

Fizyka XX wieku

Część 4

Rozwój astronomii i astrofizyki

Cztery stulecia rozwoju astronomii

Kepler



Huygens



Bradley



Herschel



Bessel



Leavitt



prawo
Hubble'a

T-M dla
cefeid

1600

1700

1800

1900

kryształowa
sfera
gwiazd

odległość
Syriusza

aberracja
światła
gwiazd

Układ
Drogi
Mlecznej

paralaksa
gwiazdy

źródło
energii
gwiazd

Wielka Debata



Shapley Curtis



Bethe

COBE

1838 pierwsza paralaksa gwiazdy - 61 Cyg (Bessel)



1846 odkrycie Neptuna
(Leverrier, Galle, Adams)



1912 związek T - M dla cefeid (Leavitt)



1919 odchylenie światła w polu grawitacyjnym



1920 pomiar średnicy gwiazdy (Michelson)



1929 prawo Hubble'a



1930 odkrycie Plutona (Tombaugh)

1930 odkrycie materii międzygwiazdowej (Trumpler)

1932 radioastronomia (Jansky)



1939 cykl CNO we wnętrzach gwiazd (Bethe)



1951 linia 21 cm wodoru (Purcell)
(przewidziana 1944 przez Van de Hulsta)



1963 kwazary (Schmidt)



1965 promieniowanie tła (Penzias i R. Wilson)



1967 pulsary (Hewish, Bell)



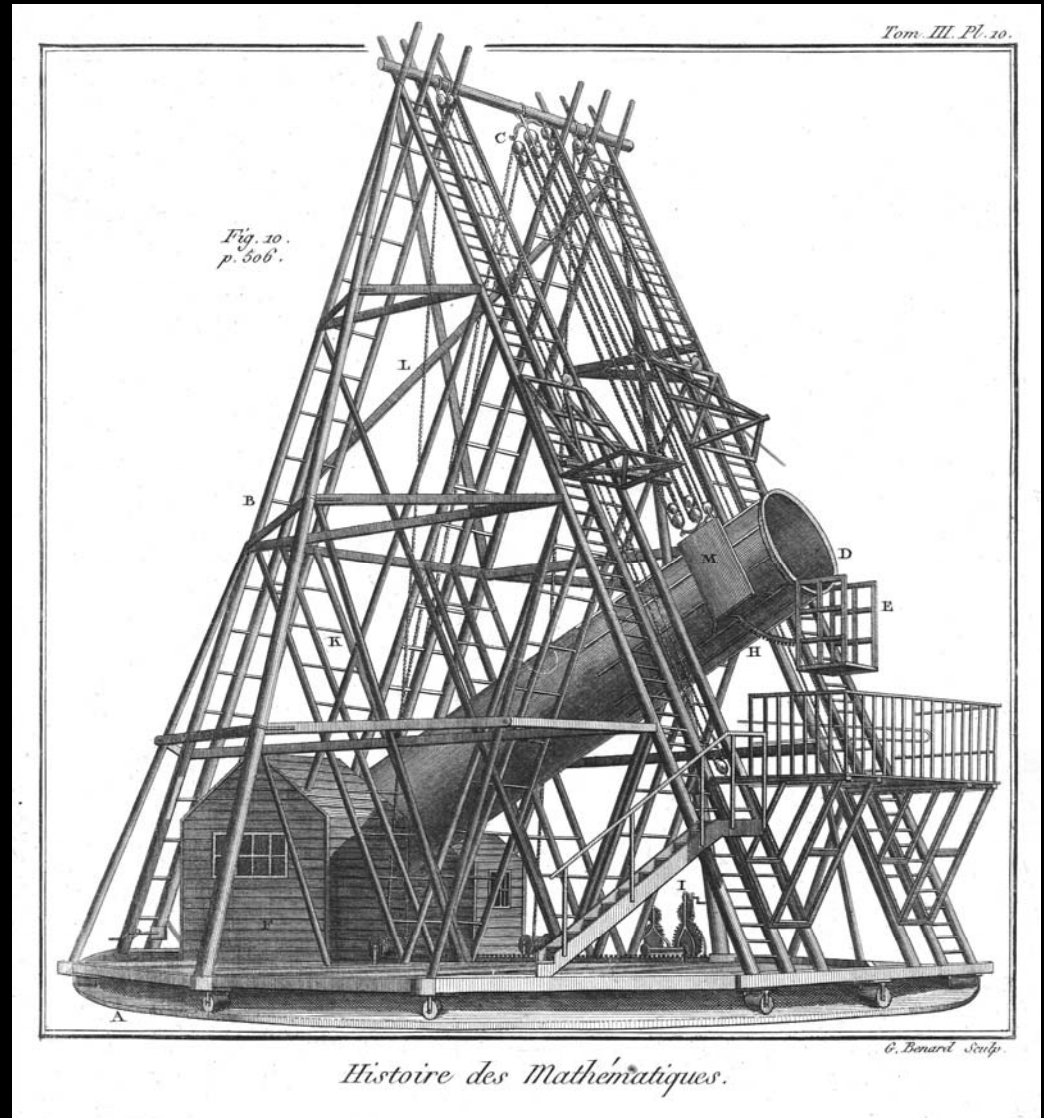
„Pytanie, czy mgławice są galaktykami leżącymi poza Drogą Mleczną nie wymaga już dłużej dyskusji.

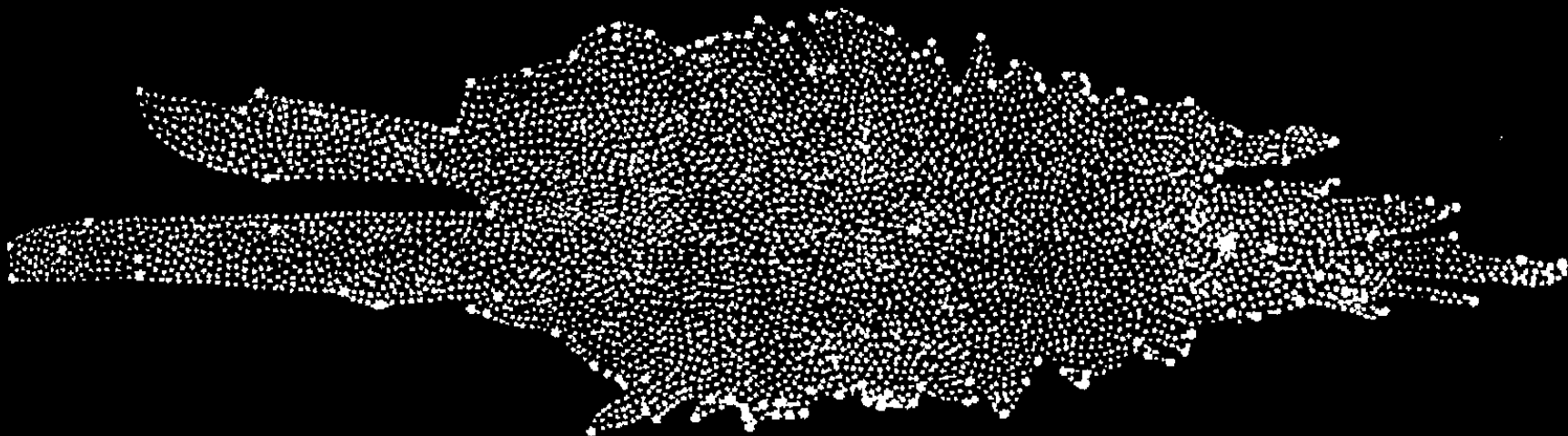
Odpowiedzi dostarczyły postępy naszych odkryć. Można śmiało twierdzić, iż żaden fachowiec rozporządzający całym dostępnym zbiorem danych, nie może już dziś utrzymywać, że jakakolwiek mgławica jest układem gwiazd w rodzaju Drogi Mlecznej. Praktycznie jesteśmy już pewni, że cała zawartość niebios, gwiazdy i mgławice, należą do jednego potężnego zbioru.”



Agnes Clerke - *The System of the Stars* (1890)

William Herschel





W. Herschel, *On the Constitution of the Heavens*, Phil. Trans. **75**, 213 (1785)

Długość naszego spłaszczonego układu gwiazd jest około 800 razy większa od odległości od Słońca do jasnych gwiazd, Syriusza czy Antaresa, a jego grubość jest około 5 razy mniejsza od tej odległości

Założenia Herschela

Co wiemy
teraz

1. Gwiazdy mają jednakową jasność absolutną

fałsz

2. Nie ma absorpcji światła w przestrzeni

fałsz

Zatem wystarczy zastosować prawo $1/r^2$



Friedrich Wilhelm Bessel

paralaksa 61 Cyg = $0,3136 \pm 0,202$ sekund łuku
odległość 657 700 jednostek astronomicznych (1838)

1698 Christiaan Huygens:
Syrjusz w odległości 27664 jednostek astronomicznych



gromady otwarte



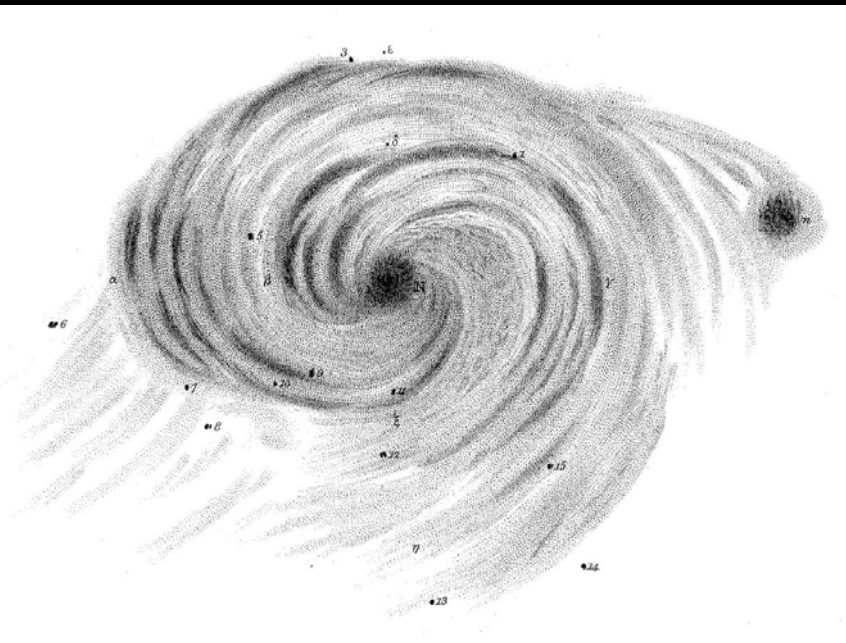
gromady kuliste



mgławice



mgławice spiralne



Galaktyka M 51

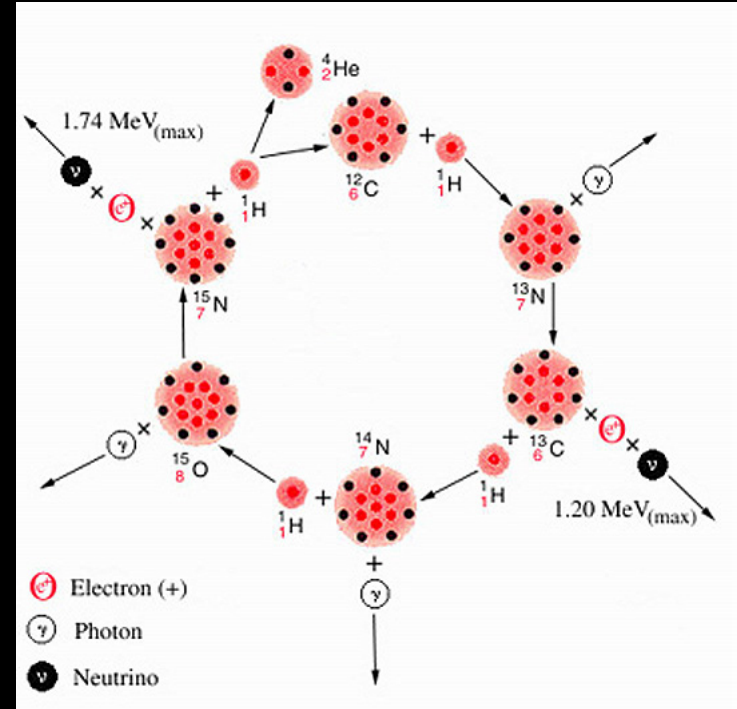
według rysunku
Lorda Rossa (1850)



i współczesnej
fotografii

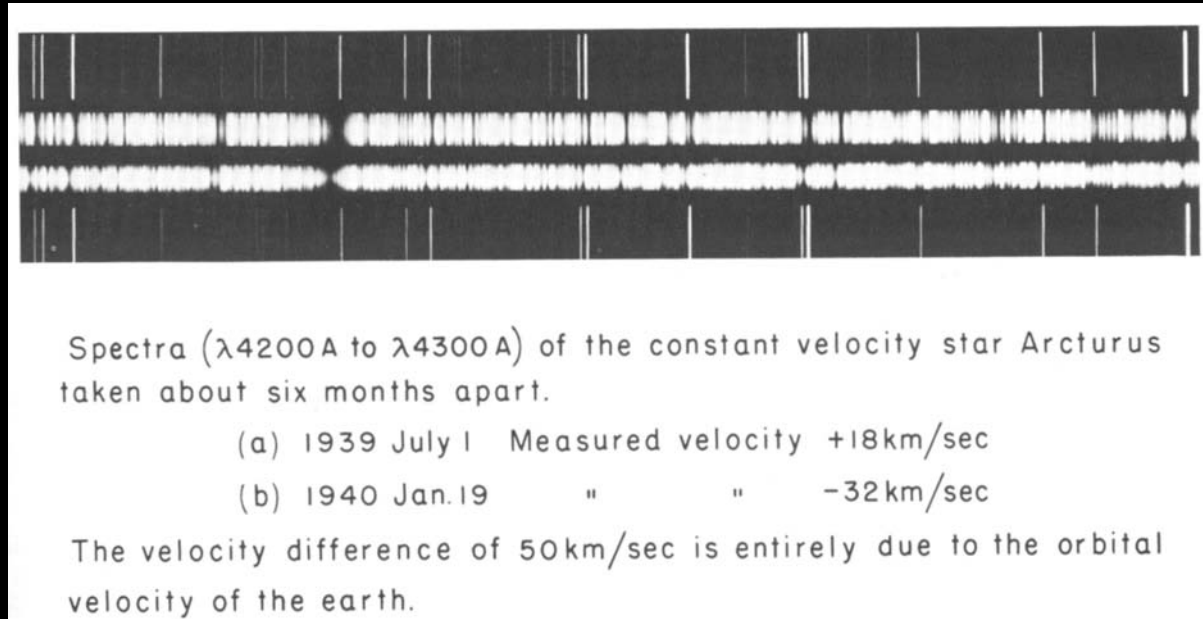
„Wyjaśnienie, które jest obecnie ogólnie przyjęte, zostało pierwszy raz podane przez wielkiego niemieckiego fizyka Hermanna von Helmholtza w popularnym odczycie w 1854 r. Słońce posiada ogromną energię w postaci wzajemnego przyciągania się jego części. Jeżeli z jakiegokolwiek przyczyny się ono kurczy, to pewna ilość energii grawitacyjnej ulega zamianie w inną formę energii. Zatem w kurczeniu się Słońca mamy możliwe źródło energii. Dokładna ilość energii uwolnionej wskutek określonego skurczenia się Słońca zależy od rozkładu w nim gęstości, co pozostaje niepewne. Jednak czyniąc na ten temat rozsądne założenia znajdujemy, że kurczenie potrzebne do podtrzymania energii wysyłanej przez Słońce zmniejszałoby jego średnicę tylko o paręset stóp w ciągu roku, co pozostawałoby niezauważalne przez całe stulecia przy obserwacjach przez obecne teleskopy; tymczasem nie dysponujemy żadnymi wcześniejszymi dostatecznie dokładnymi pomiarami, które mogłyby to wykazać...

Arthur Berry, *A Short History of Astronomy* (1898)



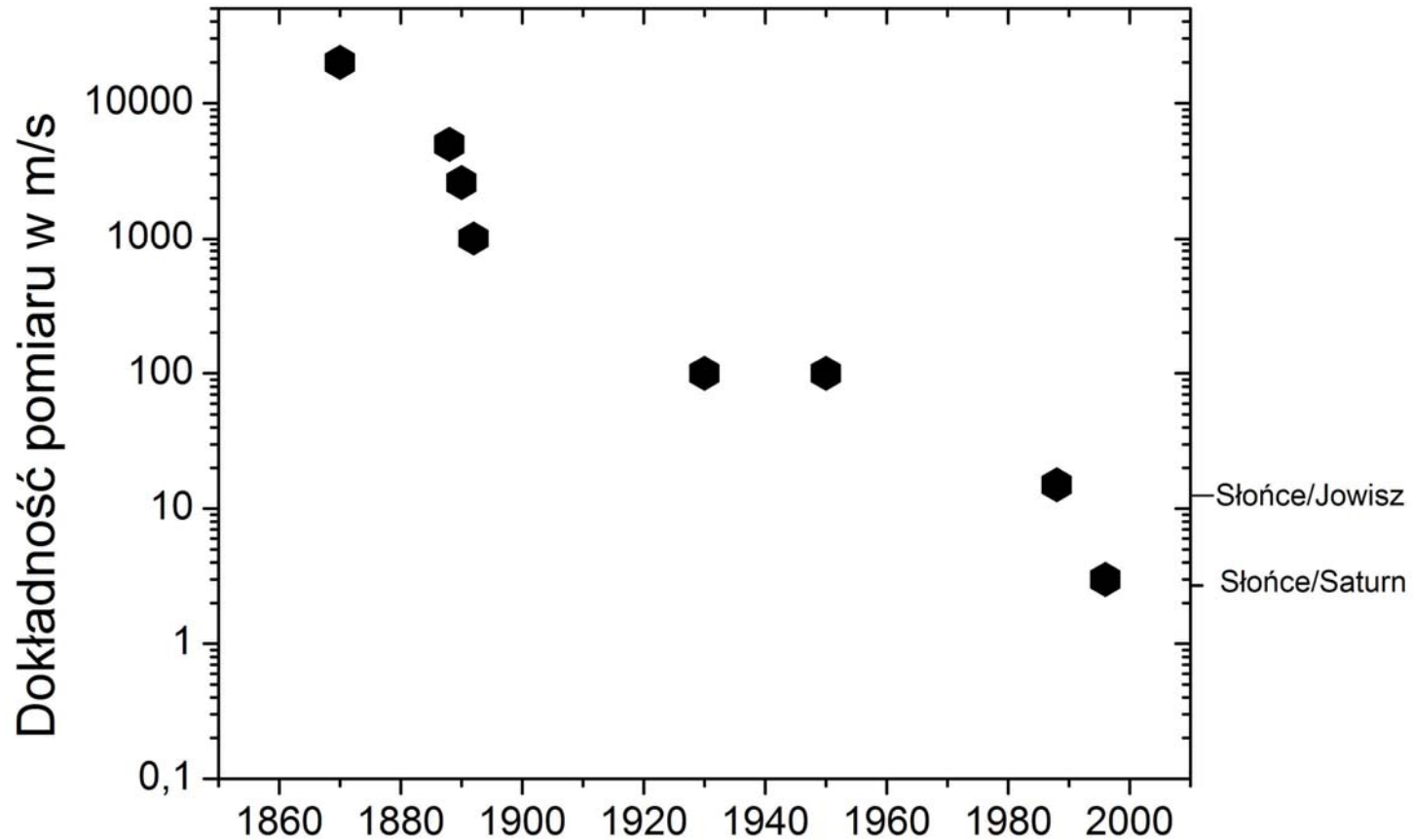
Hans Bethe - Energy
production in stars,
Phys. Rev. 55, 434 (1939)

Rozszerzający się wszechświat

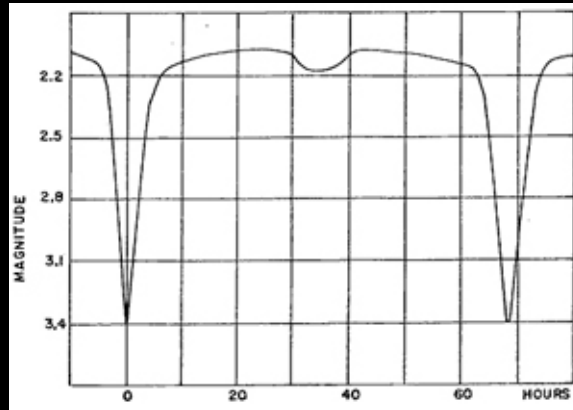


William Huggins (1824-1910)
Pionier badania prędkości radialnych
Syriusz oddala się z prędkością 46 km/s (1868)

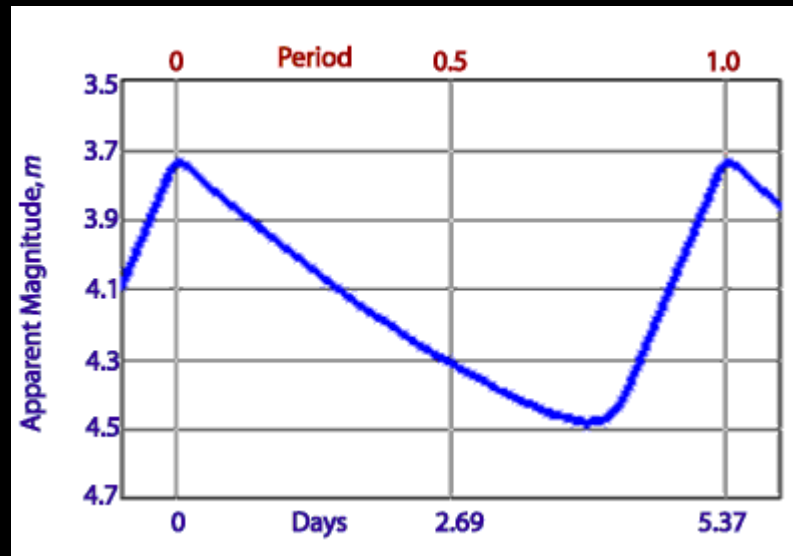
Wzrost dokładności pomiaru prędkości radialnych



Gwiazdy zmienne

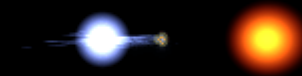
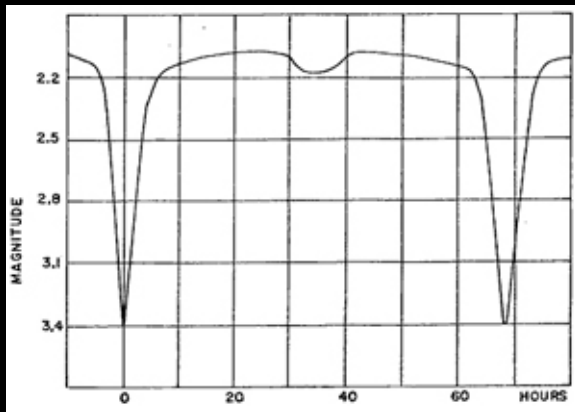


Gwiazdy typu Algola



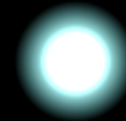
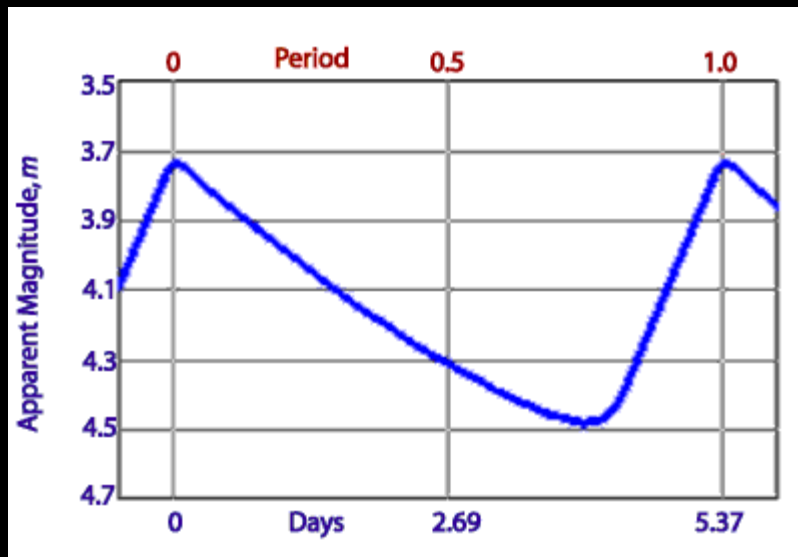
Gwiazdy typu δ Cephei (cefeidy)

Periodyczne zmiany prędkości radialnej Mizara (Pickering) i Algola (Vogel) odkryte w 1889 r., były dowodem, że są to gwiazdy zmienne zaćmieniowe



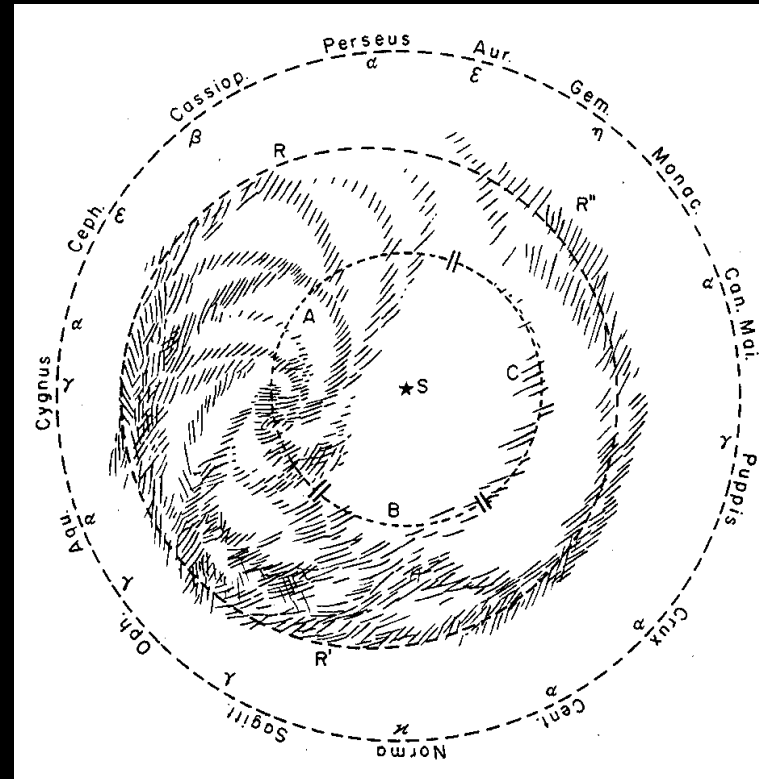
gwiazdy zaćmieniowe
(np. Algol)

Periodyczne zmiany prędkości radialnej δ Cephei, po raz pierwszy zmierzone w 1894 r. przez Biełopolskiego, stanowiły dowód, że zmiany jasności są wynikiem pulsacji radialnych

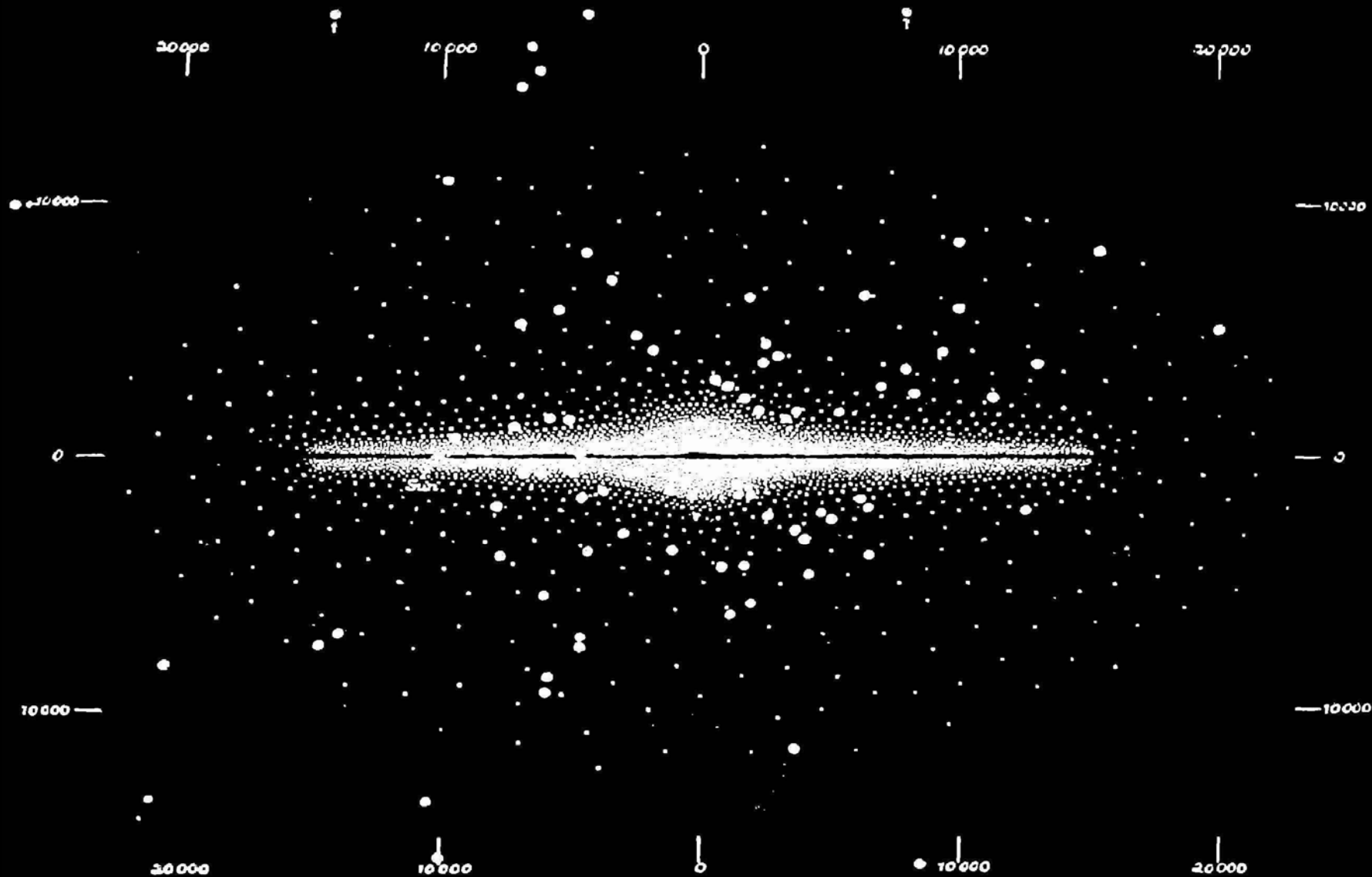


gwiazdy pulsujące – cefeidy (np. δ Cephei)

Pierwszy model naszej
Galaktyki pokazujący jej
spiralne ramiona
(Cornelius Easton, 1900)



Model galaktyki Drogi Mlecznej



Rozmiary układu Drogi Mlecznej w l. św.

| | |
|-------------------------------|----------------|
| William Herschel (1785) | (16000 x 3000) |
| Hugo von Seeliger (1884-1909) | 23000 x 6000 |
| Karl Schwarzschild (1910) | 30000 x 6000 |
| Jacobus Kapteyn(1912) | 55000 x 11000 |
| Harlow Shapley (1917) | 300000 x 30000 |
| obecnie | 98000 x 13000 |

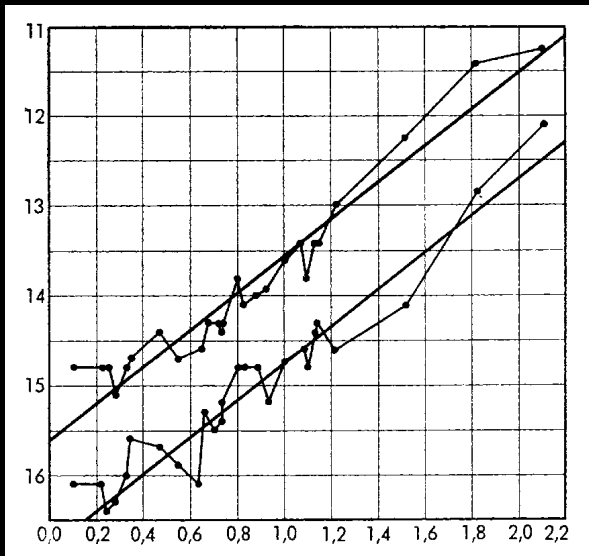
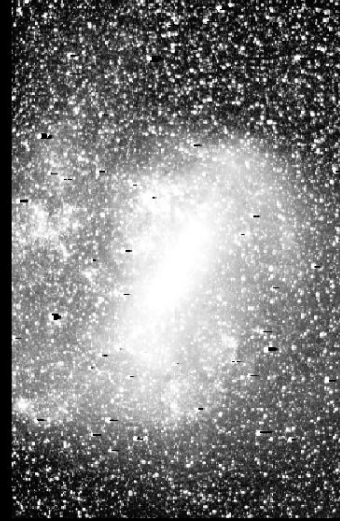


Wielki i Mały Obłok Magellana

Zależność okres - jasność dla cefeid w LMC



Henrietta Swan Leavitt
(1868-1921)



„Ponieważ te gwiazdy zmienne znajdują się przypuszczalnie w niemal jednakowej odległości od Ziemi, więc ich okresy są najwidoczniej skorelowane z rzeczywistą emisją światła, określoną przez ich masę, gęstość i jasność powierzchniową...

Można zauważyć zdumiewającą zależność między długością okresu tych gwiazd zmiennych i ich jasnością.”

Harvard Obs. Circular No. 173

3 III 1912 r.



| Autor | Odległość galaktyki M 31 w l. św. |
|-----------------|-----------------------------------|
| Bohlin (1907) | 19 |
| Very (1911) | 1 600 |
| Curtis (1919) | 500 000 |
| Lundmark (1919) | 650 000 |
| Hubble (1924) | 850 000 |
| Obecnie | 2 000 000 |

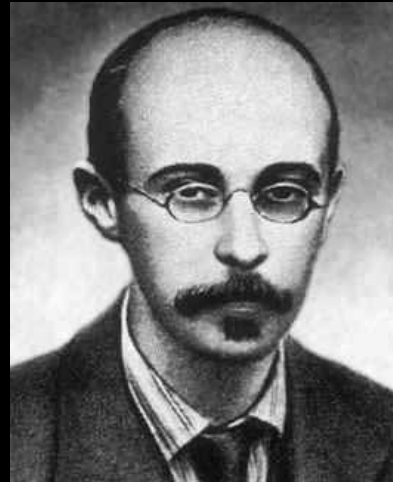
- 1916 Einstein – Ogólna teoria względności
- 1916 Karl Schwarzschild – pierwsze rozwiązanie równań Einsteina (promień Schwarzschilda)
- 1917 Einstein – „stała kosmologiczna” w celu zapewnienia statyczności wszechświata
- 1917 Willem de Sitter – alternatywne rozwiązanie równań Einsteina
- 1919 Obserwacyjne potwierdzenie zakrzywienia toru światła przez Słońce
- 1922 Aleksandr Friedman – rozwiązanie równań Einsteina bez stałej kosmologicznej
- 1928 Georges Lemaître – Hipoteza „Wielkiego Wybuchu”
- 1929 Edwin Hubble – obserwacyjny dowód ekspansji wszechświata



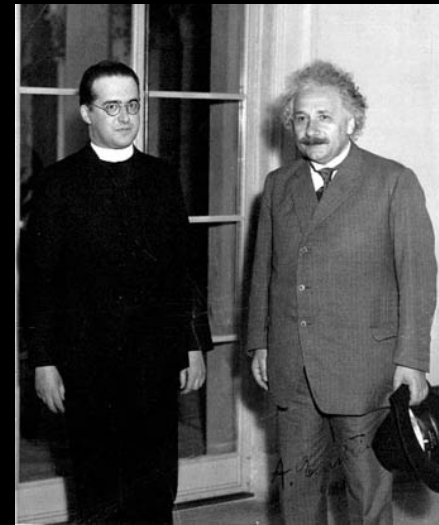
Schwarzschild



de Sitter



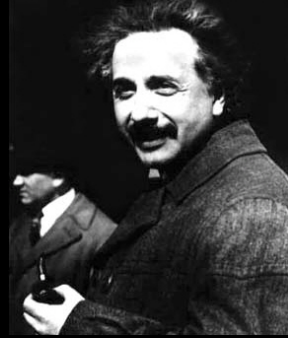
Friedman



Lemaître & Einstein

8 II 1917 r. Einstein: „*Kosmologiczne rozważania nad ogólną teorią względności*” – wprowadzenie „stałej kosmologicznej”

„Jest to wynik logicznie spójny i najprostszy z punktu widzenia ogólnej teorii względności. Nie będziemy tu dyskutować tego, czy jest on do utrzymania w świetle obecnej wiedzy astronomicznej. Aby uzyskać ten wniosek musieliśmy wprowadzić rozszerzenie równań pola grawitacyjnego, którego nie usprawiedliwia obecna znajomość grawitacji. Należy jednak podkreślić, że dodatnią krzywiznę przestrzeni można otrzymać z naszych wyników nawet bez wprowadzania tego dodatkowego członu. Jest on potrzebny tylko aby uzyskać kwazistatyczny rozkład materii, który wynika z niewielkich prędkości gwiazd.”



Prawa fizyki są takie same dla
wszystkich obserwatorów (1916)

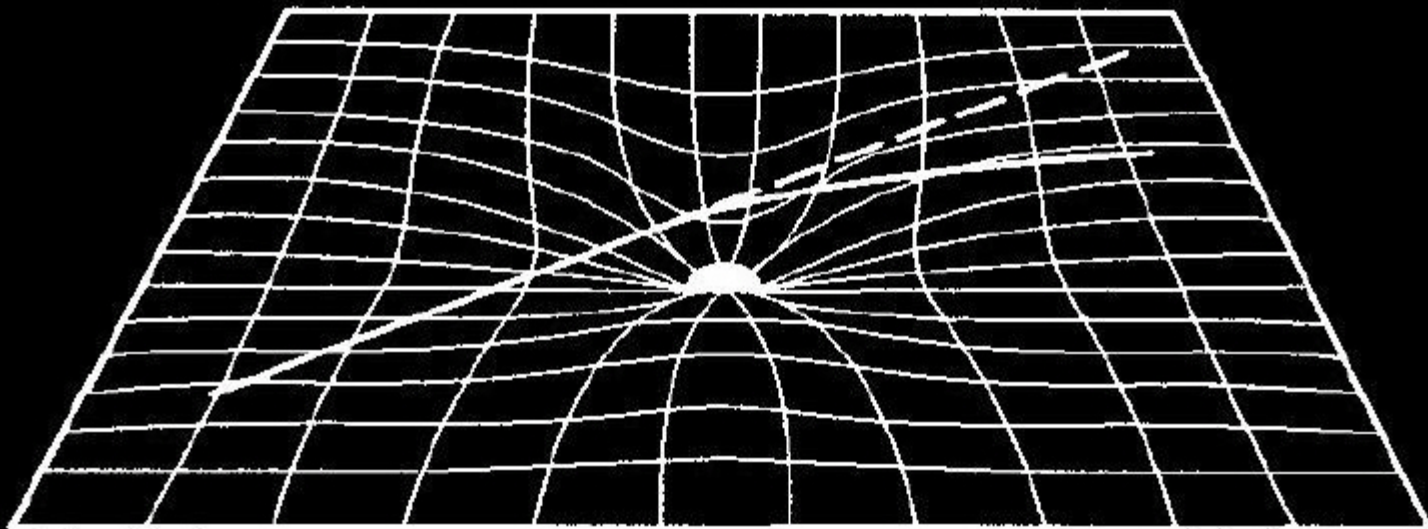
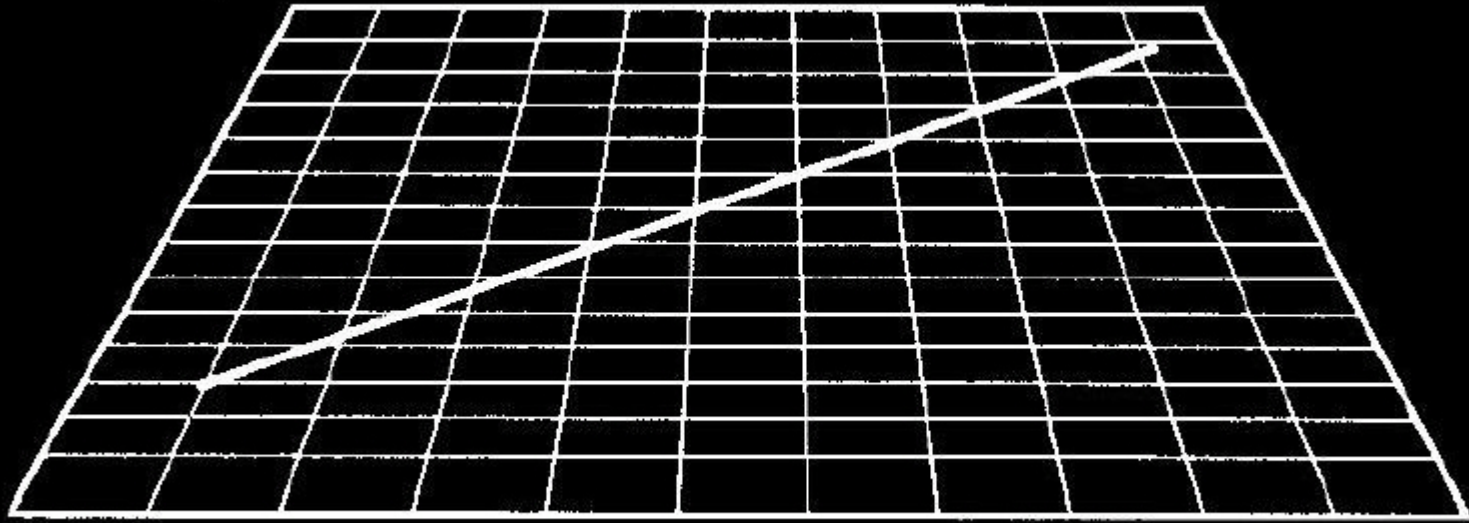
Postulat Einsteina w Ogólnej Teorii Względności

Niektórzy fizycy, wśród nich nawet tak sławni jak Oliver Lodge, narzekali na bardzo skomplikowaną stronę matematyczną ogólnej teorii względności.

Niestety, wkrótce ta matematyka stała się zasłoną dymną, za która wielu uczonych starało się ukryć niezdolność wyjaśnienia podstaw tej teorii szerszej publiczności, a także swój własny brak zrozumienia nowych pojęć.

To spowodowało, że rozpowszechniło się przekonanie, iż teoria względności może być zrozumiała tylko dla garstki wybranych fizyków

Dwuwymiarowe wyjaśnienie zakrzywienia przestrzeni



Przewidywania Ogólnej Teorii Względności:

Ruch perihelium Merkurego

Odchylenie promienia światła w polu grawitacyjnym

Przesunięcie ku czerwieni linii widmowych w polu grawitacyjnym

Ruch perihelium Merkurego w sekundach łuku na stulecie

5599,74 ± 0,41

sumaryczne przesunięcie

5025,64 ± 0,50

precesja astronomiczna

531,54 ± 0,68

znane perturbacje od planet

(277,856 Wenus; 153,584 Jowisz; 90,038 Ziemia; 7,3 Saturn)

5557,18 ± 0,85

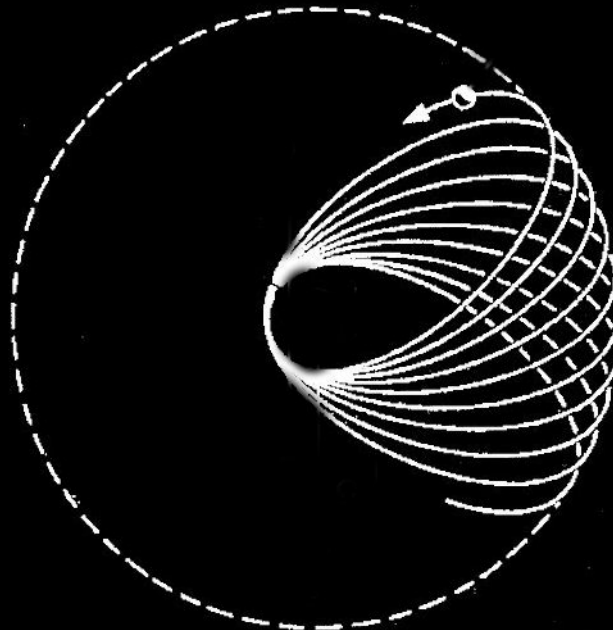
całkowite przewidywanie teorii Newtona

42,56 ± 0,94

nadwyżka obserwacji nad teorią klasyczną

43,03 ± 0,03

przewidywanie Ogólnej Teorii Względności



THE ADVANCE OF THE PERIHELION OF MERCURY ACCORDING TO NEWTONIAN THEORY

| Due to | Venus | Earth | Mars | Jupiter | Saturn | Uranus | Neptune | Total per Century |
|--------------|----------|---------|--------|----------|--------|--------|---------|-------------------------|
| <i>a</i> ... | +276".41 | +90".09 | +2".47 | +152".98 | +7".26 | +0".15 | +0".04 | 529".40 |
| <i>b</i> ... | +276.29 | +90.03 | +2.48 | +152.98 | +7.26 | +0.14 | +0.04 | 529.22 |
| <i>c</i> ... | +276.28 | +90.04 | +2.47 | +152.98 | +7.26 | +0.14 | +0.04 | 529.21 |

a, Le Verrier 1859; *b*, Newcomb 1886; *c*, Doolittle 1912.

Observed Calculated
 572".70 — 529".21 = 43".49 = Discrepancy by Newtonian law.

From general relativity the advance =

$$2 r^3 \frac{a^2}{T^2 c^2 (1 - e^2)} = 42".9 \text{ per century}$$

r = mean distance from the Sun.

a = semi-major axis of orbit.

T = period.

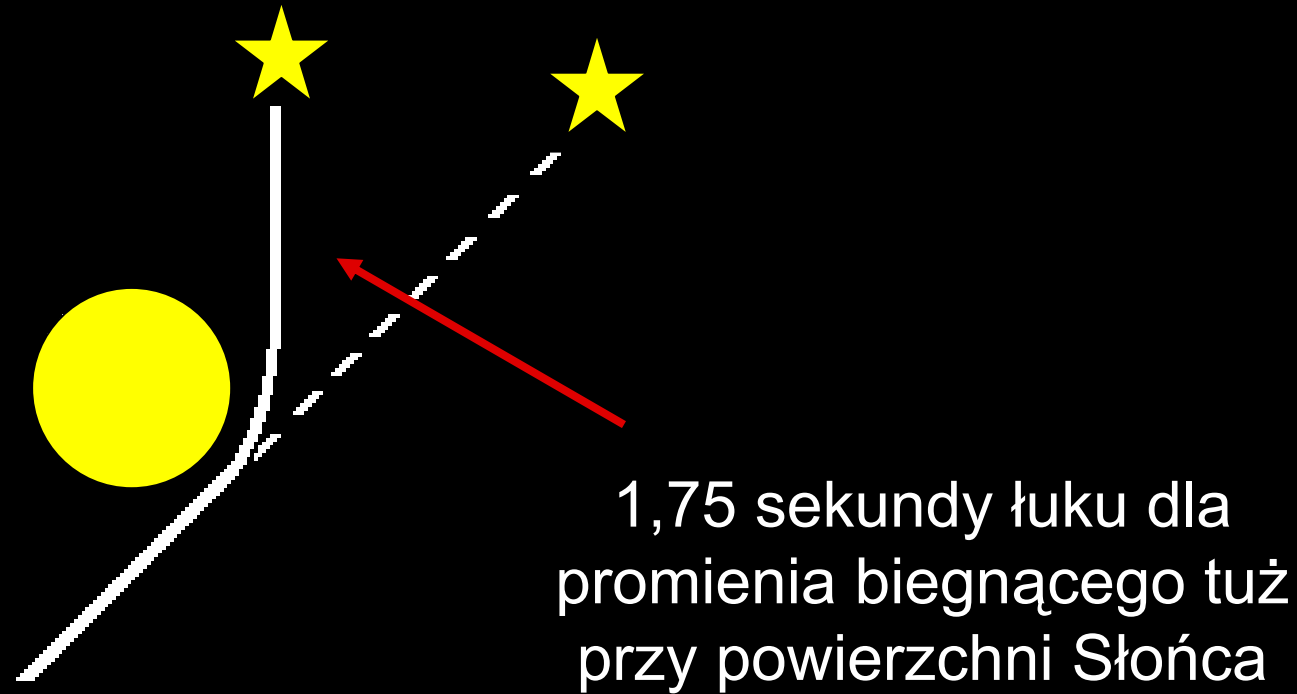
c = velocity of light.

e = eccentricity of the orbit.

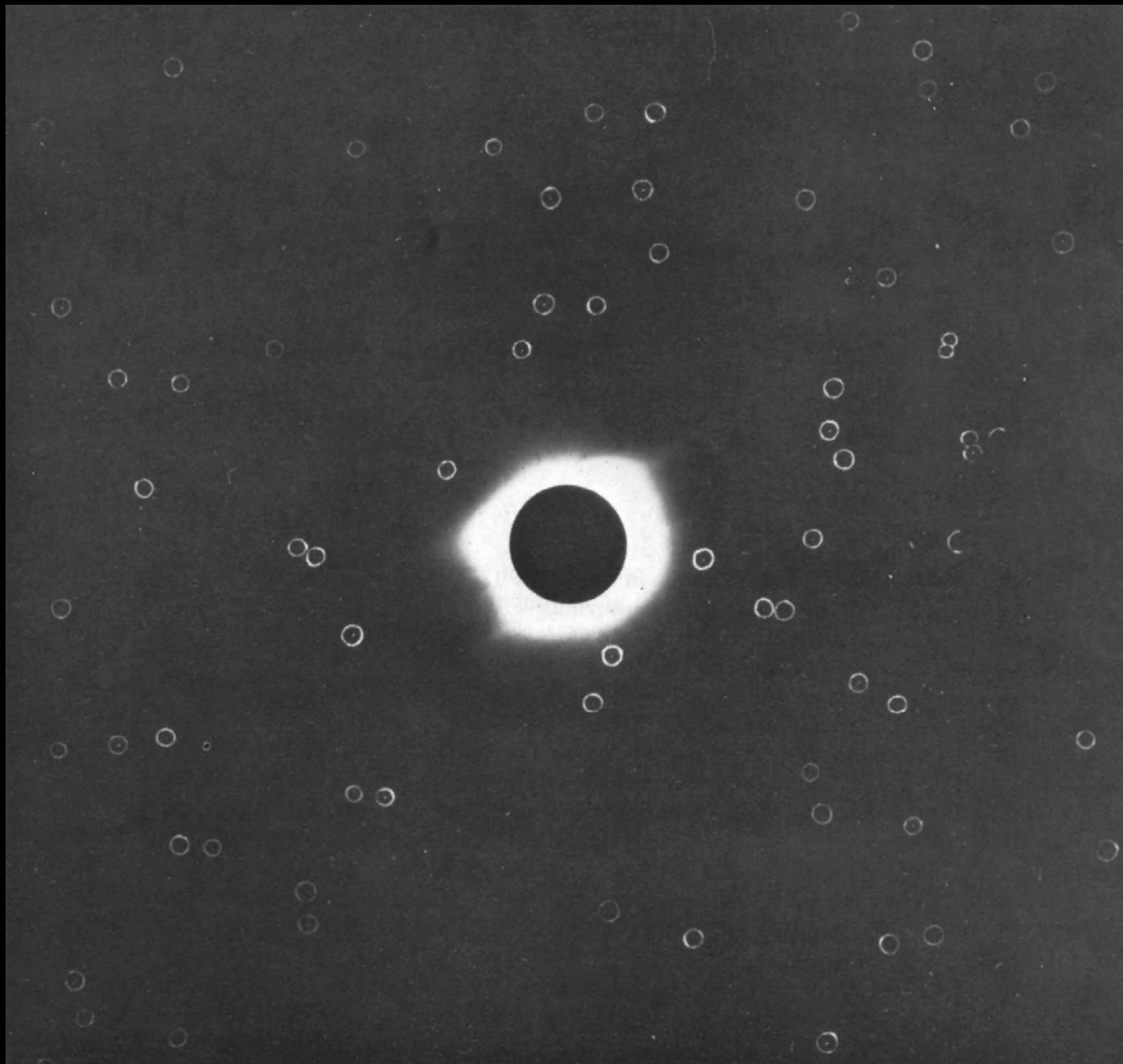
Inne próby wyjaśnienia nadwyżki (w ramach fizyki klasycznej)

- | | |
|---|---|
| 1. Planeta intermerkurialna – Wulkan | nie znaleziono |
| 2. Spłaszczenie Słońca | nie obserwowano |
| 3. Materia międzyplanetarna w bliskim sąsiedztwie Słońca | wykluczone ze względu na sporo innych efektów |

Odchylenie światła w polu grawitacyjnym



Pierwsze potwierdzenie - obserwacje położenia gwiazd podczas całkowitego zaćmienia Słońca w 1919 r.



Light deflection

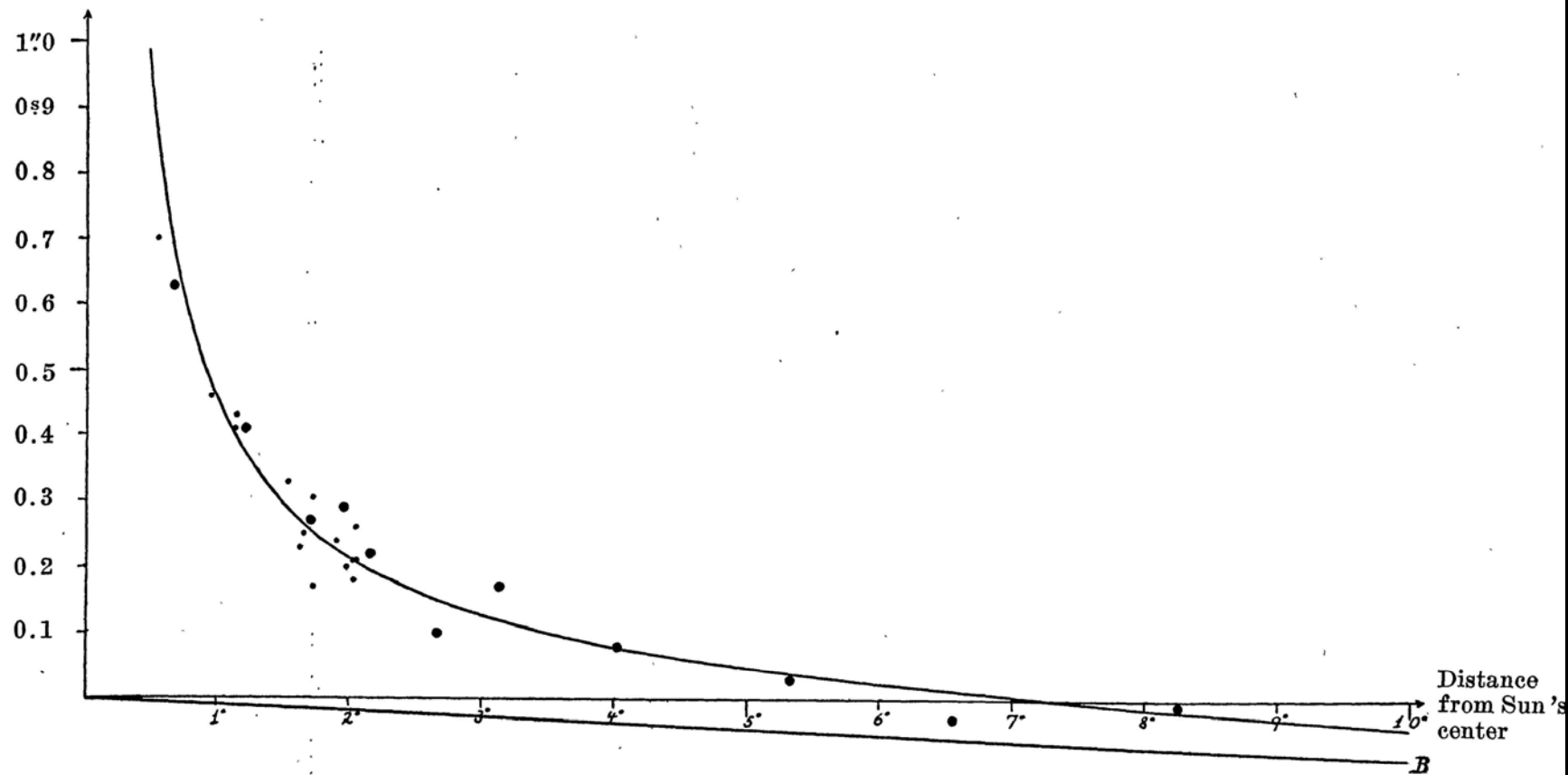


FIGURE 1.

Radial components of observed light deflections compared with Einstein's theory.

OBSERVED LIGHT DEFLECTION AT THE SUN'S LIMB

| Date | Station | Fo- cus | No. of Plates | No. of Stars | Observed Deflection | Observers | |
|-------------|--------------------|------------|---------------------|--------------------|------------------------|---|---|
| 1919 | | | | | | | |
| May 29 .. | Sobral | 19 ft. | 7 | 7 | 1.98 ± 0.12 pe | { Dyson Davidson Eddington | |
| | Sobral | 11 | 16* | 6-12 | $(0.86) \pm .1$ pe | | |
| | Principe | 11 | 2 | 5 | $1.61 \pm .3$ pe | | |
| 1922 | | | | | | | |
| Sept. 21 .. | Wallal | 10 | 2 | 18 | $1.74 \pm .3$ pe | { Chant Young | |
| | Wallal | 15 | 4 | 62-85 | $1.72 \pm .11$ pe | | |
| | | 5 | 6 | 134-143 | $1.82 \pm .15$ pe | | |
| | Cordillo- Downs | 5 | 2 | 14 | $1.77 \pm .3$ pe | { Dodwell Davidson | |
| 1929 | | | | | | | |
| May 9 .. | Takengon | 28 ft. | 4 | 17-18 | $2.24 \pm .10$ me | { Freundlich von Klüber von Brunn | |
| | | | | | $1.75 \pm .13$ pe | | { Trumpler's reduction of Potsdam Measures |
| | | | | | $1.98 \pm .14$ me | | |

* Poor focus caused by distortion of the mirrors.

REVOLUTION IN SCIENCE

NEW THEORY OF THE UNIVERSE.

NEWTONIAN IDEAS OVERTHROWN.

Yesterday afternoon in the rooms of the Royal Society, at a joint session of the Royal Astronomical Societies, the results of the observations of the total solar

SIR O. LODGE ON EINSTEIN'S THEORY.

"A TERRIBLE TIME" FOR PHYSICISTS

Before an interested company, which included a number of physicists and astronomers, Sir Oliver Lodge lectured on Einstein's predictions, at the residence of Lord Glenconner, No. 31, Queen Anne's-gate, Westminster, last night.

Among those present were the Bishop of London, Mr. Balfour, Lord Glenconner, Lord Dunraven, Lord Lytton, Lord Haldane, Sir Robert Hadfield, Mr. Robert Hudson, Sir Rider Haggard, Francis Youngusband, Sir R. A. Gregory, Mr. Schuster, Mr. H. A. L. Fisher (President of Board of Education), Sir George Bellby, Mr. Tennant, Professor Darwin, Professor Eccles, George Downman, Mr. Robert Mond, Sir Archibald Geikie, Principal Skinner, Canon E. W. Barr, John B. Kettle, Sir Martin Conway, and Sir J. Paget.

... had been by the time that lamentable test, as a astry y acc

THE REVOLUTION IN SCIENCE.

EINSTEIN V. NEWTON.

VIEWS OF EMINENT PHYSICISTS.

Wide interest in popular as well as in scientific circles has been created by the discussion which took place at the rooms of the Royal Society on Thursday afternoon on the results of the British expedition to Brazil to observe the eclipse of the sun on May 29. (These were referred to in an interview with Sir Frank Dyson, the Astronomer Royal, which appeared in *The Times* of September 9.) The subject was a lively topic of conversation in the House of Commons yesterday, and Sir Joseph Larmor, F.R.S., M.P. for Cambridge University, on arriving at a lecture before the Royal Astronomical Society last evening, said he had been besieged by inquiries as to whether Newton had been cast down and Cambridge "done in."

Mr. C. Davidson, of Greenwich Observatory, one of the astronomers who took the photographs of the sun's eclipse at Sobral, in Northern Brazil, last May, in conversation with a repre-

Sensacyjne doniesienia prasowe (listopad 1919 r.)

W 1924 r. Dayton Miller ogłosił, że udało mu się wykryć ruch Ziemi względem eteru w eksperymencie typu Michelsona-Morleya.

To wpłynęło na pewien zamęt dotyczący teorii względności; jednak wkrótce kilka koncepcyjnie nowych i dokładniejszych eksperymentów (Kennedy & Thorndike - 1932; Ives & Stilwell – 1938) przyniosło jeszcze lepsze potwierdzenie teorii Einsteina, a wynik Millera uznano za skutek błędów w jego analizie doświadczalnej.

[Przegląd: Robertson, *Rev. Mod. Physics* **21**, 378 (1949)]

Rozszerzający się wszechświat



Vesto Melvin Slipher
(1875-1969)

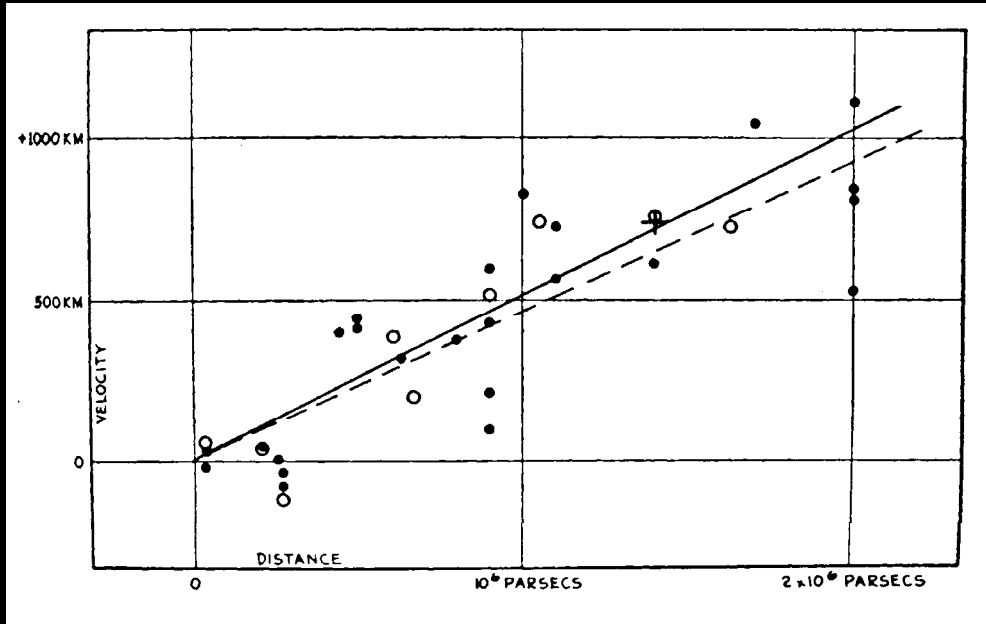


Edwin Hubble
(1889-1953)



Milton Humason
(1891-1972)

Rozszerzający się wszechświat



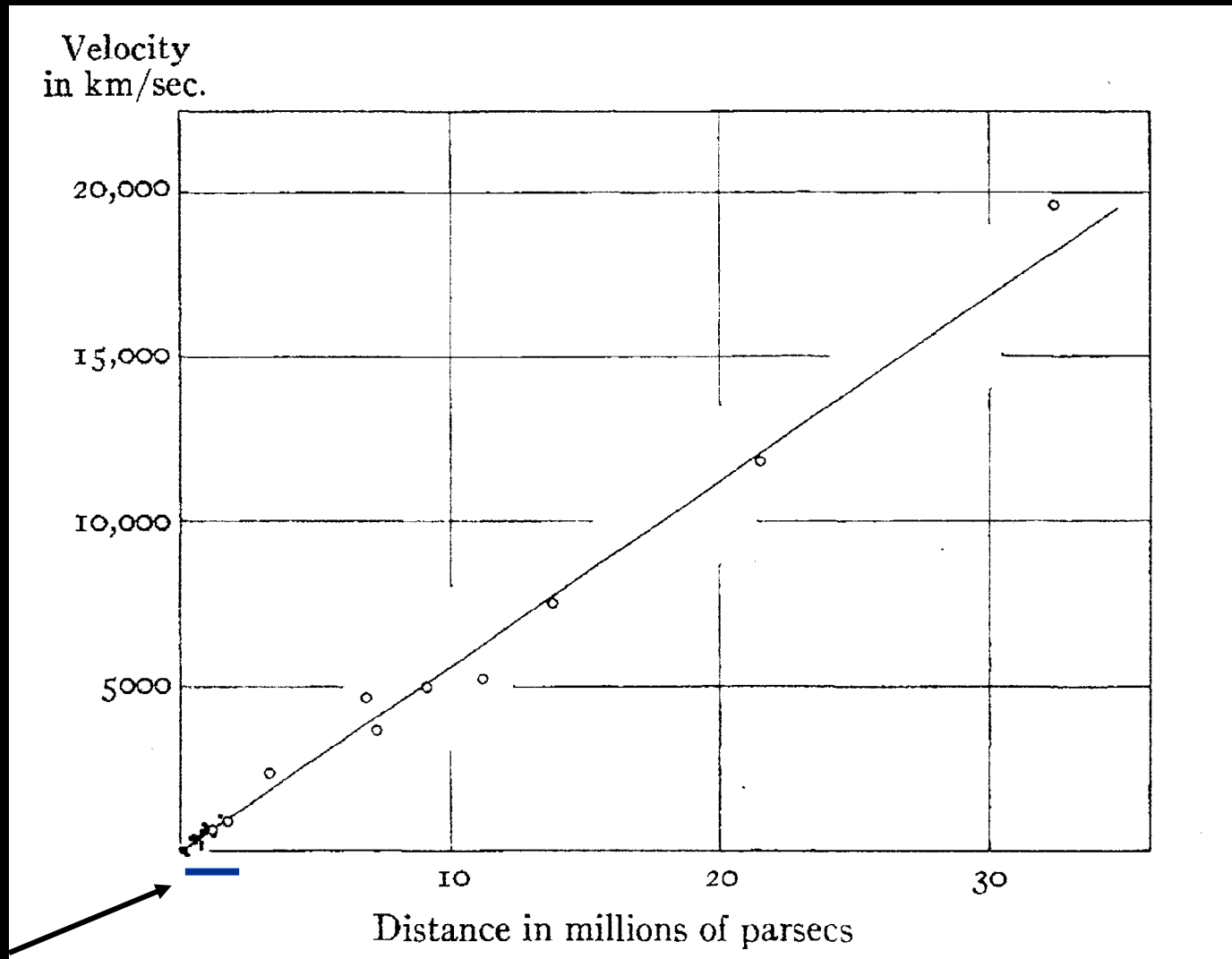
Edwin Hubble - A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae,

Proc. Nat. Acad. Sci. 15, 168 (1929).



„...jest możliwe, że związek prędkość-odległość przedstawia efekt de Sittera, wobec czego dane liczbowe mogą teraz zostać wprowadzone do dyskusji krzywizny przestrzeni.”

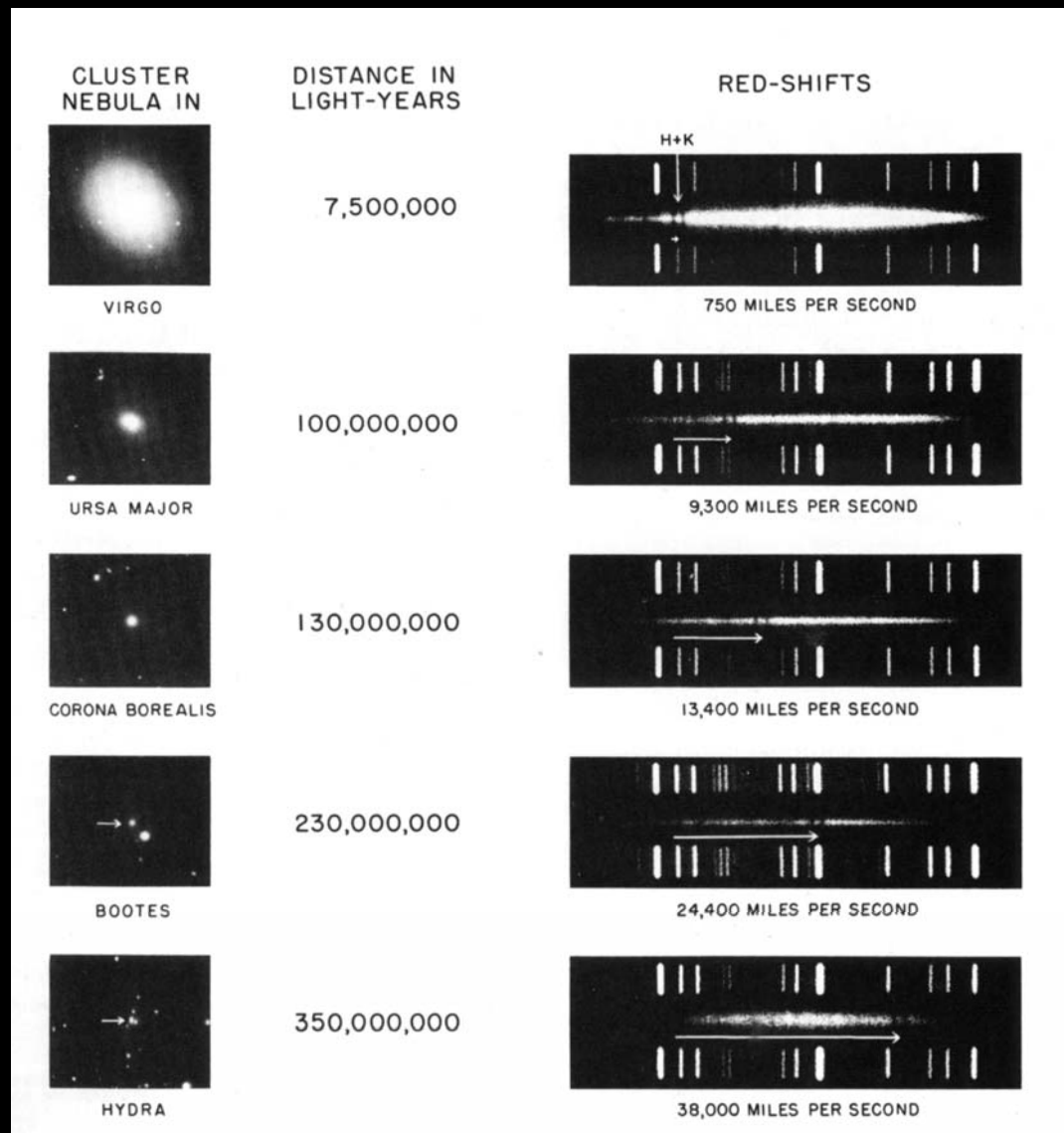
Rozszerzający się wszechświat

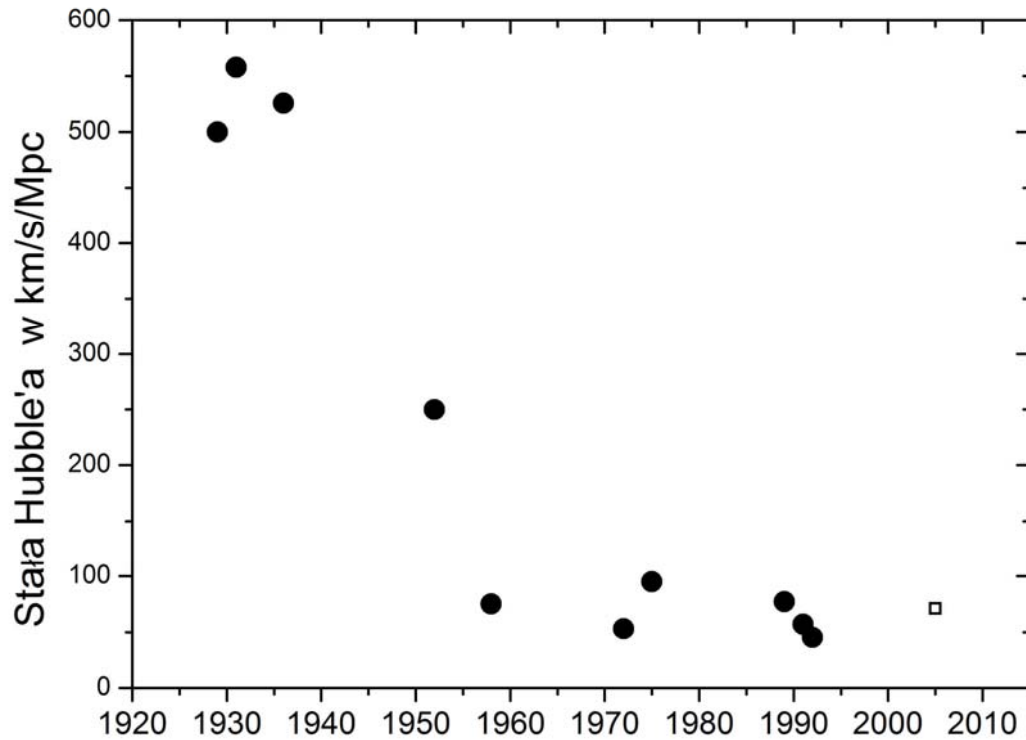


Hubble 1929

Hubble & Humason (1931)

Rozszerzający się wszechświat



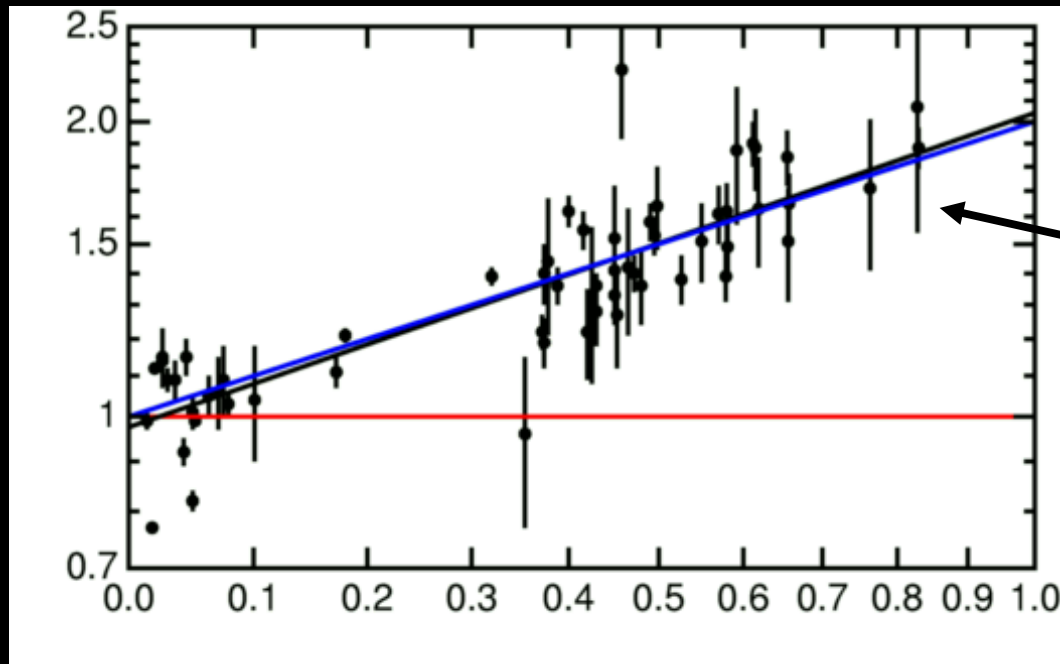


Eliminacja różnych błędów systematycznych powodowała spore zmiany stałej Hubble'a. Obecnie $H = 71 \text{ (km/s)/Mpc} (\pm 5\%)$.

$$H = 2,30 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1} = 7,258 \cdot 10^{-11} \text{ rok}^{-1},$$

→ wiek Hubble'a 13,78 miliardów lat

czynnik szerokości



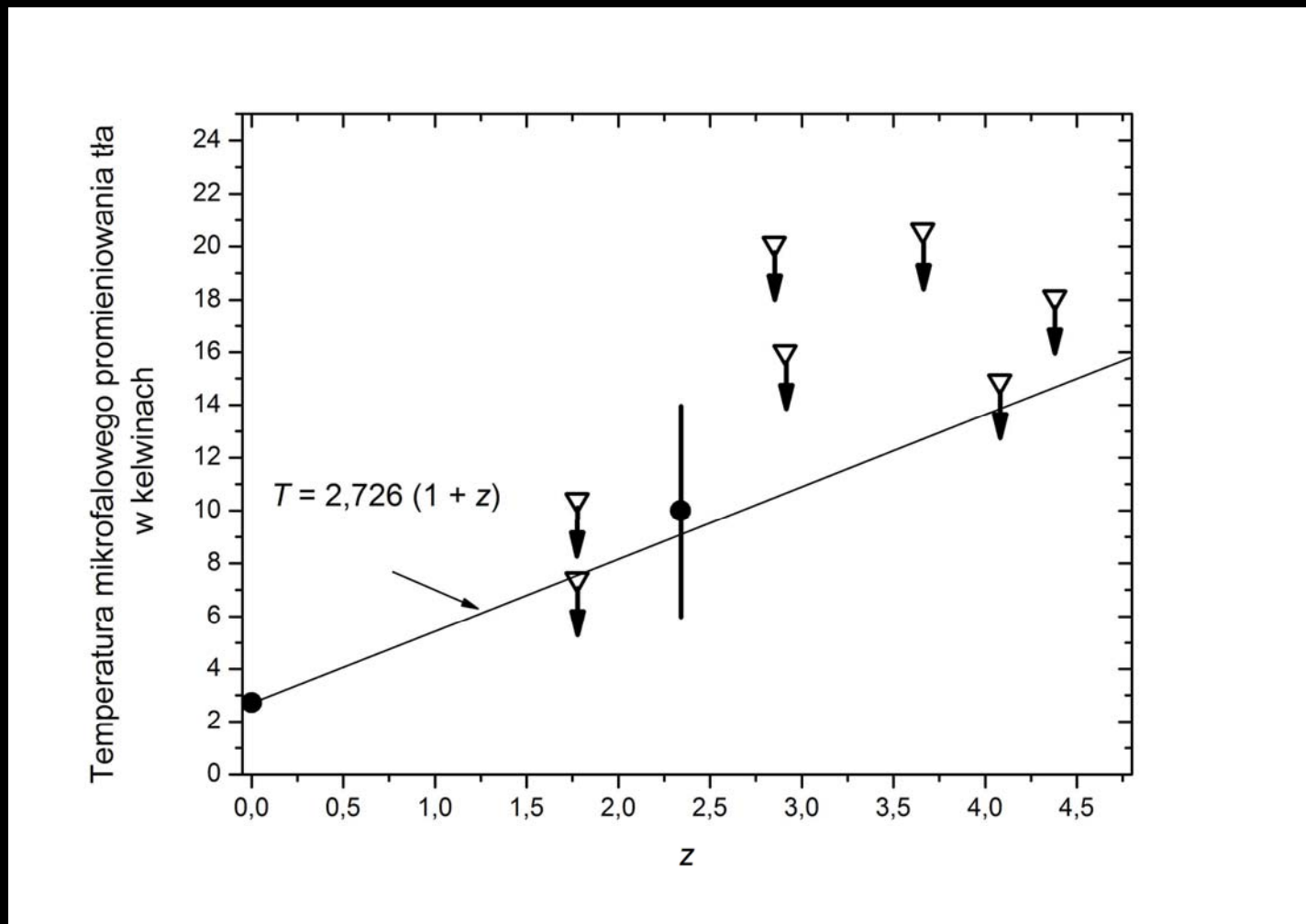
ekspansja
wszechświata

przesunięcie ku czerwieni z

„Interesujące jest, że przesunięcie światła ku czerwieni mierzy ekspansję wszechświata za pomocą „mikroskopowego” zegara o okresie $T \approx 2 \cdot 10^{-15}$ sekundy, natomiast nasze zegary „makroskopowe”, supernowe typu Ia, mierzą ekspansję w czasie około 4 tygodni, $T \approx 2 \cdot 10^6$ sekund. Zatem ekspansja typu $(1 + z)$ jest zgodna z obserwacjami dla dwóch okresów czasu, które różnią się o 21 rzędów wielkości.”

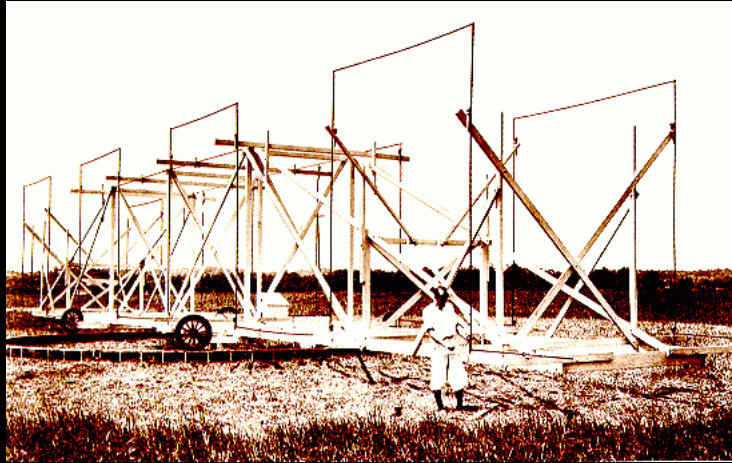
G. Goldhaber i in. (The Supernova Cosmology Project), *Ap. J.* **558**, 338 (2001)

Dowody obserwacyjne ekspansji i ochładzania się wszechświata



R. Srianand, P. Petitjean, C. Ledoux, *Nature* **408**, 931 (2000)

Radioastronomia



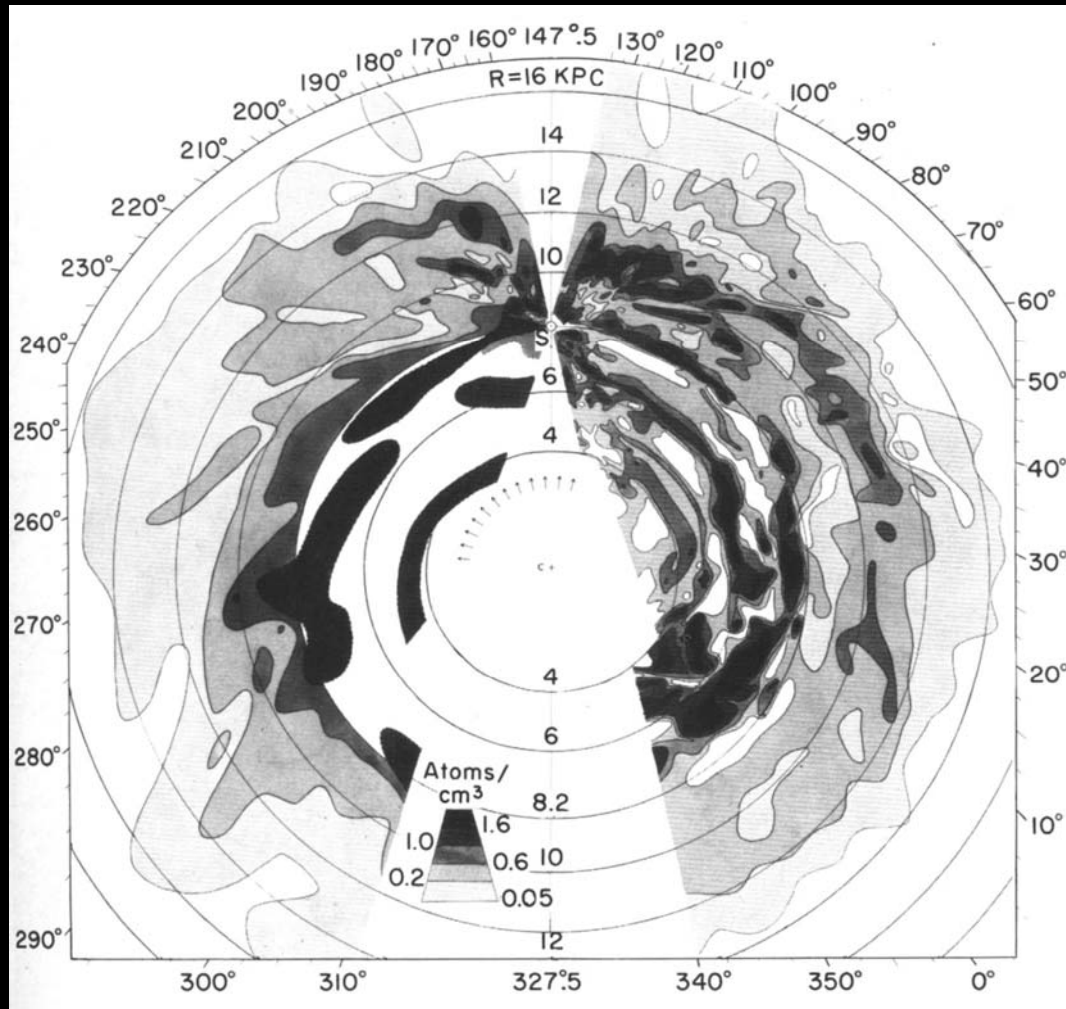
Grote Reber

Karl Jansky przy swej radioantenie w 1932 r.



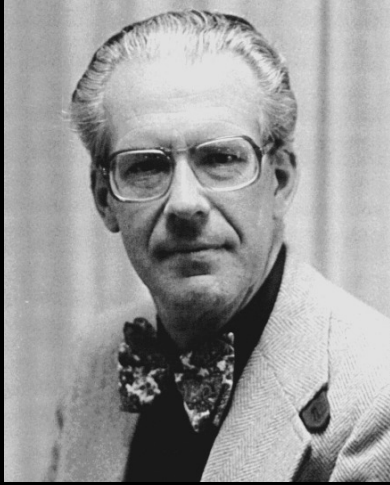
Współczesne radioteleskopy





Spiralna struktura Galaktyki z obserwacji linii 21 cm neutralnego wodoru (1958)

Tajemnicze kwazary



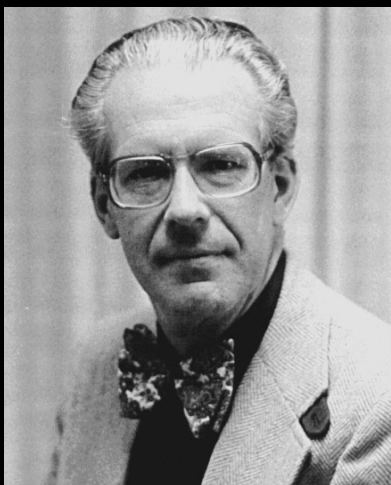
Marteen Schmidt

„3C 273: a starlike object
with a large redshift”

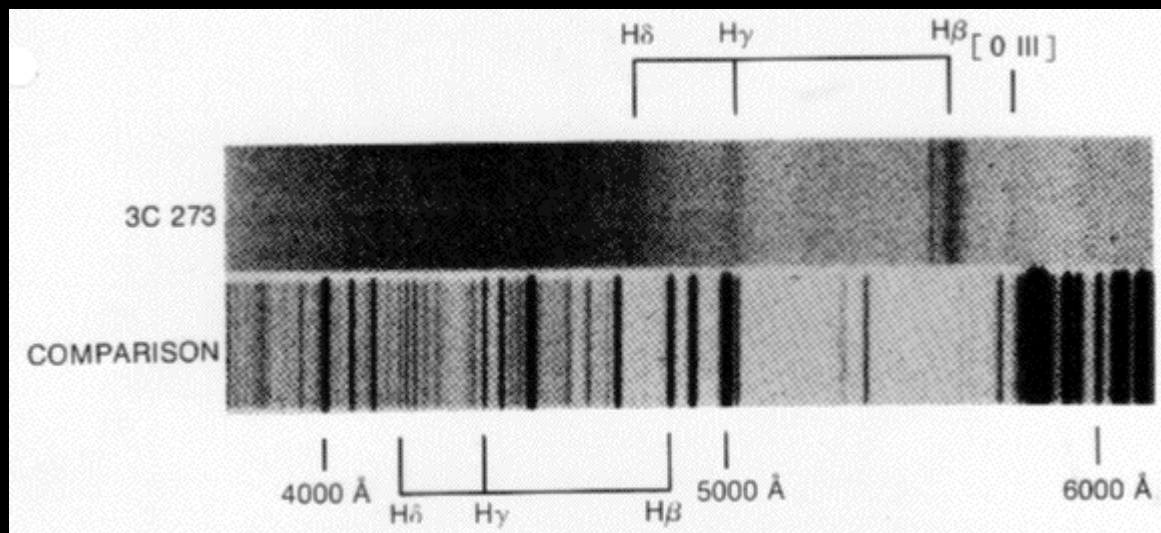
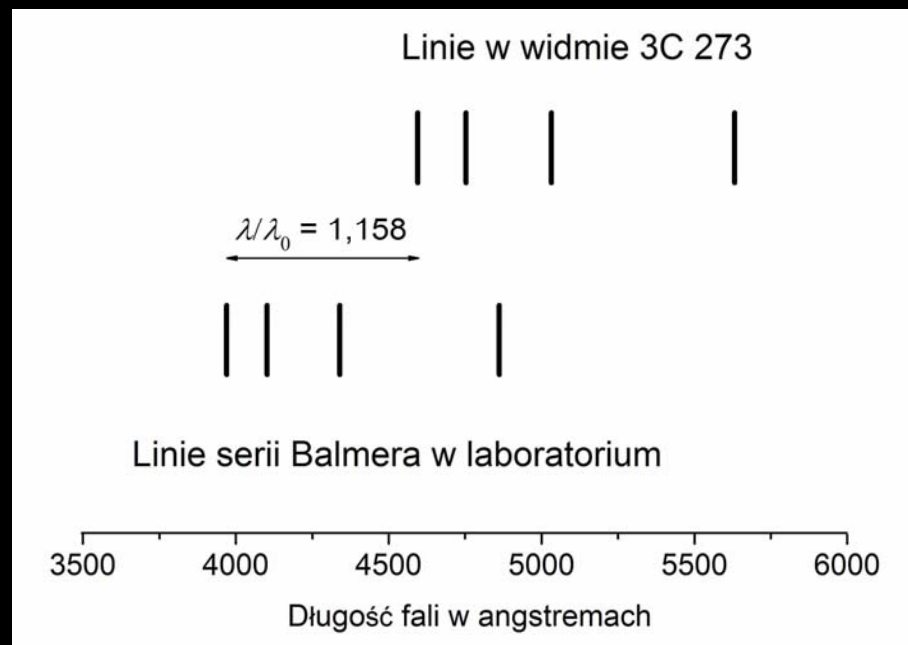
Nature **197**, 1040 (1963)



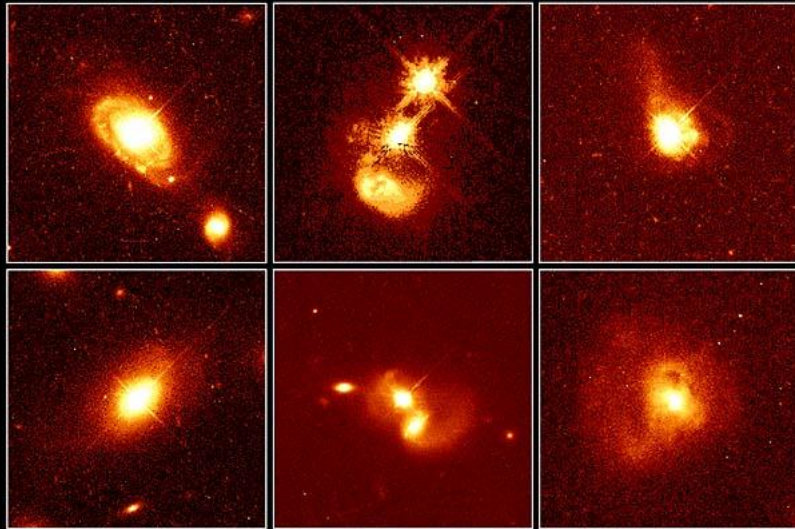
Tajemnicze kwazary: 3C 273



Marteen Schmidt



Tajemnicze kwazary



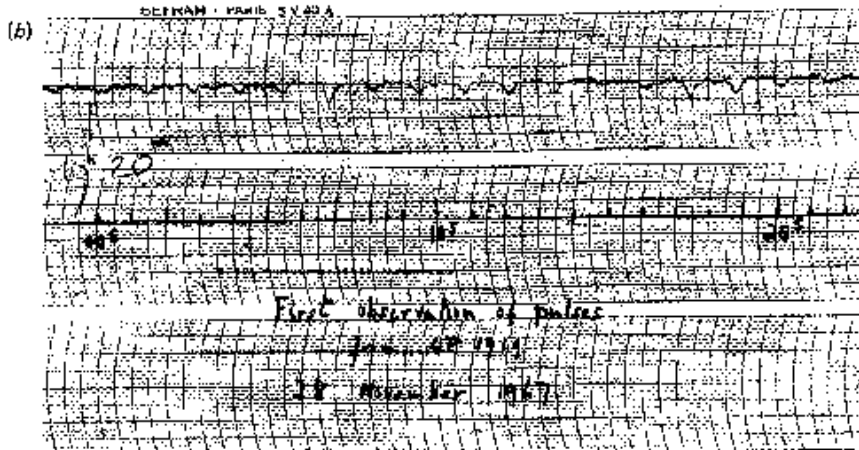
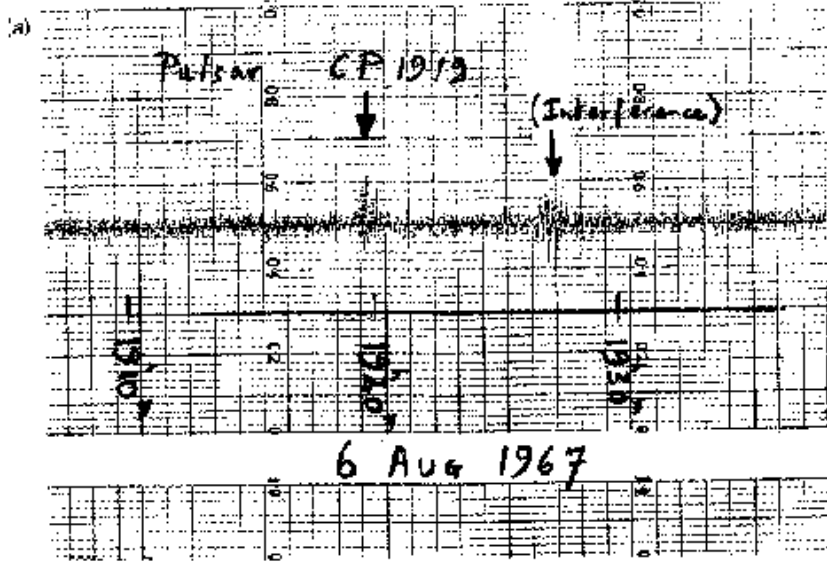
Najdalsze znane kwazary

$z = 5,82$
(IV 2000)



[$z = 6,4$ (X 2002)]
[$z = 10$ (III 2004) ??]

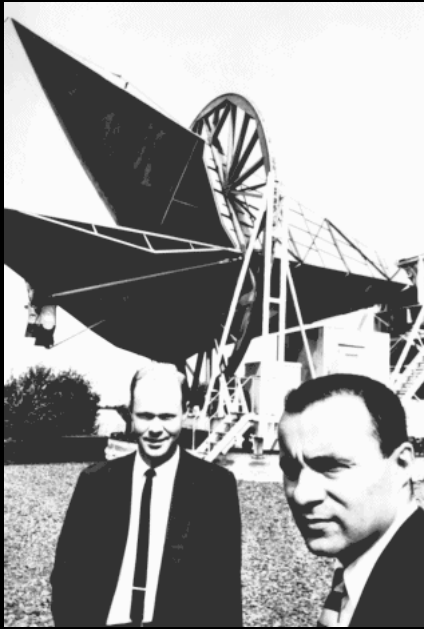
Pulsary



Jocelyn Bell-Burnell



Kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła



| | | |
|------|-----------------|----------|
| 1955 | 3 ± 2 K | Le Roux |
| 1957 | 4 ± 3 K | Shmaonov |
| 1962 | ≈ 3 K | Rose |
| 1961 | $2,3 \pm 0,2$ K | Ohm |

Arno Penzias, Robert W. Wilson,

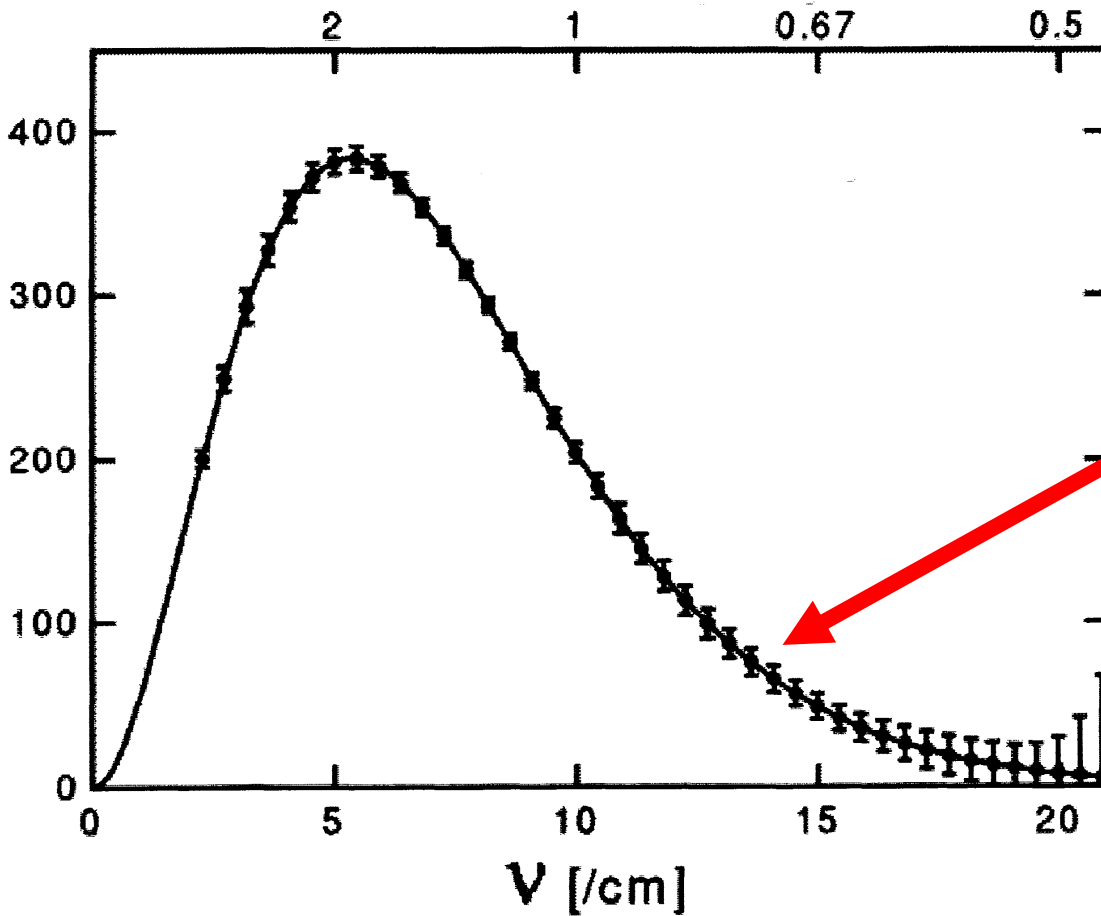
„A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s”,
ApJ **142**, 419-420 (1965)

R. H. Dicke, P. J. E. Peebles, P. G. Roll, D. T. Wilkinson,
„Cosmic black-body radiation”,
ApJ **142**, 414-419 (1965)

(NYT 21 V 1965)

Długość fali w mm

Nateżenie



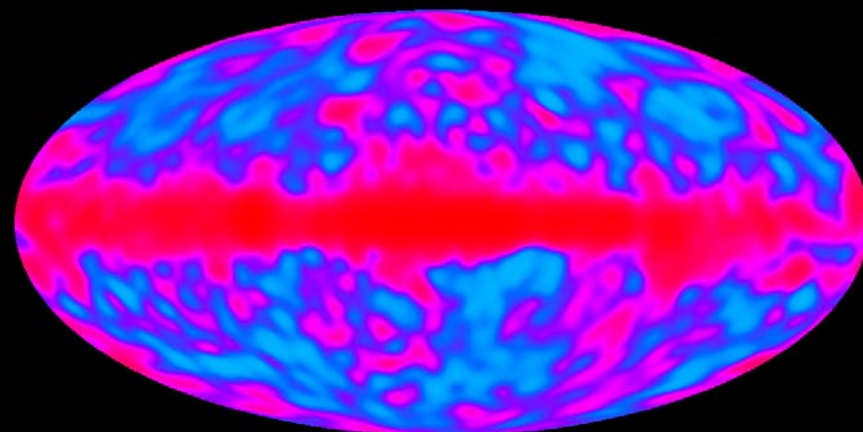
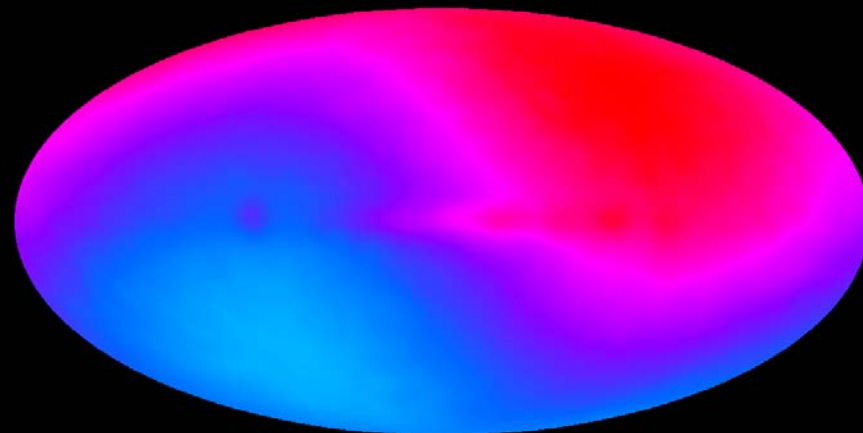
Błędy
powiększone
400 razy!

$T = (2,726 \pm 0,010) \text{ K}$
 $(411 \pm 2) \text{ fotonów na cm}^3$

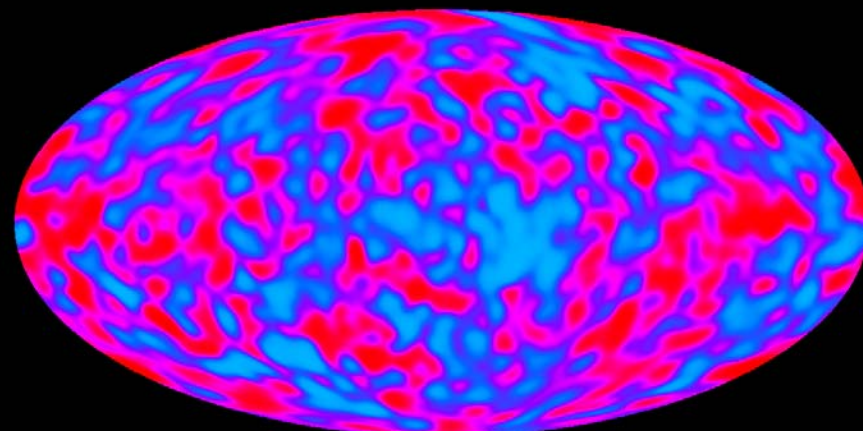
W ostatnim ćwierćwieczu kosmologia stała się nauką opartą na dokładnych wynikach obserwacji

- 1981 model inflacyjny wszechświata (Alan Guth)
(1982 Andrei Linde, Andreas Albrecht, Paul Steinhardt)
- 1992 satelita COBE (Cosmic Background Explorer)
- 1999 eksperyment balonowy BOOMERANG (Balloon Observations of Milimetric Extragalactic Radiation and Geomagnetism)
- 2000 wyniki sondy MAXIMA (Milimeter Anisotropy Experiment Imaging Array) z lotów 1998-99
- 2001 eksperyment balonowy ARCHEOPS
- 2003 wyniki sondy WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)

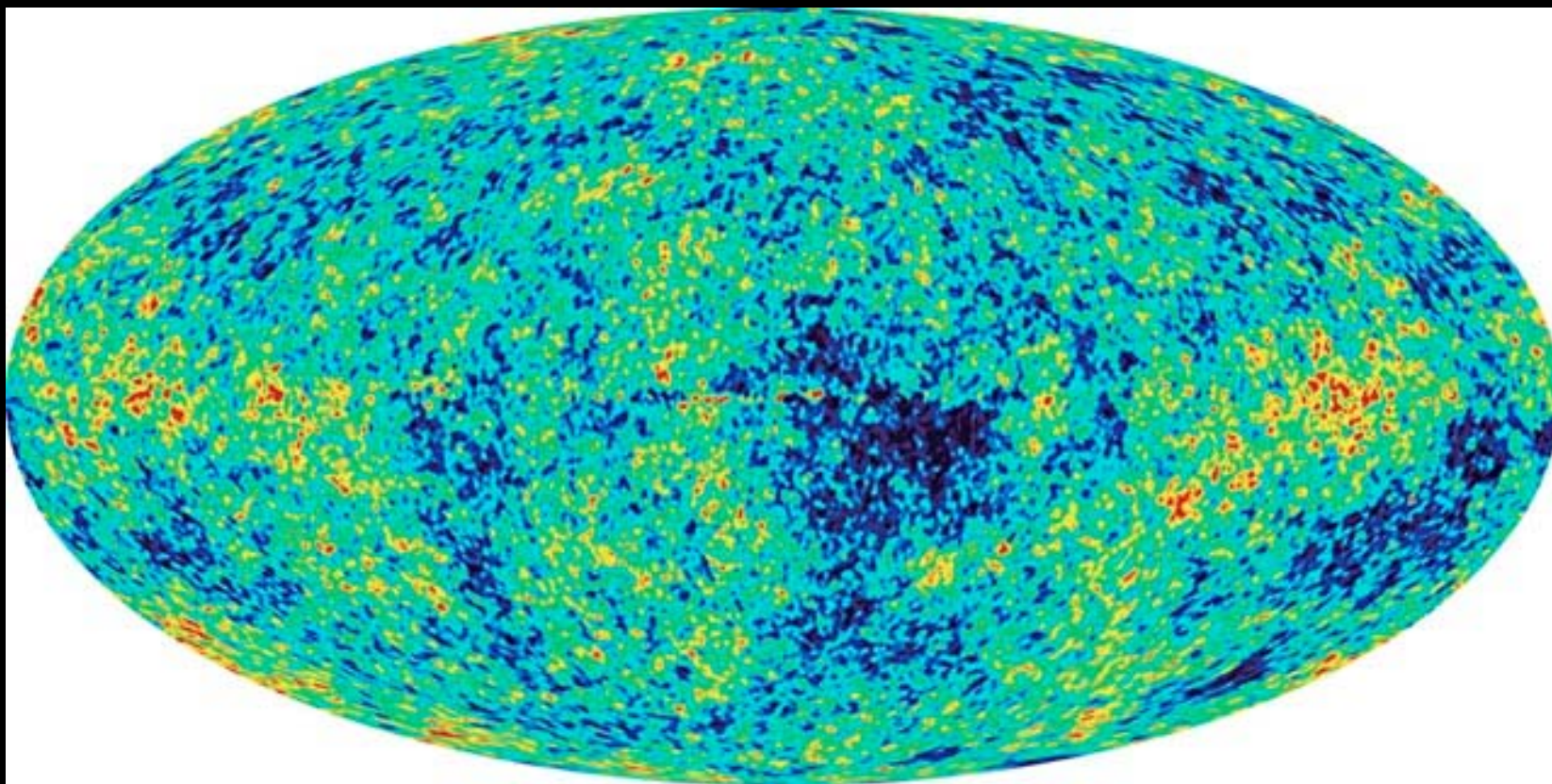
Kosmiczne
mikrofalowe
promieniowanie
tła

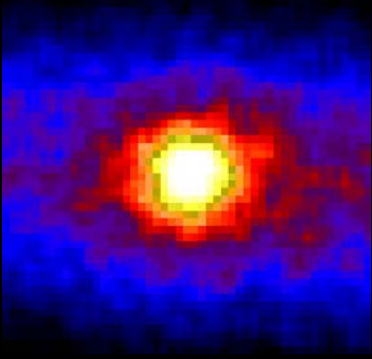


Wyniki COBE



Wyniki sondy WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) (2003)



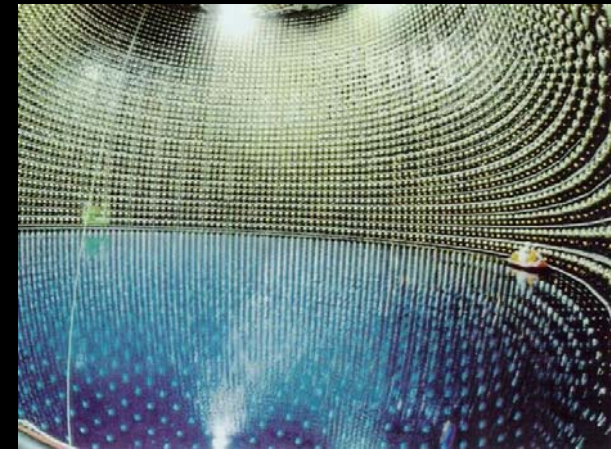


Neutrino ze Słońca

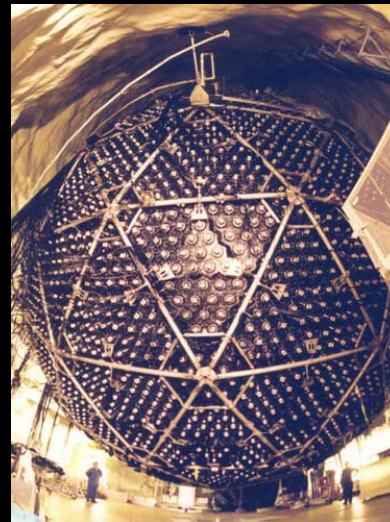


1967 początek detekcji neutrin słonecznych
– detektor **Homestake** (Davis i wsp.)

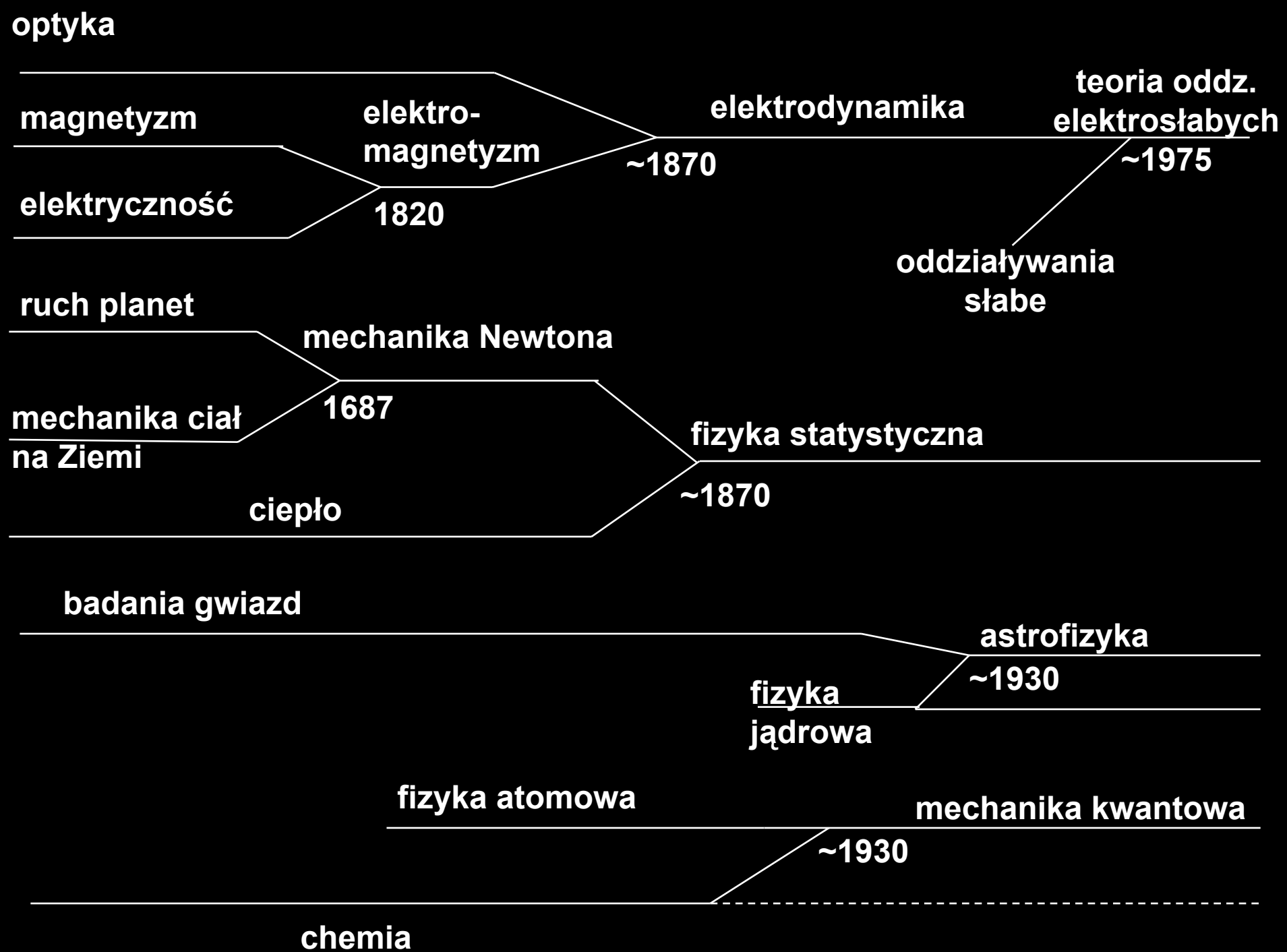
1998 neutrino mają niezerową masę
– wyniki międzynarodowej
Współpracy **Superkamiokande**

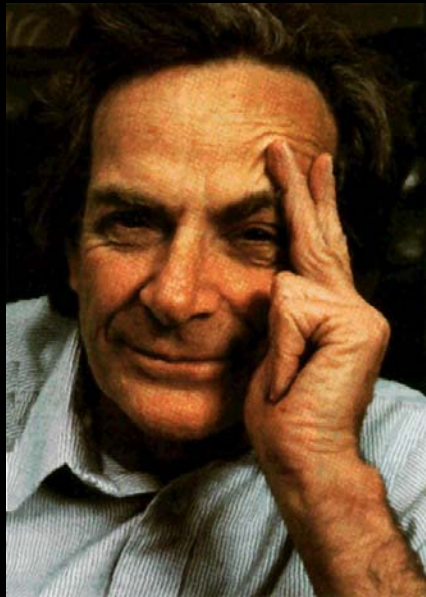


2002 niewątpliwy dowód
oscylacji neutrin
słonecznych (SNO)
**Solar
Neutrino
Observatory**



Uwagi końcowe





„Gdyby cała nauka miała ulec zniszczeniu w jakimś kataklizmie i tylko jedno zdanie można by uratować od zagłady i przekazać następnym pokoleniom, jakie zdanie zawierałoby największą ilość informacji w możliwie najmniejszej liczbie słów?

W moim przekonaniu byłoby to zdanie formułujące hipotezę (lub rzeczywistość, jeśli wolicie tak to nazwać) atomistyczną, że wszystko składa się z atomów...

...w tym jednym zdaniu zawarto ogromną porcję wiadomości o świecie; trzeba tylko posłużyć się odrobiną wyobraźni i inteligencji, aby je dobrze zrozumieć.”

„Feynmana wykłady z fizyki”, tom 1, § 1.2, s. 21, tłum. Zofia Królikowska (1963)

[Gdyby Feynman pisał to dzisiaj, to przypuszczalnie napisałby:
„wszystko składa się z kwarków i leptonów”]

Odkrycia niespodziewane

Kapica (1959) zdefiniował odkrycia niespodziewane jako takie, których nie można było ani przewidzieć, ani w pełni wyjaśnić w ramach wcześniej istniejących teorii. Według Kapicy w ciągu poprzednich 200 lat zdarzyło się tylko osiem takich niespodziewanych odkryć:

Prąd elektryczny (Galvani, 1780)

Efekt magnetyczny prądu elektrycznego (Oersted, 1820)

Zjawisko fotoelektryczne (Hertz, 1887)

Negatywny wynik doświadczenia Michelsona-Morleya (1887)

Elektron (J. J. Thomson, 1897)

Promieniotwórczość (Becquerel, 1896)

Promieniowanie kosmiczne (Hess, 1912)

Rozszczepienie uranu (Hahn i Strassmann, 1938)

Można zapewne dyskutować słuszność wyboru Kapicy (Dlaczego nie są włączone promienie X ?, dlaczego na liście jest elektron?) i z pewnością można tę listę już rozszerzyć o kilka dalszych pozycji:

Cząstki dziwne (Rochester i Butler, 1947)

Kwazary (Schmidt, 1963)

Nadprzewodnictwo przy wysokich temperaturach (Bednorz i Müller, 1986)

Możemy być pewni,
że w przyszłości będzie
więcej takich
niespodziewanych odkryć

Kongresy Solvaya

| | | |
|----|------|---|
| 1 | 1911 | Teoria promieniowania i kwanty |
| 2 | 1913 | Struktura materii |
| 3 | 1921 | Atomy i elektrony |
| 4 | 1924 | Przewodnictwo elektryczne metali |
| 5 | 1927 | Elektrony i fotony |
| 6 | 1930 | Magnetyzm |
| 7 | 1933 | Struktura i właściwości jąder atomowych |
| 8 | 1948 | Cząstki elementarne |
| 9 | 1951 | Ciało stałe |
| 10 | 1954 | Elektrony w metalach |
| 11 | 1958 | Struktura i ewolucja wszechświata |
| 12 | 1961 | Kwantowa teoria pola |
| 13 | 1964 | Struktura i ewolucja galaktyk |
| 14 | 1967 | Fundamentalne problemy w fizyce cząstek |
| 15 | 1970 | Właściwości symetrii jąder atomowych |
| 16 | 1973 | Astrofizyka i grawitacja |
| 17 | 1978 | Mechanika statystyczna |
| 18 | 1982 | Fizyka wielkich energii |
| 19 | 1987 | Fizyka powierzchni |
| 20 | 1991 | Optyka kwantowa |
| 21 | 1998 | Układy dynamiczne i nieodwracalność |
| 22 | 2001 | Fizyka przekazu informacji |
| 23 | 2005 | Kwantowa struktura czasu i przestrzeni |

Nagrody Nobla z fizyki

| | | | |
|------|------------------------|--------------|--------------------------------------|
| 1901 | Wilhelm Röntgen | Niemcy | promienie X |
| 1902 | Hendrik Lorentz | Holandia | zjawisko Zeemana |
| | Pieter Zeeman | Holandia | „ |
| 1903 | Henri Becquerel | Francja | promieniotwórczość |
| | Maria Skłodowska-Curie | Francja | „ |
| | Pierre Curie | Francja | „ |
| 1904 | Lord Rayleigh | Wk. Brytania | argon |
| 1905 | Philipp Lenard | Niemcy | promienie katodowe |
| 1906 | Joseph J. Thomson | Wk. Brytania | przewodnictwo gazów |
| 1907 | Albert Michelson | USA | precyzyjna metrologia |
| 1908 | Gabriel Lippmann | Francja | fotografia kolorowa |
| 1909 | C. Ferdinand Braun | Niemcy | telegrafia bez drutu |
| | Guglielmo Marconi | Włochy | „ |
| 1910 | Johannes Van der Waals | Holandia | równanie stanu |
| 1911 | Wilhelm Wien | Niemcy | promieniowanie cieplne |
| 1912 | Nils Gustav Dalén | Szwecja | automatyczne regulatory |
| 1913 | Heike Kamerlingh-Onnes | Holandia | niskie temperatury (skroplenie helu) |
| 1914 | Max von Laue | Niemcy | dyfrakcja promieni X |
| 1915 | William H. Bragg | Wk. Brytania | struktura kryształów |
| | William L. Bragg | Wk. Brytania | „ |
| 1916 | - | | |
| 1917 | Charles Barkla | Wk. Brytania | charakterystyczne promienie X |
| 1918 | Max Planck | Niemcy | kwanty energii |

Nagrody Nobla z fizyki cd.

| | | | |
|------|---------------------------|--------------|---------------------------------|
| 1919 | Johannes Stark | Niemcy | zjawisko Starka |
| 1920 | Charles-Edouard Guillaume | Francja | stopy niklu i stali |
| 1921 | Albert Einstein | Szwajcaria | zjawisko fotoelektryczne |
| 1922 | Niels Bohr | Dania | budowa atomu |
| 1923 | Robert Millikan | USA | ładunek elementarny i fotoefekt |
| 1924 | Karl Manne Siegbahn | Szwecja | spektroskopia promieni X |
| 1925 | James Franck | Niemcy | zderzenia elektronów z atomami |
| | Gustav Hertz | Niemcy | „ |
| 1926 | Jean Perrin | Francja | rozkład równowagowy zawiesin |
| 1927 | Arthur H. Compton | USA | zjawisko Comptona |
| | Charles T. R. Wilson | Wk. Brytania | komora mgłowa |
| 1928 | Owen W. Richardson | Wk. Brytania | termoemisja elektronów |
| 1929 | Louis de Broglie | Francja | falowa natura elektronów |
| 1930 | Chandrasekhara Raman | Indie | zjawisko Ramana |
| 1931 | - | | |
| 1932 | Werner Heisenberg | Niemcy | mechanika kwantowa |
| 1933 | Paul Dirac | Wk. Brytania | „ |
| | Erwin Schrödinger | Austria | „ |
| 1934 | - | | |
| 1935 | James Chadwick | Wk. Brytania | neutron |
| 1936 | Carl D. Anderson | USA | pozyton |
| | Victor Hess | Austria | promieniowanie kosmiczne |

Nagrody Nobla z fizyki cd.

| | | | |
|------|------------------------|--------------|----------------------------------|
| 1937 | Clinton J. Davisson | USA | falowa natura elektronów |
| | George P. Thomson | Wk. Brytania | „ |
| 1938 | Enrico Fermi | Włochy | reakcje jądrowe neutronów |
| 1939 | Ernest Lawrence | USA | cyklotron |
| 1940 | - | | |
| 1941 | - | | |
| 1942 | - | | |
| 1943 | Otto Stern | Niemcy | metoda wiązek molekularnych |
| 1944 | Isidor Rabi | USA | metoda rezonansu magnetycznego |
| 1945 | Wolfgang Pauli | Austria | reguła zakazu |
| 1946 | Percy Bridgman | USA | fizyka przy wysokich ciśnieniach |
| 1947 | Edward Appleton | Wk. Brytania | warstwa Appletona |
| 1948 | Patrick M. S. Blackett | Wk. Brytania | rozwinięcie komór Wilsona |
| 1949 | Hideki Yukawa | Japonia | teoria mezonów |
| 1950 | Cecil F. Powell | Wk. Brytania | odkrycie mezonów |
| 1951 | John D. Cockroft | Wk. Brytania | reakcje jądrowe |
| | Ernest Walton | Irlandia | „ |
| 1952 | Felix Bloch | USA | magnetyczny rezonans jądrowy |
| | Edward Purcell | USA | „ |
| 1953 | Fritz Zernike | Holandia | metoda kontrastu fazowego |
| 1954 | Max Born | Wk. Brytania | interpretacja funkcji falowej |
| | Walther Bothe | Niemcy | metoda koincydencji |

Nagrody Nobla z fizyki cd.

| | | | |
|------|----------------------|--------|-------------------------------|
| 1955 | Polykarp Kusch | USA | moment magnetyczny elektronu |
| | Willis Lamb | USA | przesunięcie Lamba |
| 1956 | John Bardeen | USA | tranzystor ostrzowy |
| | Walter Brattain | USA | „ |
| | William Shockley | USA | „ |
| 1957 | Tsung Dao Lee | USA | niezachowanie parzystości |
| | Chen Ning Yang | USA | „ |
| 1958 | Pavel Czerenkow | ZSRR | zjawisko Czerenkowa |
| | Ilia Frank | ZSRR | „ |
| | Igor Tamm | ZSRR | „ |
| 1959 | Owen Chamberlain | USA | odkrycie antyprotonu |
| | Emilio Segrè | USA | „ |
| 1960 | Donald Glaser | USA | komora pęcherzykowa |
| 1961 | Robert Hofstadter | USA | struktura nukleonów i jąder |
| | Rudolf Mössbauer | Niemcy | zjawisko Mössbauera |
| 1962 | Lew Landau | ZSRR | badania ciekłego helu |
| 1963 | Maria Goeppert-Mayer | USA | model powłokowy jąder |
| | J. Hans Jensen | Niemcy | „ |
| | Eugene Wigner | USA | fundamentalne zasady symetrii |
| 1964 | Nikolai Basow | ZSRR | elektronika kwantowa, maser |
| | Aleksander Prochorow | ZSRR | „ |
| | Charles Townes | USA | „ |

Nagrody Nobla z fizyki cd.

| | | | |
|------|--------------------|--------------|------------------------------------|
| 1965 | Richard Feynman | USA | elektrodynamika kwantowa |
| | Julian Schwinger | USA | „ |
| | Sin-Itiro Tomonaga | Japonia | „ |
| 1966 | Alfred Kastler | Francja | optyczne metody rezonansowe |
| 1967 | Hans Bethe | USA | produkcja energii w gwiazdach |
| 1968 | Luis Alvarez | USA | odkrycia stanów rezonansowych |
| 1969 | Murray Gell-Mann | USA | klasyfikacja cząstek elementarnych |
| 1970 | Hannes Alfvén | Szwecja | magnetohydrodynamika |
| | Louis E. F. Néel | Francja | ferromagnetyzm, ferrimagnetyzm |
| 1971 | Dennis Gabor | Wk. Brytania | holografia |
| 1972 | John Bardeen | USA | teoria nadprzewodnictwa (BCS) |
| | Leon N. Cooper | USA | „ |
| | John R. Schrieffer | USA | „ |
| 1973 | Leo Esaki | Japonia | tunelowanie w półprzewodnikach |
| | Ivar Giaever | USA | „ |
| | Brian Josephson | Wk. Brytania | zjawisko Josephsona |
| 1974 | Anthony Hewish | Wk. Brytania | radioastronomia (pulsary) |
| | Martin Ryle | Wk. Brytania | „ (metoda syntezy apertury) |
| 1975 | Aage Bohr | Dania | model kolektywny jąder |
| | Ben Mottelson | USA | „ |
| | L. James Rainwater | USA | „ |
| 1976 | Burton Richter | USA | odkrycie cząstki J/psi |
| | Samuel Ting | USA | „ |

Nagrody Nobla z fizyki cd.

| | | | |
|------|----------------------------|--------------|------------------------------------|
| 1977 | Philip W. Anderson | USA | struktura elektronowa ciał stałych |
| | Nevill Mott | Wk. Brytania | „ |
| | John Van Vleck | USA | „ |
| 1978 | Piotr Kapica | ZSRR | niskie temperatury |
| | Arno Penzias | USA | reliktowe promieniowanie tła |
| | Robert W. Wilson | USA | „ |
| 1979 | Sheldon Glashow | USA | oddziaływania elektroślabe |
| | Abdus Salam | Pakistan | „ |
| | Steven Weinberg | USA | „ |
| 1980 | James Cronin | USA | niezachowanie CP |
| | Val Fitch | USA | „ |
| 1981 | Nicolas Bloembergen | Holandia | spektroskopia laserowa |
| | Arthur Schawlow | USA | „ |
| | Kai M. Siegbahn | Szwecja | spektroskopia beta |
| 1982 | Kenneth G. Wilson | USA | teoria zjawisk krytycznych |
| 1983 | Subrahmanyan Chandrasekhar | Indie | budowa gwiazd |
| | William Fowler | USA | powstawanie pierwiastków |
| 1984 | Carlo Rubbia | Włochy | decydująca rola w odkryciu W i Z |
| | Simon Van der Meer | Holandia | „ |
| 1985 | Klaus von Klitzing | Niemcy | kwantowe zjawisko Halla |
| 1986 | Ernst Ruska | Niemcy | mikroskop elektronowy |
| | Gerd Binnig | Niemcy | skaningowy mikroskop tunelowy |
| | Heinrich Rohrer | Szwajcaria | „ |

Nagrody Nobla z fizyki cd.

| | | | |
|------|-------------------------|------------|----------------------------------|
| 1987 | J. Georg Bednorz | Niemcy | nadprzewodnictwo przy wysokich T |
| | Karl Alex Müller | Szwajcaria | „ |
| 1988 | Leon Lederman | USA | neutrino mionowe |
| | Melvin Schwartz | USA | „ |
| | Jack Steinberger | USA | „ |
| 1989 | Hans Dehmelt | Niemcy | pułapki jonowe |
| | Wolfgang Paul | Niemcy | „ |
| | Norman Ramsey | USA | zegary atomowe |
| 1990 | Jerome Friedman | USA | struktura partonowa nukleonów |
| | Henry Kendall | USA | „ |
| | Richard E. Taylor | USA | „ |
| 1991 | Pierre-Gilles de Gennes | Francja | ciekłe kryształy |
| 1992 | Georges Charpak | Francja | detektory promieniowania |
| 1993 | Russell Hulse | USA | podwójny pulsar |
| | Joseph H. Taylor, Jr | USA | „ |
| 1994 | Bertram Brockhouse | Kanada | spektroskopia neutronowa |
| | Clifford Shull | USA | „ |
| 1995 | Martin Perl | USA | lepton tau |
| | Frederick Reines | USA | odkrycie neutrina |
| 1996 | Robert Lee | USA | nadciekłość helu 3 |
| | Douglas Osheroff | USA | „ |
| | Robert C. Richardson | USA | „ |

Nagrody Nobla z fizyki cd.

| | | | |
|------|------------------------|-----------|-------------------------------------|
| 1997 | Steven Chu | USA | laserowe chłodzenie atomów |
| | William Phillips | USA | „ |
| | Claude Cohen-Tannoudji | Francja | „ |
| 1998 | Robert Laughlin | USA | ułamkowe kwantowe zjawisko Halla |
| | Horst Störmer | Niemcy | „ |
| | Daniel Tsui | USA | „ |
| 1999 | Gerardus t'Hooft | Holandia | renormalizacja teorii z cechowaniem |
| | Martinus Veltman | Holandia | |
| 2000 | Żores Alfiorow | Rosja | układy scalone |
| | Jack Kilby | USA | „ |
| | Herbert Kroemer | USA | „ |
| 2001 | Eric Cornell | USA | kondensat Bosego-Einsteina |
| | Wolfgang Ketterle | Niemcy | „ |
| | Carl Wieman | USA | „ |
| 2002 | Raymond Davis | USA | detekcja neutrin |
| | Masatoshi Koshiba | Japonia | „ |
| | Riccardo Giacconi | USA | astronomia X |
| 2003 | Alexei Abrikosov | Rosja/USA | |
| | Vitaly Ginzburg | Rosja | nadciekłość i nadprzewodnictwo |
| | Anthony J. Leggett | UK/USA | |

Nagrody Nobla z fizyki cd.

| | | | |
|------|-------------------|---------|-------------------------------|
| 2004 | David J. Gross | USA | asymptotyczna swoboda kwarków |
| | H. David Politzer | USA | „ |
| | Frank Wilczek | USA | „ |
| 2005 | Roy J. Glauber | USA | teoria koherencji optycznej |
| | John L. Hall | USA | spektroskopia laserowa |
| | Theodor W. Hänsch | Niemcy | „ |
| 2006 | John. C. Mather | USA | rozkład promieniowania tła |
| | George F. Smoot | USA | „ |
| 2007 | Albert Fert | Francja | gigantyczny magnetoopór |
| | Peter Grünberg | Niemcy | „ |

Nagrody Nobla z chemii za osiągnięcia fizyczne

| | | | |
|------|---------------------------------------|--------------------|---|
| 1908 | Ernest Rutherford | Wk. Brytania | rozpad promieniotwórczy |
| 1911 | Maria Skłodowska-Curie | Francja | odkrycie Ra i Po |
| 1920 | Walther Nernst | Niemcy | termodynamika chemiczna |
| 1921 | Frederick Soddy | Wk. Brytania | izotopy |
| 1922 | Francis Aston | Wk. Brytania | spektrometria masowa |
| 1934 | Harold C. Urey | USA | deuter |
| 1935 | Frédéric Joliot Irène Joliot-Curie | Francja Francja | sztuczna promieniotwórczość „ |
| 1936 | Peter Debye | Holandia | struktura cząsteczek |
| 1944 | Otto Hahn | Niemcy | rozszczenie uranu |
| 1949 | William Giaouque | USA | metody kriogeniki |
| 1951 | Edwin McMillan Glenn Seaborg | USA USA | pierwiastki transuranowe „ |
| 1960 | Willard Libby | USA | metoda ^{14}C |
| 1968 | Lars Onsager | USA | termodynamika procesów nieodwracalnych |
| 1971 | Gerhard Herzberg | Kanada | struktura elektronowa cząsteczek |
| 1977 | Ilya Prigogine | Belgia | struktury dysypatywne |
| 1985 | Herbert A. Hauptman Jerome Karle | USA USA | wyznaczanie struktury kryształów „ |
| 1991 | Richard R. Ernst | Szwajcaria | metodologia spektroskopii NMR |

Nagrody Wolfa z fizyki

| Rok | Laureaci | |
|--------|--------------------------------|----------------------------|
| 1978 | Chien-Shiung Wu (USA) | oddziaływania słabe |
| 1979 | Georg Eugene Uhlenbeck (USA) | spin elektronu |
| | Giuseppe Occhialini (Włochy) | współodkrycie pionu |
| 1980 | Michael E. Fischer (USA) | teoria zjawisk krytycznych |
| | Leo P. Kadanoff (USA) | ” ” |
| | Kenneth G. Wilson (USA) | ” ” |
| 1981 | Freeman J. Dyson (W. Brytania) | kwantowa teoria pola |
| | Gerard t'Hooft (Holandia) | ” ” |
| | Victor F. Weisskopf (USA) | ” ” |
| 1982 | Leon M. Lederman (USA) | trzecia generacja leptonów |
| | Martin M. Perl (USA) | ” ” |
| 1983/4 | Erwin L. Hahn (USA) | odkrycie echa spinowego |
| | Peter G. Hirsch (W. Brytania) | mikroskop transmisyjny |
| | Theodore H. Maiman (USA) | pierwszy laser |
| 1884/5 | Conyers Herring (USA) | elektrony w metalach |
| | Philippe Nozieres (Francja) | ” ” |
| 1986 | Mitchell J. Feigenbaum (USA) | układy nieliniowe |
| | Albert J. Libchaber (USA) | ” ” |

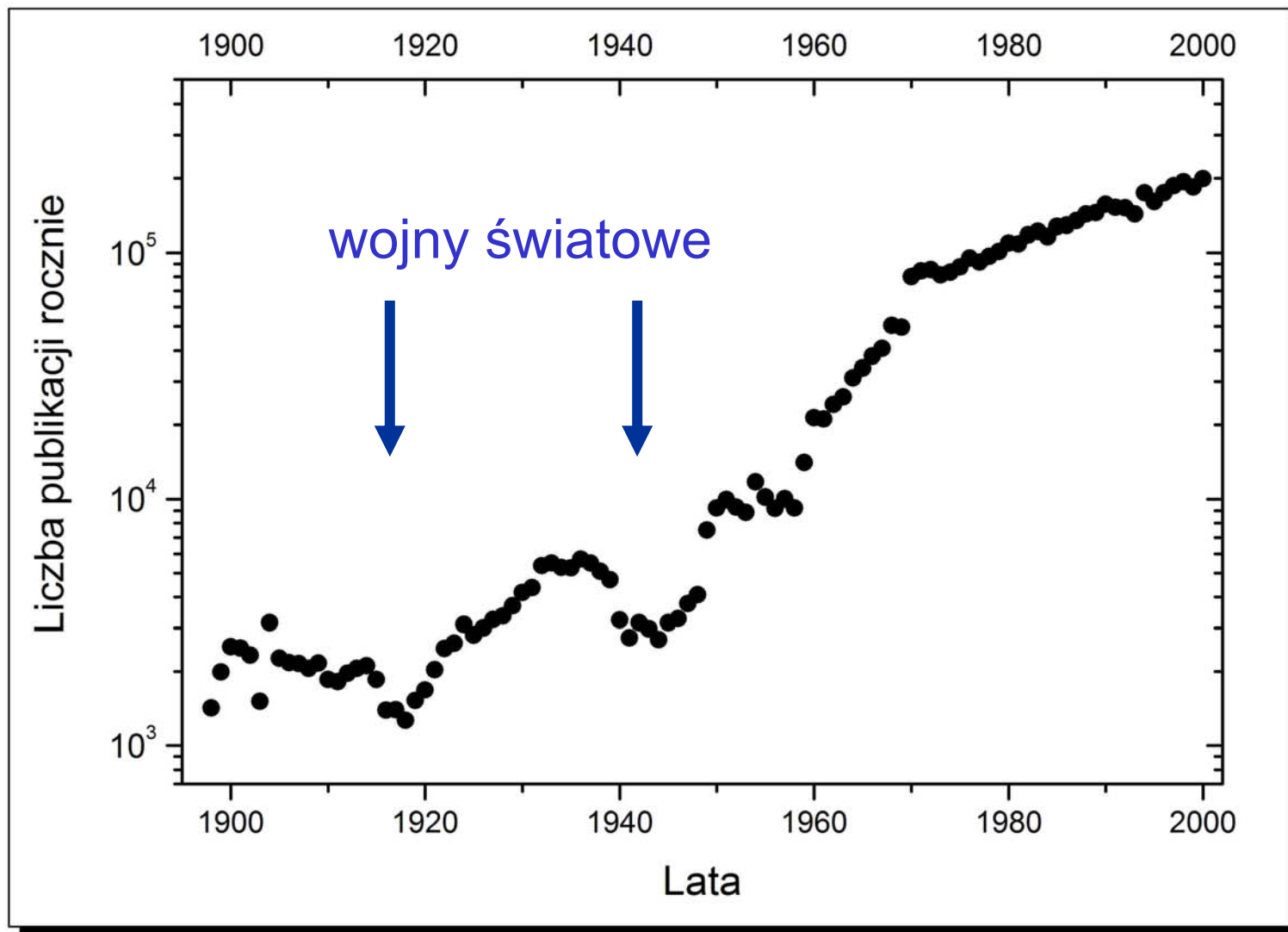
Nagrody Wolfa z fizyki

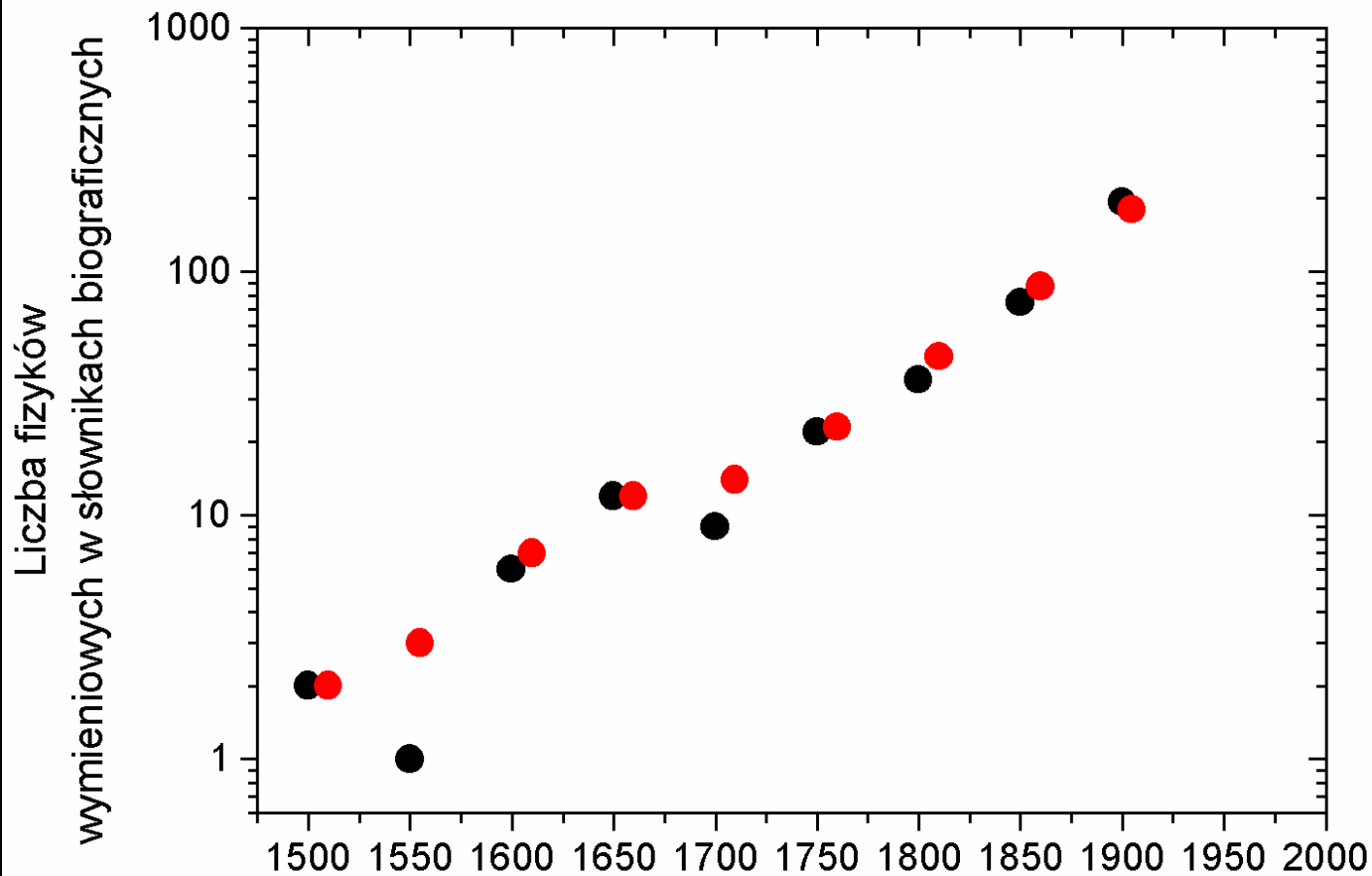
| Rok | Laureaci | |
|--------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1987 | Herbert Friedman (USA) | astronomia promieniowania X |
| | Bruno B. Rossi (USA) | ” ” |
| | Riccardo Giacconi (USA) | ” ” |
| 1988 | Roger Penrose (W. Brytania) | wkład do kosmologii |
| | Stephen W. Hawking (W. Brytania) | ” ” |
| 1989 | Nagrody nie przyznano | |
| 1990 | Pierre-Gilles de Gennes (Francja) | ciekłe kryształy |
| | David J. Thouless (USA) | układy niskowymiarowe |
| 1991 | Maurice Goldhaber (USA) | oddziaływania słabe |
| | Valentine L. Telegdi (Szwajcaria) | ” ” |
| 1992 | Joseph H. Taylor Jr. (USA) | pulsar w układzie podwójnym |
| 1993 | Benoit Mandelbrot (USA) | fraktale |
| 1994/5 | Vitaly L. Ginzburg (Rosja) | teoria nadprzewodnictwa |
| | Yoichiro Nambu (Japonia) | teoria cząstek elementarnych |
| 1995/6 | Nagrody nie przyznano | |
| 1997 | John Archibald Wheeler (USA) | czarne dziury |
| 1998 | Yakir Aharonov (Izrael) | efekt Aharonowa-Bohma |
| | Michael V. Berry (W. Brytania) | faza Berry'ego |
| 1999 | Dan Shechtman (Izrael) | kwazikryształy |

Nagrody Wolfa z fizyki

| Rok | Laureaci | |
|--------|--|--|
| 2000 | Raymond Davis Jr. (USA) Masatoshi Koshihba (Japonia) | detekcja neutrin ” |
| 2001 | Nagrody nie przyznano | |
| 2002/3 | Bertrand L. Halperin (USA) Anthony J. Leggett (W. Brytania) | układy dwuwymiarowe nadciekłość ^3He |
| 2004 | Robert Brout (Belgia) François Englert (Belgia) Peter W. Higgs (W. Brytania) | mechanizm generacji masy ” ” ” ” |
| 2005 | Daniel Kleppner (USA) | wkład do fizyki atomowej |
| 2006 | Albert Fert (Francja) Peter Grünberg (Niemcy) | odkrycie gigantycznego magnetooporu |

Liczba prac rejestrowanych w Physics Abstracts





Lexikon der Naturwissenschaftler (Berlin 2000)



Физики - Биографический справочник (Moskwa 1983)

- Całkowita liczba fizyków w roku 1900 wynosiła około 1100, z tego około 200, czyli 20%, byli to fizycy „ważni”, na tyle, że po upływie stu lat ich nazwiska są nadal zamieszczane w słownikach biograficznych.
- Całkowita liczba fizyków stale rośnie i w roku 2000 przypuszczalnie przekraczała już milion. Jest oczywiste, że słowniki biograficzne w roku 2100 będą zawierały znacznie mniej niż 20% nazwisk obecnych fizyków.
- Procentowy udział „ważnych” fizyków niewątpliwie maleje w czasie, fizyka zmienia charakter i staje się czymś w rodzaju „przemysłu”, w którym jest coraz więcej „pracowników naukowych”.

Konkluzja

Jest bardzo trudno przewidzieć ewolucję fizyki w następnych dekadach.

Jest jednak zupełnie pewne, że

- fizyka nie skończy się wkrótce
- badania fizyczne staną się jeszcze bardziej kolektywne i prace fizyczne będą miały coraz więcej autorów
- będą się zdarzać odkrycia niespodziewane
- będą także występowały błędne odkrycia i teorie (jak się zdarzało w przeszłości)

Byłoby niezwykle interesujące wysłuchać wykładu z historii fizyki w roku 2100!