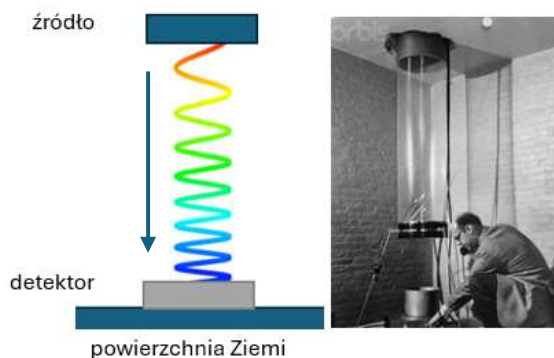




Eksperyment Pounda i Rebki (Harvard, 1959)

Cel:

Sprawdzenie przewidywanego przez ogólną teorię względności **grawitacyjnego przesunięcia ku czerwieni (ku niebieskiemu)**, czyli zmiany częstotliwości światła (lub promieniowania gamma) podczas przemieszczania się w polu grawitacyjnym.



Założenie OTW:

Jeśli foton porusza się *w dół* w polu grawitacyjnym (np. ze źródła znajdującego się wyżej), jego częstotliwość **rośnie** — następuje **przesunięcie ku niebieskiemu**:

$$\nu' = \nu \left(1 + \frac{gL}{c^2} \right)$$

Grawitacyjna zmiana częstotliwości

Dane:

- Częstotliwość fali gamma: $\nu = 1,07 \times 10^{19} \text{ Hz}$
- Wysokość źródła: $L = 20 \text{ m}$
- Przyspieszenie ziemskie: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Stała Plancka: $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
- Prędkość światła: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Oblicz

Energia kwantu gamma: $E = 7,090 \times 10^{-15} \text{ J}$

Masa grawitacyjna kwantu: $m = 7,878 \times 10^{-32} \text{ kg}$

Energia potencjalna (zyskana przy spadku): $E_p = 1,546 \times 10^{-29} \text{ J}$

Częstotliwość fali gamma: $\nu = 1,0700000000000000622 \times 10^{19} \text{ Hz}$

Częstotliwość odebrana: $\nu' = 1,0700000000000025047 \times 10^{19} \text{ Hz}$

Przyrost częstotliwości: $\Delta\nu = 2,4576000 \times 10^4 \text{ Hz}$

Względna zmiana częstotliwości: $\frac{\Delta\nu}{\nu} = 2,297 \times 10^{-15}$



Warunki eksperymentu:

Częstotliwość fotonów γ	$\nu = 1,07 \times 10^{19} \text{ Hz}$
Wysokość źródła nad detektorem	$L = 22,5 \text{ m}$
Stała Plancka	$h = 6,62607015 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
Prędkość światła	$c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$
Przyspieszenie ziemskie	$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$

12 Obliczenia krok po kroku:

1. Obliczamy względne przesunięcie częstotliwości

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{gL}{c^2} = \frac{9,80665 \cdot 22,5}{(2,99792458 \times 10^8)^2}$$

$$\frac{gL}{c^2} = \frac{220,649625}{8,987551787 \times 10^{16}} \approx 2,455 \times 10^{-15}$$

2. Obliczamy bezwzględny przyrost częstotliwości

$$\Delta\nu = \nu \cdot \frac{gL}{c^2} = 1,07 \times 10^{19} \cdot 2,455 \times 10^{-15} \approx 2,627 \times 10^4 \text{ Hz}$$

3. Obliczamy nową częstotliwość (odebraną przez detektor)

$$\nu' = \nu + \Delta\nu = 1,07 \times 10^{19} + 2,627 \times 10^4 \approx 1,0700000000000263 \times 10^{19} \text{ Hz}$$

4. Energia kwantu gamma (dla ν)

$$E = h \cdot \nu = 6,62607015 \times 10^{-34} \cdot 1,07 \times 10^{19} = 7,090 \times 10^{-15} \text{ J}$$

5. Masa grawitacyjna kwantu (E/c^2)

$$m_g = \frac{E}{c^2} = \frac{7,090 \times 10^{-15}}{(2,99792458 \times 10^8)^2} \approx 7,89 \times 10^{-32} \text{ kg}$$

6. Energia potencjalna zyskiwana przez kwant gamma

$$E_p = m_g \cdot g \cdot L = 7,89 \times 10^{-32} \cdot 9,80665 \cdot 22,5 \approx 1,75 \times 10^{-29} \text{ J}$$

GRAVITATIONAL RED-SHIFT IN NUCLEAR RESONANCE

R. V. Pound and G. A. Rebka, Jr.
Lyman Laboratory of Physics, Harvard University, Cambridge, Massachusetts
(Received October 15, 1959)

$$\Delta\nu_h = \nu_h - \nu_0 = \nu_0 \frac{gh}{c^2} (1 + h/R)$$

$$\approx \nu_0 h \times (1,09 \times 10^{-18})$$

Spróbujcie uzasadnić wzór z oryginalnej pracy Pounda i Rebki.