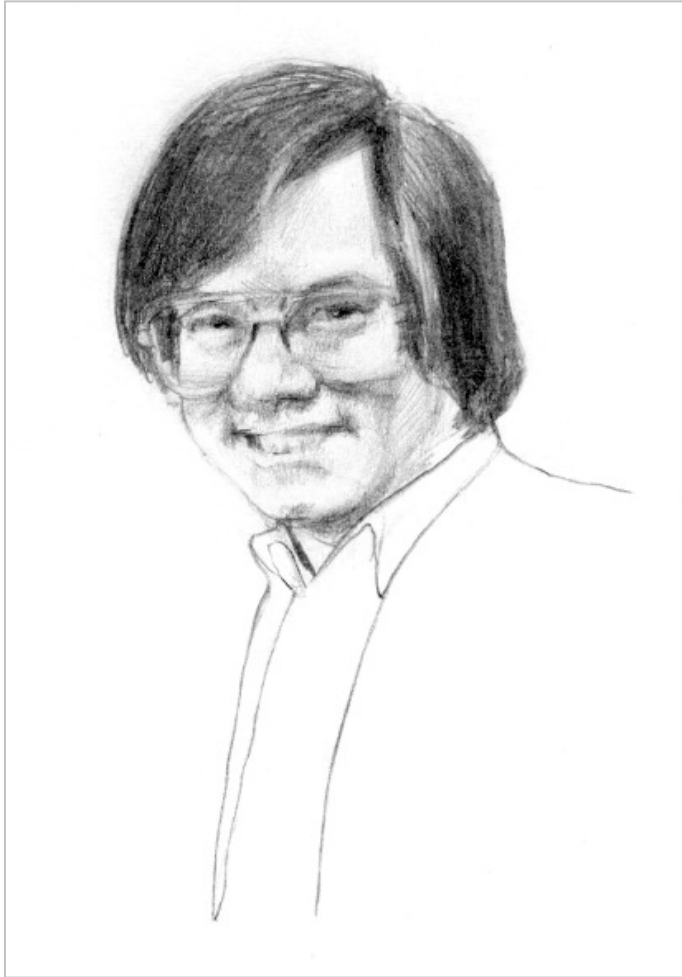
- W 1974 Russell Hulse (będąc studentem Taylora) odkrył podwójnego pulsara, za co obaj otrzymali Nagrodę Nobla z fizyki w 1993.

- 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.”

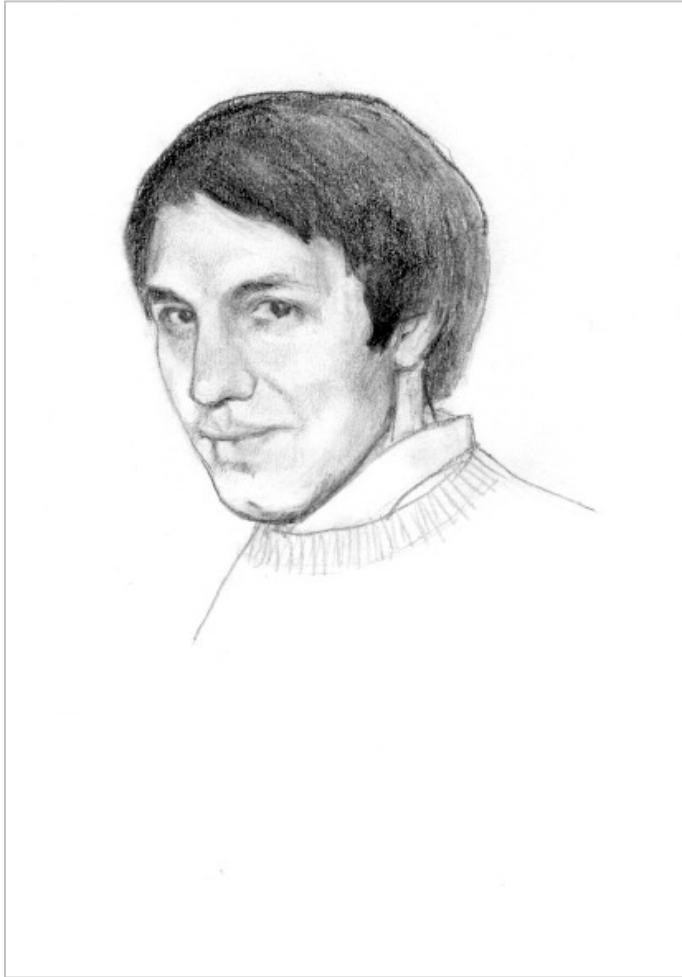
- Vessot i współpracownicy w czerwcu 1976 przeprowadzili test z maserem wodorowym potwierdzający z bardzo dużą dokładnością (0,007%) grawitacyjną dylatację czasu (grawitacyjne poczerwienienie). Test ten nazywany jest też doświadczeniem Vessota-Levine'a. (Martin W. Levine)
- Porównano częstotliwości mikrofalowych 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”.

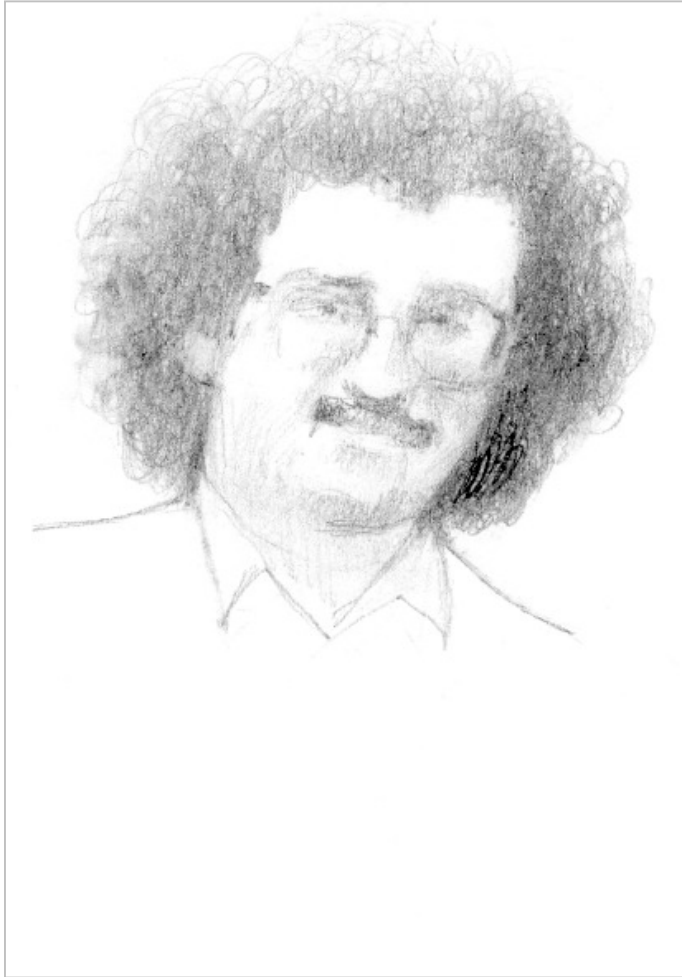
- W 1998 Saul Perlmutter oraz **niezależnie** Brian P. Schmidt i Adam G. Riess odkryli gwałtowny wzrost poczerwienienia światła docierającego do Ziemi z bardzo odległych źródeł.
- Ponieważ uczeni ci są zwolennikami Teorii Wielkiego Wybuchu opartej o kosmologiczne rozwiązanie Friedmana, zinterpretowali 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.

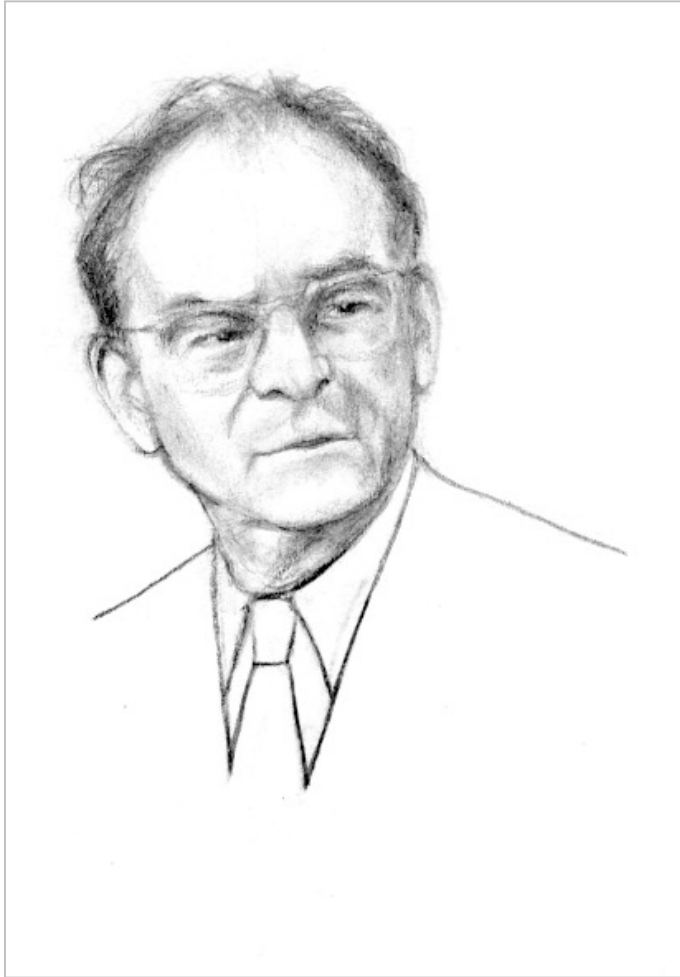
- Na pokładzie satelity znajdowały się cztery kriogeniczne żyroskopy, chociaż tylko jeden z nich był niezbędny. Rotory żyroskopów były kulami o średnicy 38 mm wykonanymi z kwarcu i pokrytymi warstewką niobu, zawieszone były elektrostatycznie.
- W przypadku orbity biegunowej (polarnej) o promieniu 642 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.

# **Tematyka badawcza czołowych relatywistów**

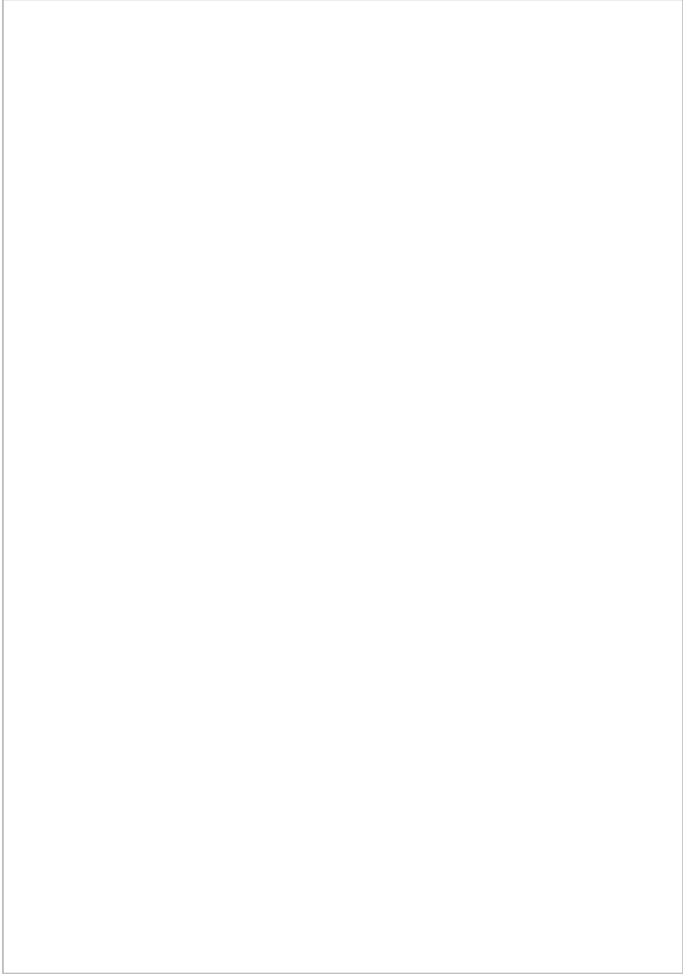
- Badał (1958) problemy związane z wyznaczaniem odległości galaktyk.

- 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.

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

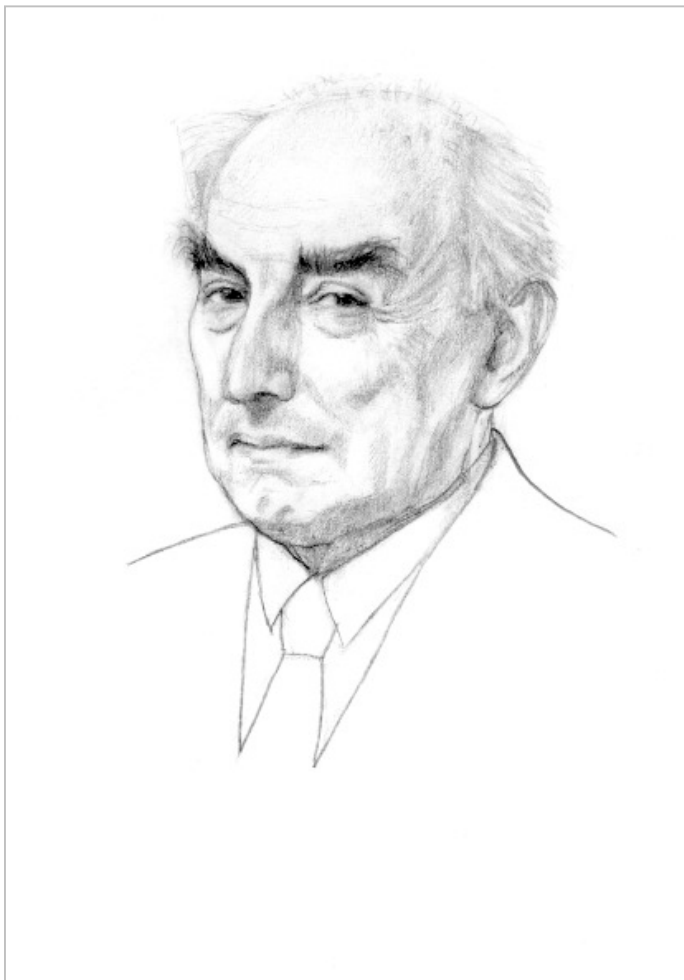


- Poczynając od 1948, badała Einsteinowskie przesunięcie grawitacyjne słonecznych linii widmowych, publikując wyniki w latach 1948, 1952, 1955, 1958 oraz 1959.

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.

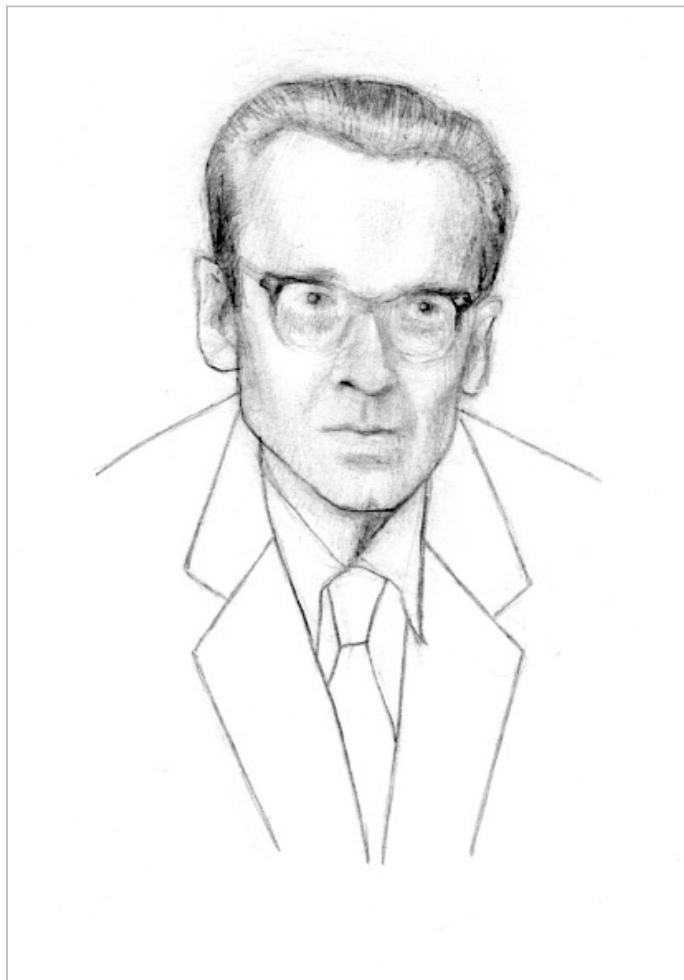
- Badał (1980) relatywistyczne równania ruchu cząstki spinowej.



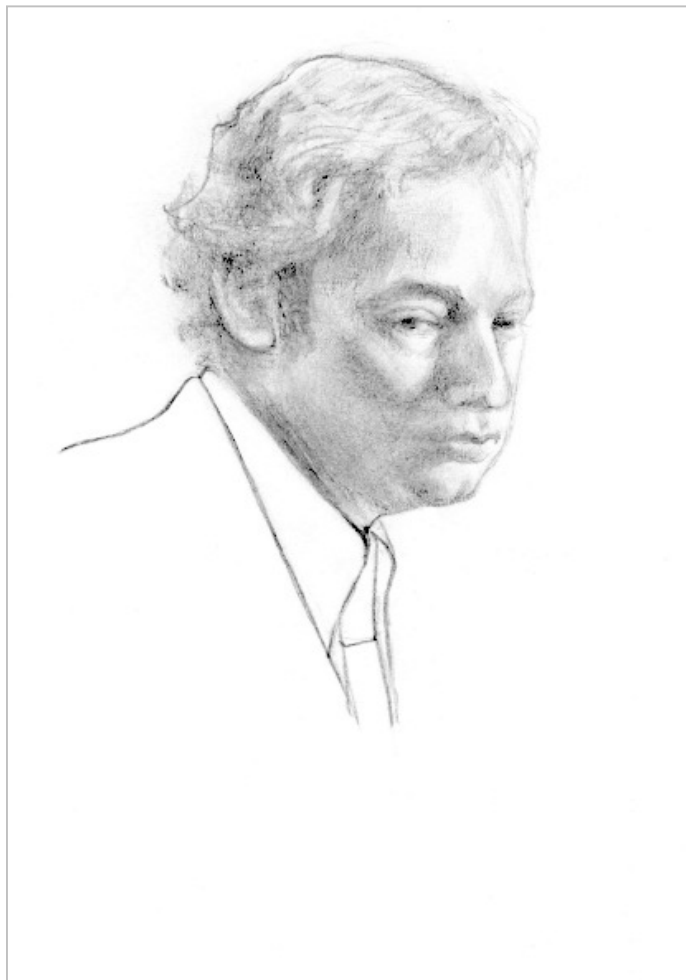
- Poświęcił kilka prac relatywistycznej teorii pola niestabilnych cząstek, relatywistycznej strukturze  $SU(6)$ , relatywistycznej teorii  $U(6, 6)$ , czarnym dziurom oraz teorii Kaluzy-Kleina.



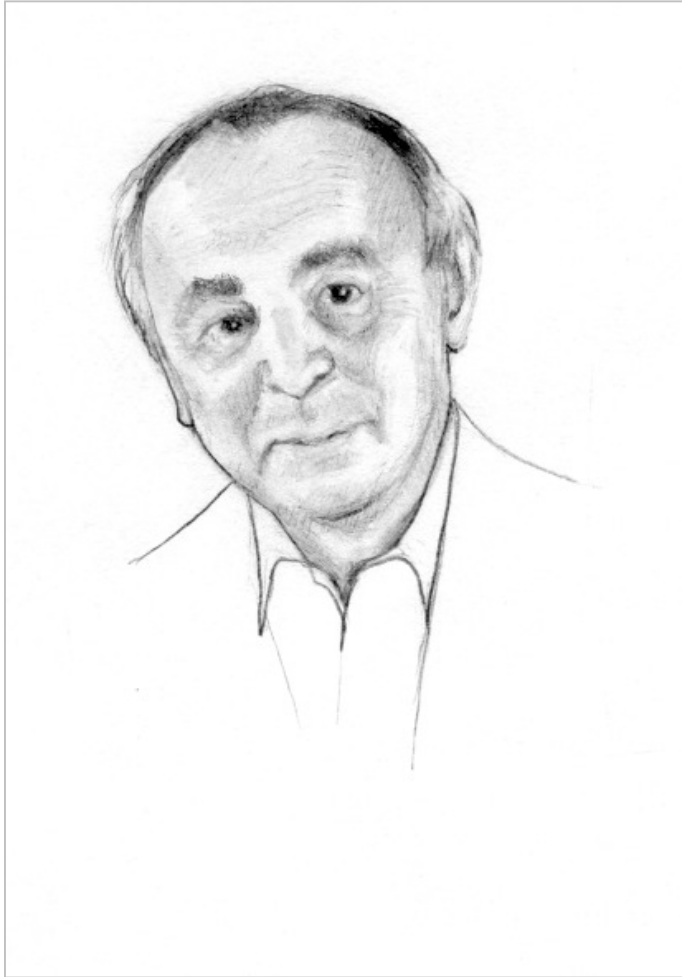
- Przedmiotem jego badań są:
  - Hydrodynamika relatywistyczna
  - Astrofizyka relatywistyczna
  - Kosmologia relatywistyczna



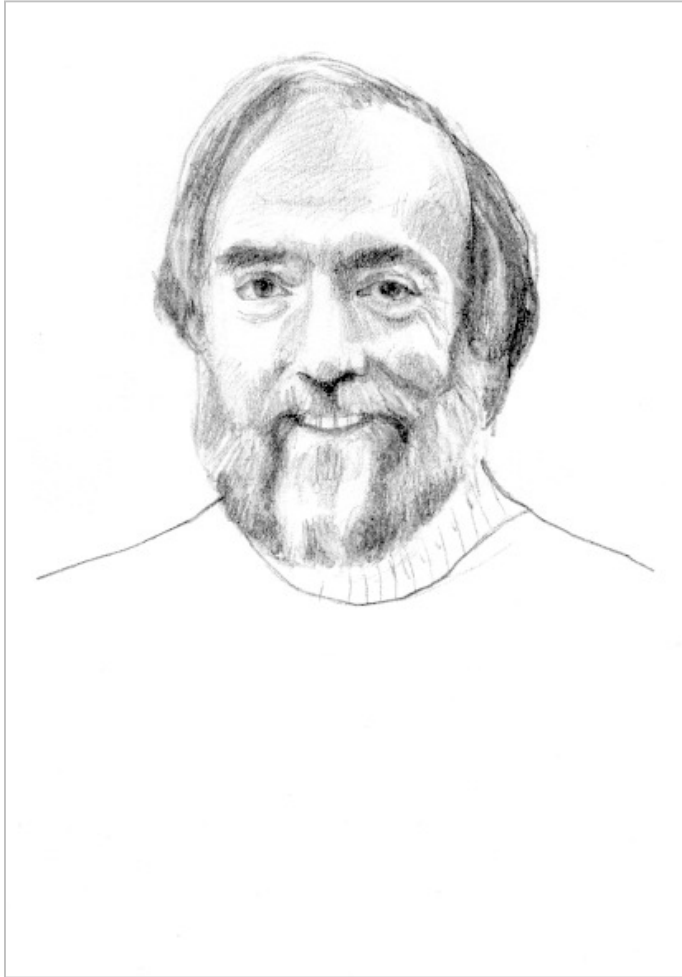
- Przedmiotem jego badań są:
  - Równania ruchu w OTW
  - Fale grawitacyjne
  - Warunki brzegowe w OTW
  - Energia pola grawitacyjnego
  - Prawa zachowania w OTW
  - Struktury czasoprzestrzenne
  - Teoria Einsteina-Cartana
  - Zastosowanie w OTW równań Killinga, algebr Clifforda i spinorów



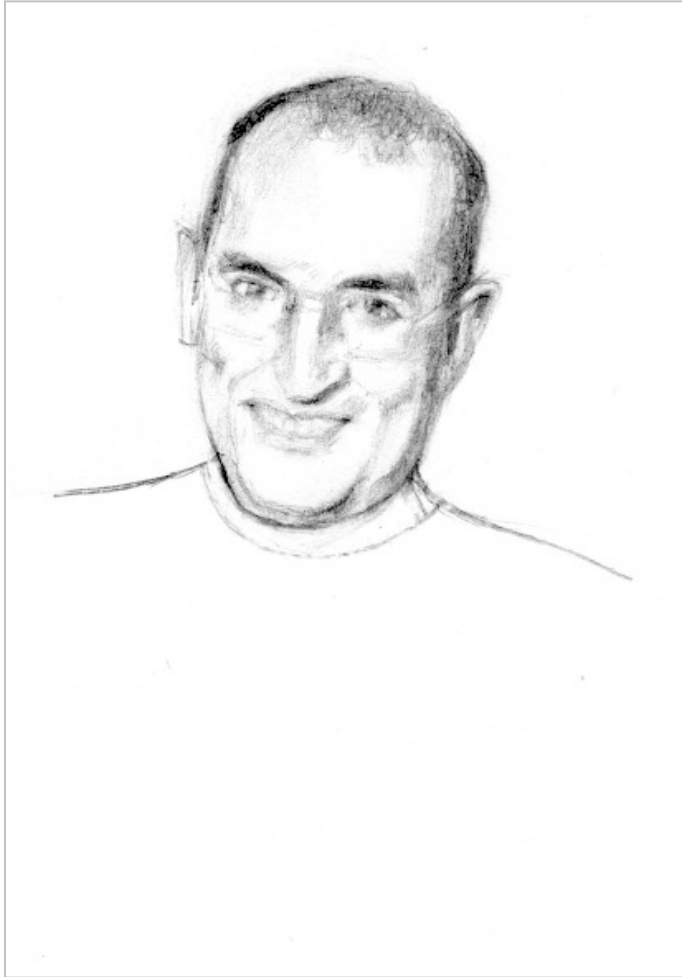
- Poczynając od 1987 bada problemy związane ze stałą kosmologiczną.



- 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