

Trzy niezwykle liczby

Wszechświat powstał wraz ze swoimi uniwersalnymi prawami fizyki. Działają one zawsze i na wszystkich poziomach złożoności. Fizyka jest niezwykle piękną dziedziną, bo dzięki niej możemy te prawa poznawać. A dzięki nim mamy poczucie rozumienia przyrody, która mimo swej różnorodności ma podłoże cudownie spójne, logiczne i mało skomplikowane.

Maciej Panczykowski

W prawach fizyki zauważyć możemy obecność pewnych stałych, które są ważne i łatwo przez fizyków rozpoznawalne. Mam tu na myśli: prędkość światła w próżni oznaczaną symbolem „ c ”, stałą Plancka z symbolem „ h ” i stałą grawitacyjną – oznaczaną jako „ G ”.

Oto ich wartości przy jednostkach z układu SI:

c : 299 792 458 m/s

h : $6,626 \cdot 10^{-34}$ J · s

G : $6,674 \cdot 10^{-11}$ N · m²/kg²

Prędkość światła w próżni jest stałą, która szczególnie często występuje we wzorach szczególnej teorii względności. Stała grawitacyjna znana jest z matematycznej postaci prawa powszechnego ciążenia ($F = GMm/r^2$), a stała Plancka jest integralną częścią najważniejszego w mechanice kwantowej **równania Schrödingera** i występuje też we wzorze na energię fotonu ($E = hv$).

Można znaleźć też w fizyce obszary, w których ważne są dwie z trzech omawianych w tym artykule stałych. W ogólnej teorii względności, będącej relatywistyczną teorią grawitacji, w najważniejszym jej równaniu czterotensorowym występują stałe: „ G ” i „ c ”:

$$G_{\mu\nu} = \frac{-8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

gdzie: $G_{\mu\nu}$ – tensor Einsteina, $T_{\mu\nu}$ – tensor energii-pędu.

W relatywistycznej teorii kwantowej oddziaływań elektromagnetycznych – **elektrodynamice kwantowej** (QED) ważne są stałe: „ h ” i „ c ”. Przykładem jest wzór na stałą struktury subtelnej (α), będącą tak zwaną stałą sprzężenia wyznaczającą siłę oddziaływań elektromagnetycznych:

$$\alpha = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 hc} \approx \frac{1}{137}$$



Foto – Dreamstime

gdzie: e – ładunek elementarny, ε_0 – przenikalność elektryczna próżni.

Co ciekawe, znając przenikalność elektryczną i magnetyczną próżni, możemy obliczyć prędkość światła w próżni:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

Przypuszcza się, że w przypadku sformułowania z sukcesem kwantowej teorii grawitacji (kandydatki do teorii wszystkiego), w jej wzorach przewijać się będą wszystkie trzy stałe. Jak dotąd, kwantowa grawitacja nie istnieje i są duże kłopoty z jej ujęciem. Jest tak w wyniku pojawiania się w jej próbnym równaniu nieznośnych nieskończoności, których nie da się nawet usunąć za pomocą technicznego triku matematycznego (tzw. **renormalizacji**). Trik ten działa np. w przypadku QED.

Być może jest tak, że nasza wiara w to, że grawitację trzeba skwantować potrzebuje pewnej pokory. A co jeśli w przyszłości okaże się, że trzeba „ugrawiczyć” (to jest: uklasycyznić) kwanty?

Mimo, że kwantowa grawitacja jest cały czas w sferze różnych prób sformułowania, istnieją w fizyce ciekawe wzory matematyczne, w których występują wszystkie trzy stałe, będące bohaterkami tego artykułu.

Oto wzór na tak zwaną **długość Plancka** (L_P) – najkrótszą odległość jaką obecnie możemy sobie w fizyce wyobrazić, na jakiej działają znane prawa fizyki:

$$L_P = \sqrt{\frac{hG}{2\pi c^3}} = 1,616 \cdot 10^{-35} \text{ metra}$$

Długość Plancka jest o 62 rzędy wielkości krótsza niż średnica widzialnego Wszechświata (10^{27} metrów).

Jeśli w przyszłości okaże się, że przestrzeń ma strukturę ziarnistą, niekoniecznie długość Plancka okaże się być średnicą ziarna. Jest jednak ciekawe, że możliwe jest wyznaczenie z trzech wielkich stałych liczby o wymiarze długości.

Czas Plancka (t_p) – to czas potrzebny do pokonania przez światło długości Plancka:

$$t_p = \frac{L_p}{c} = \sqrt{\frac{hG}{2\pi c^5}} = 5,39 \cdot 10^{-44} \text{ sekundy}$$

Przez jeden czas Plancka, od początku Wielkiego Wybuchu, nie działały znane nam prawa fizyki.

Znany brytyjski fizyk – Stephen Hawking, podczas prac nad kwantową grawitacją, sformułował tak ciekawy wzór, że muszę go przedstawić. Zawiera oprócz trzech wielkich stałych, czwartą – ważną w fizyce – stałą Boltzmann (k) znaną ze słynnego wzoru na entropię ($S = k \cdot \ln W$). Wzór poniższy pozwala obliczyć temperaturę czarnej dziury o masie M (ma ona podobno niezerową temperaturę, bo paruje, czyli emituje cząstki elementarne).

$$T = \frac{hc^3}{16\pi^2 kGM}$$

Warto też zwrócić uwagę na poniższą liczbę. Z przyczyn historycznych nosi ona nazwę „**klasycznego promienia elektronu**” (była wyznaczana z założenia, że cała masa spoczynkowa elektronu ma pochodzenie elektromagnetyczne):

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{m_e c^2}$$

gdzie: e – ładunek elementarny, ϵ_0 – przenikalność elektryczna próżni, m_e – masa spoczynkowa elektronu

Ta liczba to około $2,8 \cdot 10^{-15}$ metra. Jest zatem rzędu femtometra i jest o 20 rzędów wielkości większa niż długość Plancka. Trzeba tu podkreślić, że rzeczywisty promień elektronu wcale nie musi mieć takiej wartości (dla będących przekonaniymi, że wcale nie jest on i nie może być ani punktem ani tajemniczą falą).

Niezwykłym i tajemniczym zjawiskiem fizyki jest anihilacja cząstki i antycząstki (np. elektronu z pozytonem). To zdumiewające, że zderzające się dwie równe masy znikają i w ich miejsce pojawiają się 2 lub 3 fotony (w zależności od ustawień spinów cząstek wejściowych). Myślę, że pokazanie mechanizmu tego fantastycznego zjawiska będzie możliwe w przyszłości tylko wtedy, gdy będziemy znali struktury: elektronu, pozytonu i fotonu.

Obliczmy „długość fali elektromagnetycznej” każdego z dwóch fotonów po anihilacji (zauważmy, że we wzorze otrzymanym obecne są dwie wielkie stałe).

$$2h\nu = 2m_e c^2$$

$$h\nu = m_e c^2$$

$$\frac{hc}{\lambda} = m_e c^2$$

$$\lambda = \frac{h}{m_e c}$$

Wzór ten jest podobny do wzoru de Broglie’a na długość fali materii cząstki o masie „m” poruszającej się z prędkością „v”: $\lambda = h/mv$. Otrzymana przez nas „długość fali elektromagnetycznej” jest taka, jaką miałby elektron (lub pozyton) poruszający się z prędkością światła (co w praktyce nie jest możliwe, bo cząstki te mają niezerową masę spoczynkową).

Wybitny polski fizyk – Michał Gryziński znany był ze swojej krytyki koncepcji fal materii. Uważał, że fale materii nie istnieją, a tylko spin cząstki dokonuje precesji podczas jej ruchu i na drodze równej długości fali materii następuje pełen jego obrót. Nie wierzył on również w fale elektromagnetyczne. Uważał, że np. światło składa się zawsze z cząstek (fotonów).

Zdecydowanie zgadzam się z takim podejściem. Matematyka i fizyka to dwie piękne dziedziny, ale nie są one identyczne i nie należy ich mieszać. I z tego wynika, moim zdaniem, cały problem kwantowych interpretacji (więcej na ten temat można przeczytać w moim artykule w nr 6/2023 Fizyki w Szkole).

Nikt jak do tej pory nie przedstawił przekonującego modelu fotonu. Byłoby świetnie wiedzieć: czym foton jest i jaką ma strukturę? Spróbuję tutaj odpowiedzieć na te pytania wykorzystując wiedzę fizyczną i myśląc.

Są w fizyce dwa wzory na energię fotonu: $E = h\nu$ (ν – częstotliwość drgań) oraz $E = pc$ (p – pęd fotonu). Idźmy dalej:

$$h\nu = pc$$

$$\frac{hc}{\lambda} = pc$$

$$\frac{h}{\lambda} = p$$

A teraz zrobmy trik i zapiszmy pęd w takiej postaci: $p = E/c = c \cdot E/c^2 = m_{rel} \cdot c$, gdzie m_{rel} to relatywistyczna masa fotonu (foton oddziałuje grawitacyjnie).

$$\frac{h}{\lambda} = m_{rel} c$$

$$\lambda = \frac{h}{m_{rel} c}$$

A teraz zauważmy, że spin fotonu wynosi $+\hbar$ lub $-\hbar$ (\hbar – zredukowana stała Plancka = $h/2\pi$). Skoro $h = 2\pi\hbar$, to weźmy pod uwagę to, że spin to wewnętrzny moment pędu i próbnie przedstawmy go z założeniem, że coś w fotonie kręci się dookoła osi (kierunku ruchu) i jest to jego masa relatywistyczna. Robi to z prędkością „v” i w odległości „r” od osi.

$$\lambda = \frac{2\pi m_{rel} v}{m_{rel} c} r \quad \lambda = \frac{v}{c} 2\pi r$$

Mamy już gotowy wynik. Foton to pierścien przestrzeni (oddziałującej grawitacyjnie), który ma promień „r” i obwód „ $2\pi r$ ”. „Długość fali elektromagnetycznej” to po prostu liczba obwodów tego pierścienia wyznaczana przez iloraz prędkości wewnętrznego obrotu do prędkości jego poruszania się (c). Prędkość wewnętrznego obrotu może być dowolna, dlatego fotony mają różne „długości fali”. Foton-pierścien może kręcić się w prawo lub w lewo (prawoskrętny lub lewoskrętny; dlatego spin fotonu względem kierunku ruchu to: $+\hbar$ lub $-\hbar$). Niewykluczona jest możliwość precesji.