

PODSTAWOWE STAŁE FIZYCZNE

Parametry, występujące w teoriach fizycznych podzielimy na podstawowe i pochodne. Pochodne to takie, które można wyrazić przez podstawowe (przykład - stała gazowa R i stała Faradaya F). Do podstawowych stałych nie będziemy zaliczali również stałych wynikających z przyjętego układu jednostek (przykład - ϵ_0 i μ_0). Niezależne, występujące w prosty sposób w teorii fizycznej parametry, wyznaczone jedynie doświadczalnie nazwiemy podstawowymi stałymi fizycznymi.

Prędkość światła c

$$c=299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Wartość prędkości światła w próżni jest miarą, w stosunku do której porównuje się wszystkie pozostałe prędkości. Jeżeli prędkość obiektu v jest mała w porównaniu z c , to ruch taki nazywamy **nierelatywistycznym**. W przeciwnym przypadku ruch będzie **relatywistyczny**. Ruchami relatywistycznymi zajmuje się **teoria względności**, która dzieli się na **szczególną teorię względności** (bez grawitacji, ruch odbywa się w płaskiej czasoprzestrzeni) i **ogólną teorię względności** (łącznie z grawitacją, która powoduje zakrzywienie czasoprzestrzeni).

Obecnie wartość prędkości światła przyjęta jest jako wartość dokładna, stanowiąc podstawę do zdefiniowania jednostki długości - metra. Metr jest to odległość, jaką światło w próżni przebywa w czasie $1/299\,792\,458$ sekundy. Sekunda jest zdefiniowana (od 1967 roku) jako czas trwania $9\,192\,631\,770$ okresów drgań fali wysłanej podczas przejścia pomiędzy dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego izotopu cezu 133.

Stała grawitacji G

$$G=6,672\,59(85) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

Stała grawitacji występuje w równaniu na siłę oddziaływania grawitacyjnego dwu mas punktowych m_1 i m_2 , znajdujących się w odległości x od siebie:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{x^2}$$

Oddziaływanie grawitacyjne jest oddziaływaniem bardzo słabym, dlatego siła grawitacji odgrywa ważną rolę wtedy, gdy inne siły wzajemnie się kasują (np. siły elektromagnetyczne) lub odległości między cząstkami są bardzo duże (np. siły jądrowe). Znaczący to, że grawitacja będzie dominującą siłą pomiędzy masywnymi, obojętnymi elektrycznie, oddalonymi ciałami (np. w astronomii).

Stała Plancka h

$$h=6,626\,075\,5(40) \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Wartość stałej Plancka stanowi kryterium tego, czy stosować do opisu danego zjawiska prawa fizyki klasycznej, czy też kwantowej. Zwróćmy uwagę na wymiar tej stałej: [czas]·[energia]=[długość]·[pęd]=[moment pędu]. Wielkość o takim wymiarze nosi nazwę *kwantu działania*. Tworząc dla rozpatrywanego zjawiska wielkość o wymiarze kwantu działania i porównując jej wartość ze stałą Plancka, możemy przekonać się, czy musimy stosować prawa

fizyki kwantowej, czy też wystarczy stosować opis klasyczny. Często używaną wielkością jest tzw. 'h kreślone':

$$\hbar = \frac{h}{2 \cdot \pi}$$

Ładunek elementarny q_e

$$q_e = 1,602\,177\,33(49) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Taki ładunek ma elektron, będący przedstawicielem klasy cząstek lekkich, zwanych leptonami. Ładunek wszystkich cząstek, które były obserwowane jako cząstki samodzielne, jest wielokrotnością ładunku elementarnego. Jedynie postulowane, ale nieobserwowalne składniki nukleonów tzw. kwarki mają ładunki ułamkowe.

Czasami stosuje się następujące oznaczenie $e^2 = \frac{q_e^2}{4 \pi \cdot \epsilon_0}$

W układzie SI wartość tego wyrażenia wynosi $2,30707955 \cdot 10^{-28}$

Masa elektronu m_e

$$m_e = 9,109\,389\,7(54) \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Taka jest typowa masa lekkich cząstek, do grupy których zalicza się elektron. W fizyce mikroświata zamiast masy używa się jednostek energii. Równanie, które umożliwia przekształcenie jednostek masy na jednostki energii i odwrotnie jest znanym równaniem Einsteina: $E = m \cdot c^2$. Ponadto jako jednostki energii używa się elektronowolt (eV) i jego wielokrotności. Jeden elektronowolt jest energią, jaką uzyskuje ładunek elementarny e przebywając różnicę potencjałów jednego wolta: $1 \text{ eV} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Masa elektronu wynosi w jednostkach energii $0,510999 \text{ MeV}$.

Ponadto w fizyce atomowej stosuje się tzw. atomową jednostkę masy, równą 1/12 masy izotopu węgla C12. Jest ona równa $1,6605402(10) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Masa elektronu w tych jednostkach wynosi $5,48579903(13) \cdot 10^{-4} \text{ ajm}$.

Masa protonu m_p

$$m_p = 1,672\,623\,1(10) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Proton należy do grupy cząstek ciężkich zwanych hadronami, dlatego ta stała jest charakterystyczną masą dla tego rodzaju cząstek. Masa protonu w jednostkach energii jest równa $938,272 \text{ MeV}$, zaś w atomowych jednostkach masy $1,007276470(10) \text{ ajm}$.

Stała Avogadro N_A

$$N_A = 6,022\,136\,7(36) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Jest to liczba cząstek w jednym molu jakiejś substancji. Mol - ilość substancji zawierającej tyle elementów strukturalnych, ile atomów jest w 12 g izotopu węgla C12. Stała ta jest ogniwem łączącym świat mikroskopowy z makroskopowym. Ogromna wartość tej stałej świadczy o tym, jak małe są atomy i dlaczego struktura atomowa jest w świecie makroskopowym niewidoczna. Stała Faradaya F , z którą spotykamy się przy omawianiu

zjawisk elektrolizy, może być wyrażona poprzez stałą Avogadro, bowiem $F=N_A \cdot e=96485,3$ C/mol, gdzie e jest ładunkiem elektronu.

Stała Boltzmana k

$$k=1,380\ 658(12) \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

Stała ta umożliwia przeliczenie temperatury na energię lub odwrotnie. Dla gazu doskonałego udowadnia się, że średnia energia kinetyczna ruchu postępowego jest równa $(3/2) \cdot k \cdot T$. Ogólnie można założyć, że średnia energia ruchu chaotycznego cząstek jest rzędu $k \cdot T$. W temperaturze pokojowej $T=300$ K średnia energia cząstek jest zatem około $1/40$ eV.

Stała gazowa R , którą spotykamy w termodynamice, jest iloczynem stałej Avogadro i stałej Boltzmana: $R=N_A k=8,31451 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$.

Należy podkreślić, że dwie często spotykane wielkości mające w nazwie stałe, mianowicie stała elektryczna ϵ_0 (zwana także przenikalnością elektryczną próżni) i stała magnetyczna μ_0 (zwana także przenikalnością magnetyczną próżni) nie są stałymi fundamentalnymi, ale jedynie wielkościami zapewniającymi spójność układu jednostek miar. Ich wartości w układzie SI są następujące:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 12,56637 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{kg} / (\text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2})$$

$$\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2 = 8,8541878 \cdot 10^{-12} \text{ A}^2 \cdot \text{s}^4 / (\text{m}^3 \cdot \text{kg})$$

Naturalne układy jednostek fizycznych

Wartości podstawowych stałych fizycznych w układzie SI są liczbami bardzo dużymi lub bardzo małymi, ponieważ jednostki, na których bazuje ten układ zostały stworzone na miarę człowieka. Każdy dział fizyki zawiera coś, co można nazwać naturalnym układem jednostek. Oznacza to, że jeżeli wyrazimy dowolną wielkość fizyczną z tej dziedziny w jednostkach naturalnych, to otrzymamy liczbę niewielką, rzędu jednośc. Jednostki naturalne tworzymy z podstawowych stałych fizycznych związanych z danym działem fizyki.

Atomowy układ jednostek

Będzie to taki układ jednostek, który odnosi się do zjawisk w skali atomu. Jednostki te utworzymy z następujących fundamentalnych stałych fizycznych;

m_e - masa elektronu; \hbar - stała Plancka (h kreślone)

q_e - ładunek elektronu.

Ponadto dołączymy do tego zestawu ϵ_0 - przenikalność elektryczną próżni.

Zostały one wybrane dlatego, ponieważ elektron decyduje o własnościach atomu (stąd m_e i q_e), porusza się nierelatywistycznie (brak prędkości światła c) oraz stosować musimy prawa fizyki kwantowej (dlatego \hbar).

Stosując analizę wymiarową, możemy otrzymać następujący układ jednostek:

$$\text{długość} \quad L = \frac{\hbar^2 \cdot \epsilon_0}{m_e \cdot q_e^2} = \frac{\hbar^2}{4\pi \cdot m_e \cdot e^2} = \frac{a_0}{4\pi}$$

gdzie a_0 oznacza promień pierwszej orbity w atomie wodoru zgodnie z modelem Bohra. Wartość tej stałej, zwanej w skrócie promieniem bohrowskim ma wartość $a_0 = 5,29177249 \cdot 10^{-11}$ m.

$$\text{energia} \quad E = \frac{m_e \cdot q_e^4}{\hbar^2 \cdot \epsilon_0^2} = \frac{m_e \cdot e^4}{\hbar^2} 16 \cdot \pi^2 = 16 \cdot \pi^2 \cdot E_H$$

gdzie E_H jest tzw. energią Hartree'ego, równą 27,2113961 eV.

$$\text{czas} \quad t = \frac{\hbar^3 \cdot \epsilon_0^2}{m_e \cdot q_e^4} = \frac{\hbar^3}{m_e \cdot e^4} \cdot 16\pi^2$$

Podstawiając wartości liczbowe otrzymamy $t = 3,81974187 \cdot 10^{-15}$ s.

Układ jednostek Plancka

Ten układ odnosi się do bardzo wczesnego etapu rozwoju Wszechświata, gdy dominowała grawitacja i obowiązywały prawa kwantowe oraz relatywistyczne. Jako stałe wyjściowe przyjmujemy:

G - stała grawitacji \hbar - stała Plancka c - prędkość światła

Utworzyć z nich możemy następujące wielkości fizyczne o wymiarach:

$$\text{długość} \quad L = \sqrt{\frac{G \cdot \hbar}{c^3}}$$

Podstawiając wartości liczbowe otrzymamy, że $L = 1,6160486 \cdot 10^{-35}$ m

$$\text{czasu} \quad t = \sqrt{\frac{G \cdot \hbar}{c^5}}$$

Podstawiając wartości liczbowe otrzymamy, że $t = 5,3905579 \cdot 10^{-44}$ s

$$\text{masy} \quad m = \sqrt{\frac{\hbar \cdot c}{G}}$$

Podstawiając wartości liczbowe otrzymamy, że $m = 2,176714 \cdot 10^{-8}$ kg

Układ elektrodynamiki kwantowej

Podstawę tego układu stanowią następujące stałe fizyczne:

m_e - masa elektronu ; c - prędkość światła; \hbar - stała Plancka.

Z tych stałych otrzymamy następujące wielkości:

$$\text{długość} \quad L = \frac{\hbar}{m_e \cdot c} = \frac{h}{m_e \cdot c} \cdot \frac{1}{2\pi} = \frac{\lambda_c}{2\pi}$$

W powyższym wzorze λ_c jest tzw. Comptonowską długością fali elektronu. Jest wartość liczbową jest równa $\lambda_c=2,426310 \cdot 10^{-12} \text{m}$.

$$\text{czas} \quad T = \frac{\hbar}{m_e \cdot c^2}$$

Wartość liczbową $t=1,288 \cdot 10^{-21} \text{s}$.

$$\text{energia} \quad E=m \cdot c^2$$

Stała struktury subtelnej: rozważmy dwa ładunki elementarne, odległe od siebie o jednostkę naturalną λ_c , które odpychają się siłami elektrostatycznymi. Energia tego odpychania odniesiona do energii spoczynkowej elektronu nosi nazwę stałej struktury subtelnej α :

$$\alpha = \frac{\frac{q_e^2}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{m_e \cdot c}{\hbar}}{m_e \cdot c^2} = \frac{e^2}{\hbar \cdot c}$$

Wartość liczbową $\alpha=7,29735308 \cdot 10^{-3}$.