

# Fizyka mało znana



Zbigniew Osiak

**Słynne  
paradoksy  
fizyki**

**08**

## **ORCID**

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>

## **OZNACZENIA**

**B** – notka biograficzna

**C** – ciekawostka

**D** – propozycja wykonania doświadczenia

**H** – informacja dotycząca historii fizyki

**I** – adres strony internetowej

**K** – komentarz

**P** – przykład

**U** – uwaga

**Zbigniew Osiak** (Tekst)

**FIZYKA MAŁO ZNANA**  
Słynne paradoksy fizyki

**Małgorzata Osiak** (Ilustracje)

© Copyright 2014 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: 978-83-272-4253-2

e-mail: [zbigniew.osiak@gmail.com](mailto:zbigniew.osiak@gmail.com)

“*Fizyka mało znana – Słynne paradoksy fizyki*” zawiera pomocnicze materiały do prowadzonego przeze mnie seminarium dla słuchaczy Uniwersytetu Trzeciego Wieku w Uniwersytecie Wrocławskim.

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

Z. Osiak: *Elektryczność*. Self Publishing (2011).

Z. Osiak: *Szczególne 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: *Zadania Problemowe z Fizyki*. Self Publishing (2011).

Seminarium

---

# FIZYKA MAŁO ZNANA

## Słynne paradoksy fizyki

**dr Zbigniew Osiak**

Portrety i rysunki wykonała

**Małgorzata Osiak**

- 
- Paradoks
  - Paradoksy Zenona z Elei
  - Paradoks hydrostatyczny
  - Paradoks hydrodynamiczny
  - Paradoks aerodynamiczny
  - Paradoks Loschmidta
  - Paradoks satelitarny
  - Paradoks błękitnego nieba
  - Dualizm falowo korpuskularny
  - Paradoks Einsteina-Podolskiego-Rosena (Paradoks EPR)
  - Paradoks Ehrenfesta
  - Relatywistyczna dylatacja czasu
  - Paradoks bliźniąt (Paradoks zegarów)
  - Grawitacyjna dylatacja czasu
  - Grawitacyjna kontrakcja odległości
  - Paradoks Silbersteina

- 
- Paradoks grawitacyjny
  - Paradoks Olbersa (Paradoks fotometryczny)
  - Problem horyzontu
  - Problem płaskości
  - Paradoks fotonowy



- 
- Paradoks to twierdzenie sprzeczne ze zdrowym rozsądkiem lub doświadczeniem.
  - Najczęściej paradoksy są wynikiem błędnych założeń **lub/i** błędu w dowodzie.
  - Przykładami paradoksów zgodnych z doświadczeniem a sprzecznych ze zdrowym rozsądkiem są paradoks hydrostatyczny oraz paradoks satelitarny.
  - Przykładami paradoksów zgodnych ze zdrowym rozsądkiem a sprzecznych z doświadczeniem są paradoks grawitacyjny, oraz paradoks Olbersa.

- Paradoksy Zenona z Elei dotyczą ruchu. Zostały przedstawione przez Arystotelesa w jego *Fizyce*. Poniżej podamy dwa z nich: paradoks dychotomii oraz paradoks strzały.

### **Paradoks dychotomii**

Jeżeli chcemy pokonać jakąś trasę, to najpierw musimy pokonać połowę tej trasy, z kolei żeby pokonać połowę trasy, musimy pokonać jedną czwartą trasy, czyli połowę połowy, następnie żeby pokonać jedną czwartą, musimy pokonać jedną ósmą i tak w nieskończoność. Konkluzją Zenona z Elei było stwierdzenie, że pokonanie konkretnej trasy jest niemożliwe. Wnioskując dalej, niemożliwy jest ruch.

### **Paradoks strzały**

Strzała poruszając się, w każdej chwili znajduje się w odpowiednim punkcie przestrzeni w spoczynku. Jeżeli strzała w każdej chwili spoczywa, to zdaniem Zenona z Elei ruch jest niemożliwy.

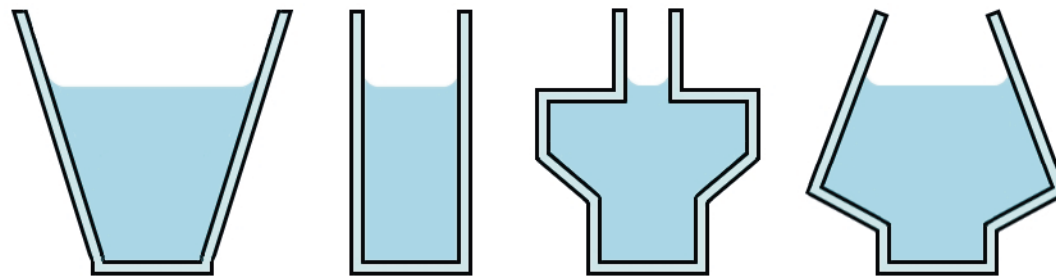
**B** Zenon z Elei (ok. 490 - ok. 430 p.n.e.), grecki filozof.

**B** Arystoteles (384-322 p.n.e.), grecki filozof.

- Paradoks hydrostatyczny to twierdzenie stanowiące, że wartość parcia cieczy na dno unieruchomionego naczynia nie zależy od kształtu naczynia oraz ilości znajdującej się w nim cieczy. Zależy jedynie od wysokości słupa cieczy, jej gęstości oraz od pola powierzchni dna naczynia.

**H** Paradoks hydrostatyczny został sformułowany przez Stevina w 1586.

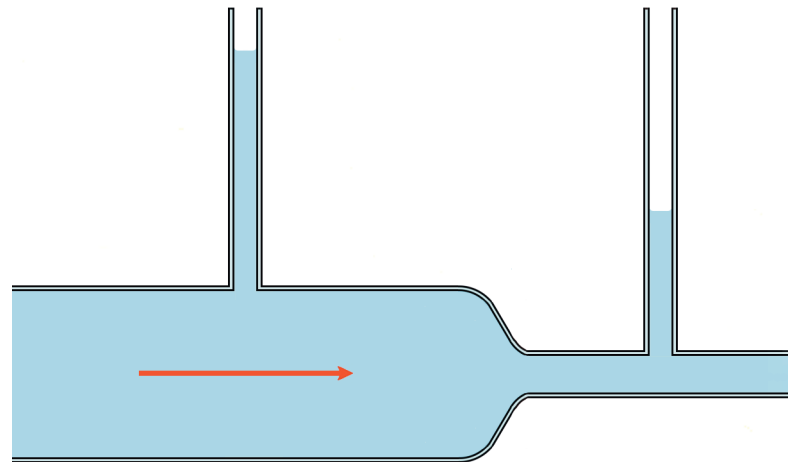
**B** Simon Stevin (1548-1620), flamandzki inżynier i matematyk.



- Wartość parcia cieczy na dno jest taka sama w każdym z tych naczyń.

- Paradoks hydrodynamiczny to paradoks, wynikający z równania Bernoulliego.
- W strumieniu przepływającej cieczy ciśnienie statyczne jest tym mniejsze, im prędkość cieczy jest większa.

**B** Daniel Bernoulli (1700-1782), szwajcarski matematyk, fizyk i lekarz.



- W wąskiej części poziomej rury ciśnienie statyczne jest mniejsze niż w szerokiej, ponieważ ciecz przepływa tam szybciej niż w szerokiej części rury.

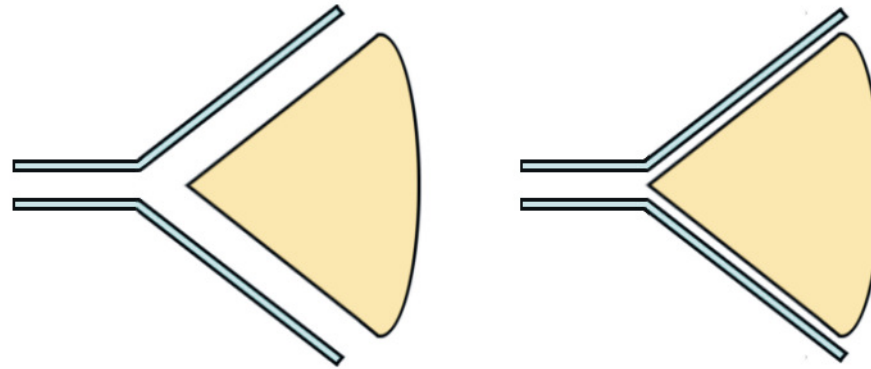
- Paradoks aerodynamiczny, nazywany też zjawiskiem Venturiego, polega na zmniejszeniu się ciśnienia statycznego w strumieniu przepływającego gazu.

**P** Wdmuchiwanie powietrza pomiędzy dwie równoległe kartki papieru, podwieszono pionowo, powoduje ich zetknięcie.

**P** Piłeczka ping-pongowa nie wypadnie z lejka, jeżeli będziemy wdmuchiwać do niego powietrze.

**C** Wiatr, zrywający dach dwuspadowy, unosi go do góry.

**B** Giovanni Battista Venturi (1746-1822), włoski fizyk.



- Jeżeli będziemy wdmuchiwali powietrze do lejka, to papierowy stożek z niego nie wypadnie.

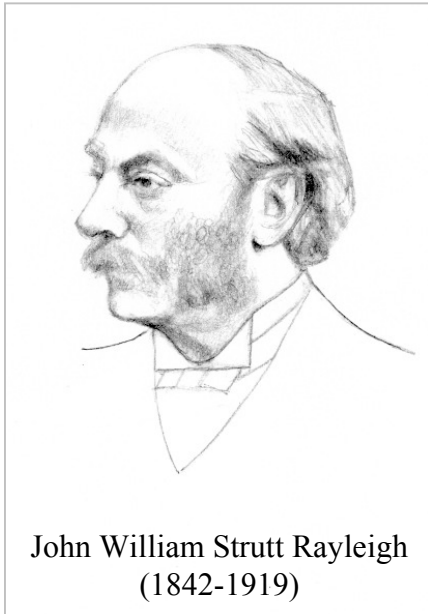
- Paradoks Loschmidta dotyczy związku jaki istnieje pomiędzy termodynamiką a mechaniką. Jak to jest możliwe, że za pomocą odwracalnych w czasie praw mechaniki można opisać nieodwracalne procesy termodynamiczne?

**H** Paradoks ten został sformułowany przez Loschmidta w 1876.

**B** Johann Josef Loschmidt (1821-1895), austriacki fizyk.



- 
- Paradoks satelitarny stanowi, że satelita wskutek tarcia o atmosferę zwiększa swoją prędkość.



John William Strutt Rayleigh  
(1842-1919)

- Paradoks błękitnego nieba bywa formułowany w postaci pytania: Dlaczego niebo jest niebieskie a Słońce żółte?
- W 1899 Rayleigh opublikował prawo stanowiące, że natężenie światła rozproszonego ( $I$ ) jest odwrotnie proporcjonalne do czwartej potęgi długości fali ( $\lambda$ ).

$$I \sim \frac{1}{\lambda^4}$$

- Błękitny kolor nieba jest wynikiem rozpraszania światła słonecznego w atmosferze.

**B** John William Strutt Rayleigh (1842-1919), brytyjski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1904.

• J. W. S. Rayleigh: *On the Transmission of Light Through an Atmosphere Containing Small Particles on Suspension, and on the Origin of the Blue of the Sky*. Philosophical Magazine and Journal of Science **47** (1899) 375-384.

---

**C** Słońce oglądane z powierzchni Księżyca, który pozbawiony jest atmosfery, jest białe a niebo czarne.

- Dualizm falowo korpuskularny jest poglądem, według którego w pewnych zjawiskach fale mogą zachowywać się jak cząstki, a cząstki jak fale.

**P** W zjawisku fotoelektrycznym fale elektromagnetyczne zachowują się jak fotony.

**P** Elektrony, przejawiając własności falowe, ulegają dyfrakcji.

- Paradoks EPR związany jest z zasadą zakazu Pauliego.
- Każdej zmianie spinu jednego z dwóch elektronów znajdujących się w stanie singletowym (o całkowitym spinie równym zero) musi towarzyszyć zmiana spinu drugiego elektronu. Co by się stało, gdyby istniały tylko dwa elektrony znajdujące się w bardzo dużej odległości od siebie?

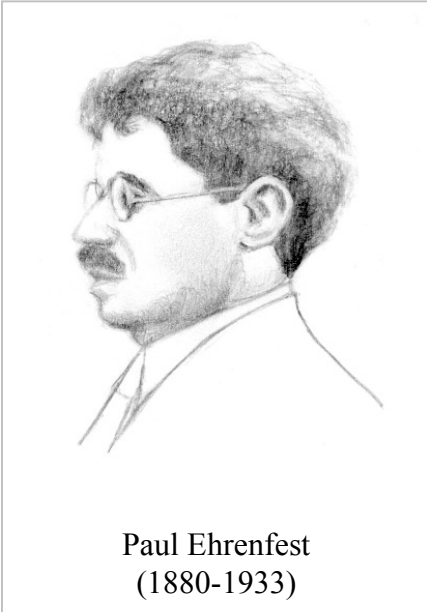
**H** Paradoks EPR sformułowali Albert Einstein, Borys Podolski i Nathan Rosen w 1935.

**B** Wolfgang Pauli (1900-1958), szwajcarski fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1945.

**B** Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1921.

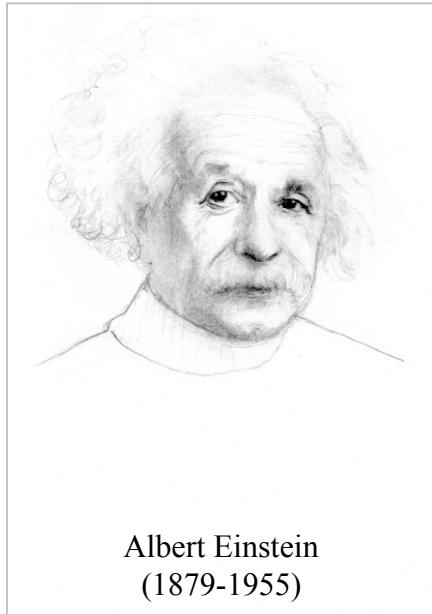
**B** Borys Podolski (1896-1966), amerykański fizyk teoretyk.

**B** Nathan Rosen (1909-1995), amerykańsko-izraelski fizyk teoretyk.



Paul Ehrenfest  
(1880-1933)

- Paradoks Ehrenfesta to paradoks szczególnej teorii względności dotyczący obrotu bryły sztywnej np. dysku, sformułowany przez holenderskiego fizyka teoretyka Paula Ehrenfesta w 1909.
- Względem obserwatora znajdującego się na osi obrotu promień dysku powinien być stały podczas obrotu a obwód dysku powinien się zmniejszać.



Albert Einstein  
(1879-1955)

- Dylatacja czasu to zjawisko polegające na tym, że odstęp czasu między dwoma zdarzeniami w układzie własnym jest mniejszy niż odstęp czasu między tymi dwoma zdarzeniami w układzie laboratoryjnym.
- Odstęp czasu między dwoma zdarzeniami zależy od stanu ruchu obserwatora inercyjnego.
- Należy podkreślić, że odległość czasoprzestrzenna między dwoma zdarzeniami nie zależy od stanu ruchu obserwatora inercyjnego.

**H** Relatywistyczna dylatacja czasu jest wnioskiem wynikającym ze szczególnej teorii względności sformułowanej w 1905 przez Alberta Einsteina.

**B** Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.

- W szczególnym przypadku, gdy zdarzenia zachodzą w danym miejscu poruszającego się układu, mamy:

$$\Delta t' = \Delta t \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}, \quad \Delta t' < \Delta t$$

- $\Delta t'$  – odstęp czasu między dwoma zdarzeniami zachodzącymi w tym samym miejscu primowanego układu odniesienia, zmierzony zegarem znajdującym się też w tym miejscu
- $\Delta t$  – odstęp czasu między tymi zdarzeniami zmierzony zegarami znajdującym się w nieprimowanym układzie odniesienia w miejscach określonych przez współrzędne przestrzenne rozważanych zdarzeń
- $V$  – prędkość skierowana wzdłuż osi  $X$ , z jaką układ primowany porusza się względem układu nieprimowanego, w chwili początkowej osie obu układów pokrywały się
- $c$  – wartość prędkości światła w próżni w układzie inercyjnym



$$(\Delta x)^2 - c^2(\Delta t)^2 = (\Delta x')^2 - c^2(\Delta t')^2$$

$$\downarrow \Delta x' = 0$$

$$(\Delta x)^2 - c^2(\Delta t)^2 = -c^2(\Delta t')^2$$

$$-c^2(\Delta t)^2 \left[ 1 - \frac{(\Delta x)^2}{c^2(\Delta t)^2} \right] = -c^2(\Delta t')^2$$

$$\downarrow v^2 = \frac{(\Delta x)^2}{(\Delta t)^2}$$

$$(\Delta t')^2 = (\Delta t)^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\Delta t' = \Delta t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad \Delta t' < \Delta t$$

- W szybko poruszającym się układzie inercyjnym:
  - żyjemy dłużej
  - starzejemy się wolniej
  - czas płynie wolniej
  - zegar spóźnia się
  - odstęp czasu między dwoma zdarzeniami zmniejsza się

- Paradoks bliźniąt to paradoks związany z dylatacją czasu.
- Jeden z braci bliźniaków wyruszył szybką rakieta w podróż kosmiczną. Następnie powrócił na Ziemię. Ponieważ podczas rozłąki poruszali się względem siebie, każdy z nich sądził, że będzie młodszy od brata.

- 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.
- W słabszym polu grawitacyjnym:
  - żyjemy krócej
  - starzejemy się szybciej
  - czas płynie szybciej
  - zegar spieszy się
  - odstęp czasu między dwoma zdarzeniami zwiększa się

- 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.

- 
- Silberstein uzasadnił w 1918, że teoria Einsteina prowadzi do absurdalnej konkluzji, którą Eddington nazwał paradoksem Silbersteina: „Jednorodne ciało może mieć tylko kształt kuli”.
  - Powyższy wynik jest słuszny, jeżeli zaniedbać wewnętrzne ciśnienia, siły molekularne itp.

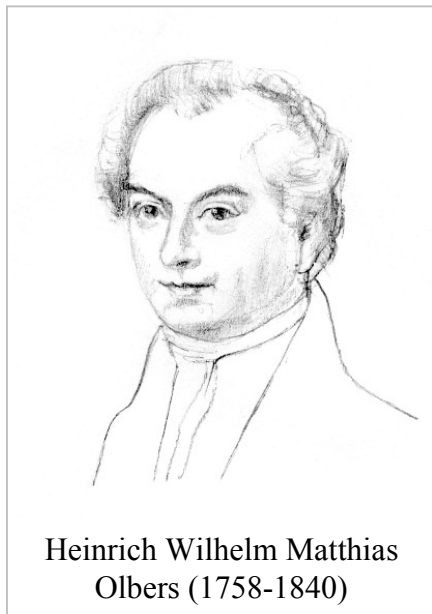
**B** Ludwig Silberstein (1872-1948), polski fizyk teoretyk.

**B** Arthur Eddington (1882-1944), brytyjski astrofizyk.

- Paradoks grawitacyjny to paradoks sformułowany w 1895 przez Seeligera: „Zgodnie z teorią grawitacji Newtona w nieskończonym wszechświecie, jednorodnie wypełnionym materią, siła grawitacji działająca na cząstkę próbną powinna być nieskończenie wielka”.

**K** W nieskończonym wszechświecie, jednorodnie wypełnionym materią, każdy punkt można traktować jako środek kuli o nieskończonym promieniu. Zgodnie z prawem Gaussa w centrum takiej kuli pole grawitacyjne znika. Paradoks Seeligera wynika z założenia, że każdy punkt można traktować jako leżący na sferze o nieskończonym promieniu.

**B** Hugo Hans Ritter von Seeliger (1849-1924), niemiecki astronom.



Heinrich Wilhelm Matthias  
Olbers (1758-1840)

- Paradoks fotometryczny to paradoks sformułowany w 1826 przez niemieckiego astronoma i lekarza Olbersa: „Skoro wszechświat jest statyczny, jednorodny i nieskończony w czasie i przestrzeni, to dlaczego niebo w nocy jest ciemne?”.
- Olbers próbował wytłumaczyć ten paradoks, przyjmując, że materia międzygwiazdna pochłania zdążające ku Ziemi światło.
- Paradoks Olbersa rozwiązano dopiero prawie sto lat później w ramach teorii rozszerzającego się wszechświata Friedmana i bazującej na niej hipotezie wielkiego wybuchu.
- Niebo w nocy jest ciemne, ponieważ wiek wszechświata jest skończony i światło z odległych gwiazd jeszcze nie zdążyło dotrzeć do nas, a ponadto jego widmo jest przesunięte ku czerwieni.





Charles William Misner  
(ur. 1932)

- Problem horyzontu to paradoks związany z teorią wielkiego wybuchu.
- 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 symetrycznie względem nas po przeciwnych

stronach na horyzoncie obserwowalnego wszechświata, skoro w chwili dotarcia do Ziemi światło zdążyło pokonać dopiero połowę odległości między nimi?

**H** Paradoks horyzontu stawiało wielu kosmologów, w tym amerykański astronom i fizyk Misner w 1969.

- Problem płaskości to paradoks związany z teorią wielkiego wybuchu.
- W sekundę po wielkim wybuchu gęstość materii we wszechświecie powinna być zbliżona z dokładnością do piętnastego miejsca po przecinku do wartości krytycznej, czyli takiej, przy której wszechświat staje się przestrzennie płaski, a szybkość ekspansji ulega spowolnieniu.
- W przeciwnym przypadku nastąpiłby wielki kolaps lub stan rozrzedzenia uniemożliwiający powstanie galaktyk.

**H** Problem płaskości sformułowali Dicke i Peebles w 1979.

**B** (Phillip) James Edwin Peebles (ur. 1935), amerykański kosmolog pochodzenia kanadyjskiego.

**B** Robert Henry Dicke (1904-1998), amerykański fizyk.

- Teoria względności zarówno szczególna jak i ogólna jest ściśle związana z falową teorią światła. Próba wyjaśnienia grawitacyjnego przesunięcia ku czerwieni na gruncie fotonowej teorii światła prowadzi do paradoksu nazwanego przeze mnie paradoksem fotonowym.
- Grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni polega na tym, że widmo światła docierającego do Ziemi ze Słońca lub innych gwiazd jest przesunięte w stronę dłuższych fal w stosunku do analogicznego widma światła pochodzącego z emitera znajdującego się na Ziemi.
- Pojęcie fotonu w kontekście metryk Schwarzschilda oraz Friedmana-Lemaître'a-Robertsona-Walkera prowadzi do paradoksu. Obliczając wpływ tych metryk na energię fotonu ze wzoru  $E \sim 1/T$  lub równoważnego  $E \sim 1/\lambda$ , otrzymujemy różne wyniki w zależności od użytego wzoru.

\* Z. Osiak: *Antygravitacja*. Self Publishing (2012). ISBN: 978-83-272-3649-4

\* Z. Osiak: *Anti-gravity*. viXra:1612.0062 (2016)

- Paradoks fotonowy nie ma miejsca w czasoprzestrzeniach konforemnie płaskich. W pozostałych czasoprzestrzeniach jednym z rozwiązań paradoksu fotonowego jest założenie, że energia fotonu zależy od punktu czasoprzestrzeni, w którym nastąpiła jego emisja i pozostaje stała podczas wędrówki fotonu. Oznacza to, że fotony mają pamięć, lub bardziej uczenie – energia fotonu jest niezmiennikiem. Przy czym, w silniejszym polu grawitacyjnym dane źródło powinno wysyłać fotony o mniejszej energii niż to samo źródło znajdujące się w słabszym polu.

\* Z. Osiak: *Antygravitacja*. Self Publishing (2012). ISBN: 978-83-272-3649-4

\* Z. Osiak: *Anti-gravity*. viXra:1612.0062 (2016)



# Fizyka mało znana



Zbigniew Osiak

**Słynne  
paradoksy  
fizyki**

**08**