

Historia Fizyki

11



Zbigniew Osiak

**Wkład
Einsteina
do fizyki**

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)

HISTORIA FIZYKI

Wkład Einsteina do fizyki

Małgorzata Osiak (Ilustracje)

© Copyright 2015 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.

Wydawnictwo: Self Publishing

ISBN: 978-83-272-4543-4

e-mail: zbigniew.osiak@gmail.com

W latach 2008, 2009 i 2010 wygłosiłem dla słuchaczy Uniwersytetu Trzeciego Wieku w Uniwersytecie Wrocławskim cykl wykładów poświęconych historii fizyki.

Prezentowany 11 tom zawiera pomocnicze materiały do wykładu:
[Historia Fizyki – Wkład Einsteina do fizyki.](#)

-
01. Historia Fizyki – O tym, jak w XVII wieku fizyka stała się nauką
 02. Historia Fizyki – Szkic rozwoju fizyki w XVIII wieku
 03. Historia Fizyki – Szkic rozwoju fizyki w XIX wieku
 04. Historia Fizyki – Szkic rozwoju fizyki w XX wieku
 05. Historia Fizyki – Szkic rozwoju termodynamiki
 06. Historia Fizyki – Szkic rozwoju elektrodynamiki
 07. Historia Fizyki – Szkic rozwoju atomistki
 08. Historia Fizyki – Szkic rozwoju fizyki kwantowej
 09. Historia Fizyki – Wielkie eksperymenty
 10. Historia Fizyki – Wielcy fizycy
 11. Historia Fizyki – Wkład Einsteina do fizyki
 12. Historia Fizyki – Współpracownicy Einsteina
 13. Historia Fizyki – Ciekawostki dotyczące Nagród Nobla
 14. Historia Fizyki – Uczestnicy I Konferencji Solvaya
 15. Historia Fizyki – Polscy fizycy

HISTORIA FIZYKI

Wkład Einsteina do fizyki

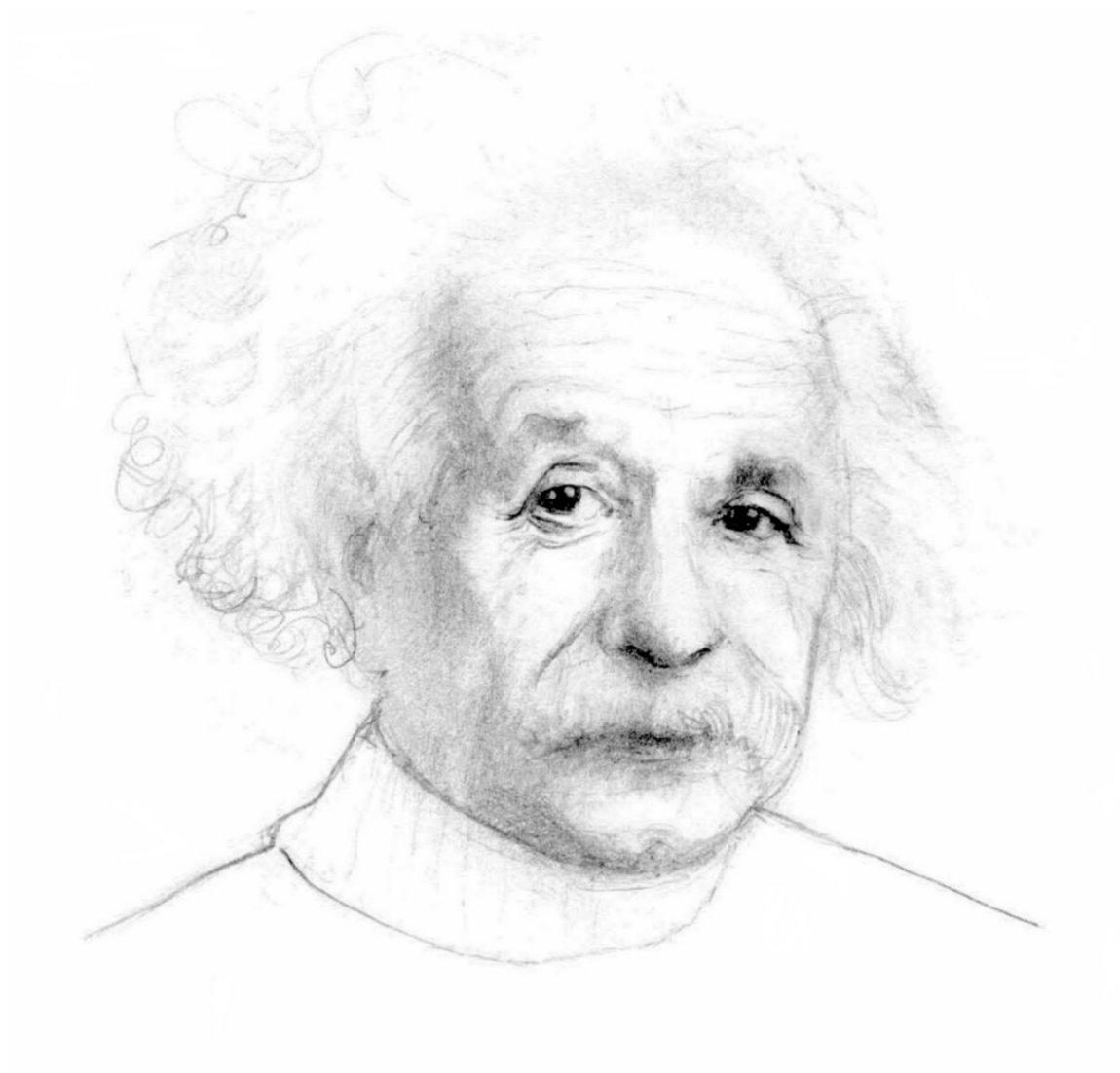
dr Zbigniew Osiak

Ilustracje wykonała

Małgorzata Osiak

-
- Albert Einstein (1879-1955)
 - Ruchy Browna
 - Fotony
 - Zjawisko fotoelektryczne
 - Szczególna teoria względności
 - Ogólna teoria względności
 - Kosmologia relatywistyczna
 - Fale grawitacyjne
 - Ogólnie kowariantna elektrodynamika
 - Emisja wymuszona
 - Statystyka Bosego-Einsteina
 - Efekt Einsteina-de Haasa

Albert Einstein (1879-1955)



Genialny fizyk teoretyk

1879 - Urodził się 14 marca w Ulm.

1900 - Ukończył politechnikę w Zurychu.

1905 - Doktoryzował się na uniwersytecie w Zurychu.

1913 - Został członkiem Pruskiej Akademii Nauk.

1921 - Otrzymał Nagrodę Nobla z fizyki „za wkład do fizyki teoretycznej, a szczególnie za odkrycie prawa zjawiska fotoelektrycznego”.

1933 - Wyemigrował do Ameryki.

1955 - Zmarł 18 kwietnia w Princeton.

Ruchy Browna

- Ruchy Browna stanowią chaotyczne ruchy drobnych cząstek zawieszonych w cieczy spowodowane przypadkowymi zderzeniami z cząsteczkami cieczy.
- Teorię ruchów Browna, odkrytych przez Browna w 1827, podali niezależnie od siebie Einstein w 1905 i Smoluchowski w 1906, wyznaczając wyrażenie na średni kwadrat przesunięcia.



-
- Robert Brown (1773-1858), brytyjski botanik.
 - Marian Smoluchowski (1872-1917), polski fizyk.
 - Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1921.

Fotony

- Foton jest kwantem pola elektromagnetycznego poruszającym się w próżni z szybkością $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s. Fotony są bozonami o spinie 1, nie mają masy oraz ładunku elektrycznego. Energia (E) oraz wartość pędu (p) fotonu określone są poniżej

$$E = h\nu$$

$$p = \frac{h\nu}{c}$$

-
- Pojęcie fotonu wprowadził Einstein w 1905.
 - Nazwę foton zaproponował Lewis w 1926.
 - Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.
 - Gilbert Newton Lewis (1875-1946), amerykański fizyko-chemik.

Zjawisko fotoelektryczne

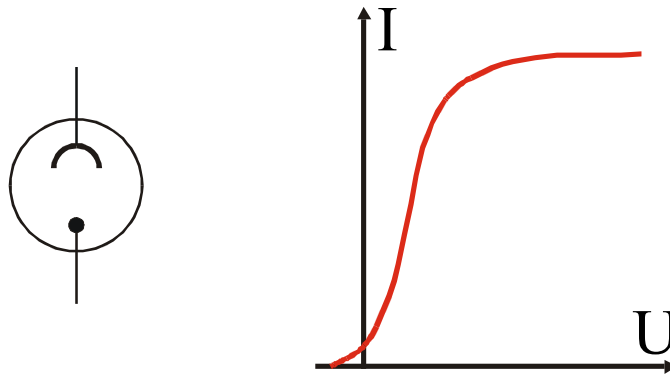
-
- Zjawisko fotoelektryczne polega na wybijaniu elektronów z powierzchni metalu przez światło o odpowiedniej częstotliwości.
 - Zjawisko fotoelektryczne odkrył Hertz w 1887.
 - Teorię zjawiska fotoelektrycznego podał Einstein w 1905.
 - Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), niemiecki fizyk.
 - Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.

-
- Prędkość wybitych fotoelektronów zależy od częstotliwości światła, a nie zależy od natężenia światła.
 - Ilość wybitych fotoelektronów zależy od natężenia światła, a nie zależy od częstotliwości światła.

Fakty doświadczalne związane ze zjawiskiem fotoelektrycznym można wyjaśnić w ramach teorii bazującej na dwóch założeniach:

- Jeden foton, o odpowiedniej energii, wybija jeden elektron.
- Energia fotonu powinna być sumą pracy wyjścia elektronu z metalu i energii kinetycznej wybitego elektronu.

- Fotokomórka jest próżniową bańką szklaną, wewnątrz której znajdują się dwie elektrody. Katoda wykonana jest z metalu o pracy wyjścia nie większej od energii padających na nią fotonów. Oświetlona katoda, wskutek zjawiska fotoelektrycznego, emituje elektrony. Dzięki temu fotokomórka może przewodzić prąd elektryczny.



Szczególna Teoria Względności

- Szczególna teoria względności to teoria zajmująca się badaniem zjawisk przebiegających (przy braku pola grawitacyjnego) w inercjalnych układach odniesienia w czterowymiarowej czasoprzestrzeni Minkowskiego.
- 30 czerwca 1905 uważany jest za datę powstania Szczególnej Teorii Względności. W tym dniu do redakcji Annalen der Physik wpłynęła praca Alberta Einsteina „Zur Elektrodynamik bewegter Körper” (O elektrodynamice poruszającego się ciała).

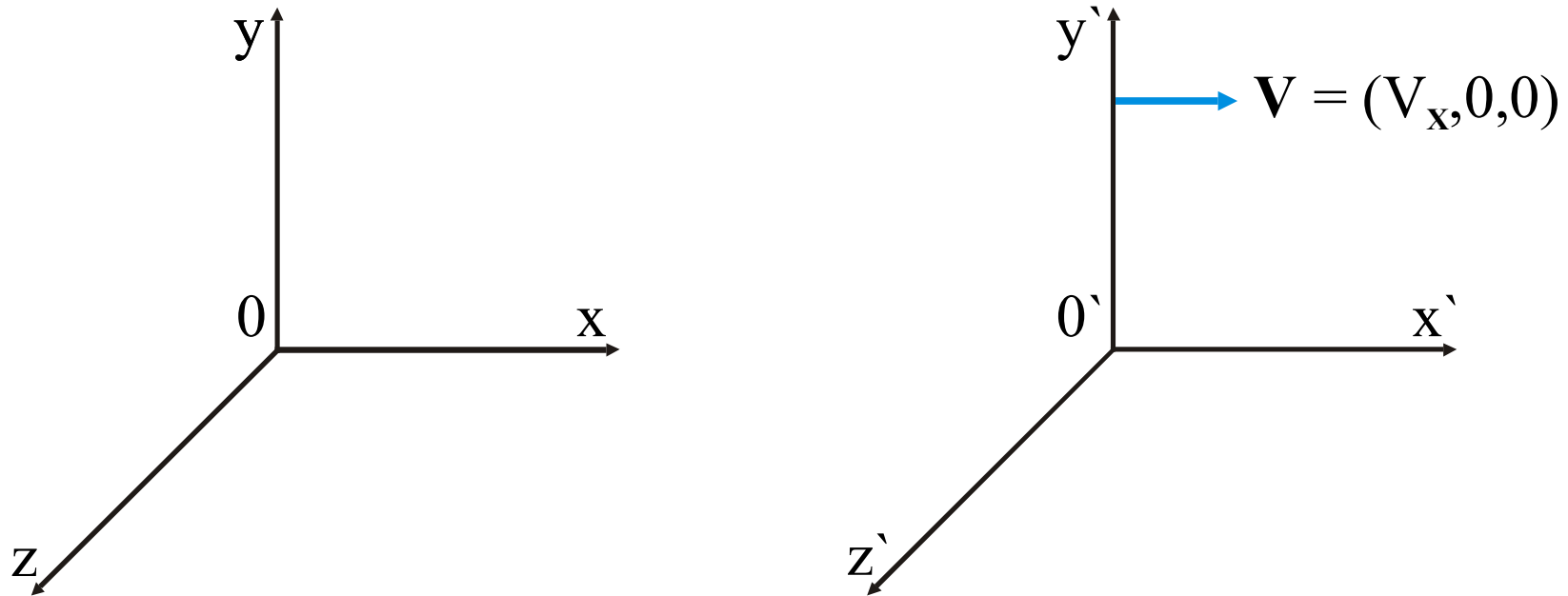
-
- Maksymalna wartość prędkości rozchodzenia się sygnałów jest taka sama we wszystkich inercjalnych układach odniesienia.
 - Definicje wielkości fizycznych oraz prawa (równania) fizyki można tak sformułować, aby ich ogólna postać była taka sama we wszystkich inercjalnych układach odniesienia.

-
- Poddał szczegółowej analizie pojęcie równoczesności.
 - Zaproponował procedurę synchronizacji zegarów.
 - Podał przekształcenia współrzędnych przestrzennych i czasu, względem których szybkość światła jest niezmiennikiem.
 - Jako wnioski z tych przekształceń przedstawił wzory na kontrakcję długości, dylatację czasu i składanie prędkości.
 - Wykazał, że równania Maxwella-Hertza są współzmiennicze względem badanych transformacji.

-
- W przypadku płaskiej fali elektromagnetycznej wyprowadził wzory na transformację jej częstotliwości (zjawisko Dopplera), kierunku propagacji (aberracja) i amplitudy.
 - Otrzymał wzory na podłużną i poprzeczną masę oraz energię kinetyczną elektronu poruszającego się w polu elektromagnetycznym z małym przyspieszeniem.

-
- Względność jednoczesności to zjawisko polegające na tym, że zdarzenia jednoczesne w danym inercyjnym układzie odniesienia nie muszą być jednoczesne w innych układach.
 - Dwa zdarzenia są równoczesne we wszystkich inercyjnym układach odniesienia wtedy i tylko wtedy, gdy w jednym z tych układów są równoczesne i zaszły w tym samym miejscu (punkcie).

- Transformacje Lorentza to relacje między kartezjańskimi współrzędnymi danego zdarzenia wyznaczonymi w dwóch różnych inercjalnych układach odniesienia.



$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

- Relatywistyczna kontrakcja długości to zjawisko polegające na tym, że długość prętów zależy od stanu ruchu obserwatora inercyjnego.
- Pomiar długości pręta poruszającego się względem obserwatora daje wynik mniejszy od pomiaru długości pręta spoczywającego względem obserwatora.

- Relatywistyczna dylatacja czasu to zjawisko polegające na tym, że odstęp czasu między dwoma zdarzeniami zależy od stanu ruchu obserwatora inercyjnego.
- Odstęp czasu między dwoma danymi zdarzeniami zachodzącymi w poruszającym się układzie w miejscu znajdowania się zegara jest mniejszy niż odstęp czasu między tymi zdarzeniami zmierzony w układzie spoczywającym zegarami znajdującymi się w miejscach określonych przez współrzędne przestrzenne rozważanych zdarzeń.
- Należy podkreślić, odległość czasoprzestrzenna między tymi zdarzeniami jest dla wszystkich inercjalnych obserwatorów taka sama.

- Relatywistyczne prawo składania prędkości równoległych to relacja między równoległymi prędkościami względem różnych inercjalnych układów odniesienia.

$$v = \frac{V + v'}{1 + \frac{Vv'}{c^2}}$$

- V – prędkość z jaką układ primowany porusza się względem układu nieprimowanego

-
- Relatywistyczny efekt Dopplera to zjawisko polegające na pozornej zmianie częstotliwości źródła światła spowodowanej względnym ruchem obserwatora i źródła.

- Energia spoczynkowa to energia równoważna masie (m) ciała spoczywającego względem inercjalnego układu odniesienia.

$$E_0 = mc^2$$

- Powyższy wzór Einstein uzasadnił 27 września 1905.

Ogólna Teoria Względności

- 25 listopada 1915 uważany jest za datę powstania Ogólnej Teorii Względności. Tego dnia na posiedzeniu Królewskiej Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie Einstein przedstawił pracę kończącą ośmioletni etap formułowania OTW.
- Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.

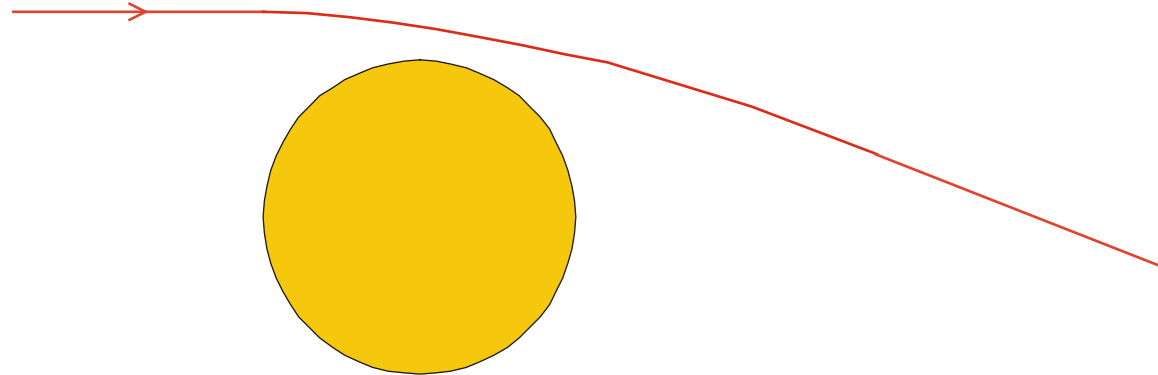
-
- Maksymalna wartość prędkości rozchodzenia się sygnałów jest taka sama we wszystkich układach odniesienia.
 - Definicje wielkości fizycznych oraz prawa (równania) fizyki można tak sformułować, aby ich ogólna postać była taka sama we wszystkich układach odniesienia.
 - Metryka czasoprzestrzeni zależy od rozkładu gęstości energii wszelakiej postaci.
 - Masa inercyjna jest równa masie grawitacyjnej.

- Równania pola grawitacyjnego to podstawowe równania ogólnej teorii względności opisujące pole grawitacyjne.

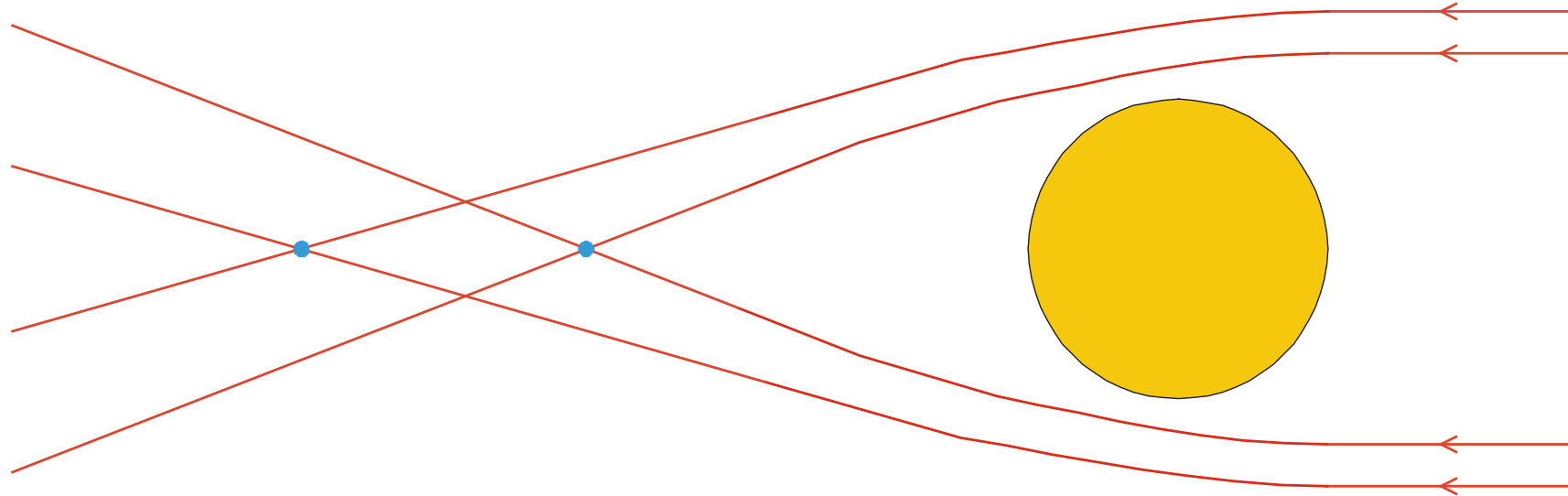
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

- Równania pola grawitacyjnego przedstawili: Einstein na posiedzeniu Królewskiej Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie 25 listopada 1915 oraz niezależnie Hilbert na posiedzeniu Królewskiego Towarzystwa Naukowego w Getyndze 20 listopada 1915.
- David Hilbert (1862-1943), niemiecki matematyk.

- Grawitacyjna dyfrakcja to zjawisko polegające na ugięciu promieni świetlnych przelatujących w pobliżu Słońca lub innej gwiazdy.
- Ugięcie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym przewidział Einstein w 1907 i dokładnie obliczył w 1915.
- Przeprowadzone 29 maja 1919 pod kierunkiem Eddingtona obserwacje zaćmienia Słońca potwierdziły przewidziane przez ogólną teorię względności odchylenie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym tej gwiazdy.
- Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944), brytyjski astronom, astrofizyk, fizyk i matematyk.



- Soczewka grawitacyjna to pole grawitacyjne działające na wiązkę fal elektromagnetycznych jak soczewka o wielu ogniskach. Dla promieni biegnących dalej od źródła pola grawitacyjnego ogniskowa jest większa.



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

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

- Grawitacyjne poczerwienienie to zjawisko polegające na tym, że widmo światła docierającego do Ziemi ze źródła znajdującego się na masywnym obiekcie nieruchomym względem Ziemi jest przesunięte ku czerwieni w stosunku do widma światła emitowanego z identycznego źródła znajdującego się na Ziemi.
- Grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni przewidział Einstein w 1907.
- Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.

- Einstein wyjaśnił jakościowo i ilościowo 18 listopada 1915 anomalny obrót peryhelium Merkurego (i pozostałych planet). Obliczony dodatkowy kąt obrotu peryhelium Merkurego w ciągu stu lat wynosi $43''$, co pozostaje w idealnej zgodności z pomiarami.
- Le Verrier pierwszy zaobserwował (1859), że peryhelium Merkurego przesuwają się o 574 sekundy kątowe na stulecie wskutek ruchu tej planety po rozecie eliptycznej, z czego 43 sekundy kątowe (38 sekund kątowych wg oryginalnej pracy) nie dają się wyjaśnić przez teorię Newtona.
- Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877), francuski astronom.

Kosmologia relatywistyczna

- Kosmologia relatywistyczna to nauka zajmująca się badaniem własności wszechświata w ramach ogólnej teorii względności.
- 8 lutego 1917 uważany jest za datę powstania kosmologii relatywistycznej. W tym dniu na posiedzeniu Królewskiej Pruskiej Akademii Nauk Einstein przedstawił pierwszy model wszechświata, zgodny z ówczesnymi obserwacjami astronomicznymi. Model ten opisywał wszechświat statyczny, jednorodny, skończony (ale nieograniczony), o stałej niezależnej od czasu krzywiznie przestrzeni.
- Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.

Fale grawitacyjne

- Fale grawitacyjne stanowią rozchodzące się w przestrzeni zaburzenia pola grawitacyjnego w postaci zmian składowych tensora metrycznego. Fale grawitacyjne są falami poprzecznymi, ich szybkość w próżni jest równa szybkości światła.
- Teorię fal grawitacyjnych sformułował Einstein w 1916.
- W 1979 Taylor wykazał, że podwójny pulsar (PSR B1913+16) emituje fale grawitacyjne. Po czterech latach obserwacji zarejestrował, że okres obiegu orbity pulsara zmniejsza o 75 milionowych części sekundy na rok. Jest to spowodowane emisją fal grawitacyjnych. Pulsar i jego towarzysz tracą energię i zbliżają się do siebie. Zgodnie z trzecim prawem Keplera okres obiegu orbity staje się krótszy.

-
- Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.
 - Joseph Hooton Taylor (ur. 1941), amerykański astrofizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1993.

Ogólnie kowariantna elektrodynamika

- Einstein zapisał 3 lutego 1916 równania Maxwella w postaci ogólnie kowariantnej, wcześniej uczynił to również w 1913 oraz 1914.
- Z równań tych wynika, że pole grawitacyjne wpływa na zjawiska elektromagnetyczne.
- James Clerk Maxwell (1831-1879), szkocki fizyk teoretyk.

- Klasyczne równania Maxwella

$$\text{rot}\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\text{div}\mathbf{B} = 0$$

$$\text{rot}\mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}$$

$$\text{div}\mathbf{D} = \rho$$

- Zmodyfikowane równania Maxwella

$$\text{rot}(\sqrt{g}\mathbf{E}) = -\frac{\partial(\sqrt{g}\mathbf{B})}{\partial t}$$

$$\text{div}(\sqrt{g}\mathbf{B}) = 0$$

$$\text{rot}(\sqrt{g}\mathbf{H}) = \sqrt{g}\mathbf{j} + \frac{\partial(\sqrt{g}\mathbf{D})}{\partial t}$$

$$\text{div}(\sqrt{g}\mathbf{D}) = \sqrt{g}\rho$$

- g – wyznacznik tensora metrycznego czasoprzestrzeni

Emisja wymuszona

-
- Emisja wymuszona polega na przejściu atomu lub cząsteczki ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego wywołane przez foton. Przy czym foton wymuszający emisję nie jest pochłaniany, ma fazę i częstotliwość taką jak foton emitowany.
 - Zjawisko emisji wymuszonej przewidział Einstein w pracach z lat 1916 i 1917.
 - Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.

- Emisja wymuszona stanowi podstawę działania laserów, maserów oraz graserów, czyli źródeł spójnego światła monochromatycznego.

Nazwa **LASER** pochodzi od pierwszych liter angielskich słów **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation.

Nazwa **MASER** pochodzi od pierwszych liter angielskich słów **M**icrowave **A**mplification by **S**timulated **E**mission.

Nazwa **GRASER** pochodzi od pierwszych liter angielskich słów **G**amma-**R**ay **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation.

Statystyka Bosego-Einsteina

-
- Statystyka Bosego-Einsteina jest statystyką kwantową, której podlega układ identycznych bozonów.
 - Statystykę Bosego-Einsteina podał dla fotonów Bose w 1924, a następnie uogólnił Einstein w latach 1924-1925.
 - Satyendra Nath Bose (1894-1974), hinduski fizyk teoretyk.
 - Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.

-
- Bozony są cząstkami elementarnymi o spinach całkowitych. Bozony podlegają statystyce Bosego-Einsteina oraz nie spełniają zakazu Pauliego. Bozonami są mezony oraz nośniki oddziaływań silnych, słabych i elektromagnetycznych. Najbardziej znanym bozonem jest foton, którego spin ma wartość równą 1.
 - Nazwa bozon pochodzi od nazwiska Bose.
 - Wolfgang Pauli (1900-1958), szwajcarski fizyk teoretyk pochodzenia austriackiego, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1945.

-
- Kondensat Bosego-Einsteina jest nową formą materii, tworzą ją identyczne bozony, które w temperaturze bliskiej zera bezwzględnego znajdują się w takim samym stanie kwantowym o najniższej dozwolonej energii. Bozony te zachowują się jak pojedynczy „superatom”.
 - Istnienie kondensatu zostało przewidziane niezależnie przez Bosego i Einsteina w 1924.

- Pierwszy kondensat utworzyli Cornell, Wieman i współpracownicy 5 czerwca 1995 w Joint Institute for Laboratory Astrophysics w Boulder (Kolorado). Ochłodzili oni 2000 atomów rubidu $^{87}_{37}\text{Rb}$ do temperatury $1,7 \cdot 10^{-7} \text{ K}$, uzyskali kondensat Bosego-Einsteina i utrzymali go przez 10 sekund.
- Eric Allin Cornell (ur. 1961), amerykański fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 2001.
- Carl Edwin Wieman (ur. 1951), amerykański fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 2001.

Efekt Einsteina-de Haasa

- Efekt Einsteina-de Haasa należy do grupy zjawisk magneto-mechanicznych i polega na pojawieniu się mechanicznego obrotu, spowodowanego zmianą namagnesowania wzdłuż osi obrotu, odpowiednio podwieszzonego ferromagnetyka.
- Efekt Einsteina-de Haasa został odkryty eksperymentalnie oraz wyjaśniony teoretycznie przez Einsteina i de Haasa w 1915.
- Zjawisko to zostało przewidziane przez Richardsona w 1908.
- Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.
- Wander Johannes de Haas (1878-1960), holenderski fizyk i matematyk.
- Sir Owen Willans Richardson (1879-1959), angielski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1928.

-
- Efektem odwrotnym do efektu Einsteina-de Haasa jest efekt Barnetta polegający na zmianie namagnesowania obracającego się ferromagnetyka (magnesowanie przez obracanie).
 - Efekt Barnetta został odkryty przez Barnetta w 1915.
 - Samuel Barnett (1873-1956), amerykański fizyk.

Historia Fizyki

11



Zbigniew Osiak

**Wkład
Einsteina
do fizyki**