

## 1. Podstawowe wielkości fizyczne

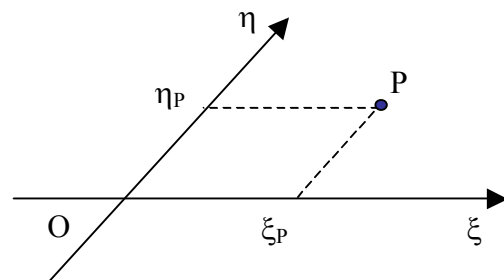
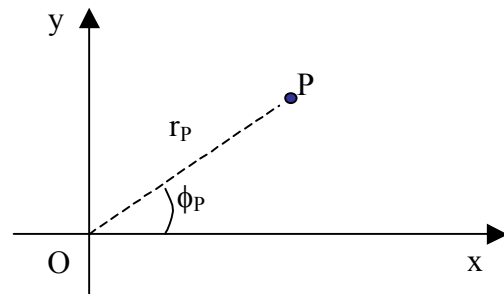
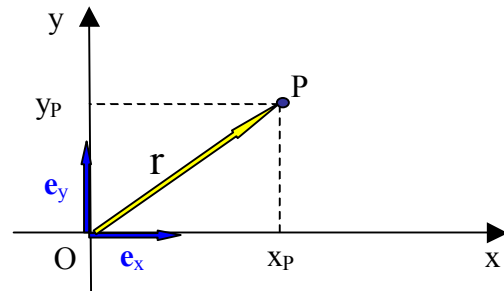
### Położenie $\mathbf{r}$

Układ współrzędnych wymaga określenia jego początku  $O$ , trzech kierunków w przestrzeni oraz wzorca odległości. Przykładowo wzorec metra jest definiowany jako odległość, na którą dotrze światło w próżni w czasie  $1/3 \cdot 10^{-8}$  sekundy.

W kartezjańskim układzie współrzędnych położenie określone jako odległość w trzech (gdy rozpatruje się trzy wymiary) ortogonalnych kierunkach. Wektorem położenia punktu  $P$  jest  $\mathbf{r} = x_P \mathbf{e}_x + y_P \mathbf{e}_y + z_P \mathbf{e}_z$ , gdzie  $\mathbf{e}_x$ ,  $\mathbf{e}_y$ ,  $\mathbf{e}_z$  oznaczają wersory kierunkowe (symbole wielkości wektorowych są pogrubione).

W układzie biegunowym (stosowanym w dwóch wymiarach, dla trzech wymiarów stosuje się odpowiednio układ sferyczny lub cylindryczny) położenie określone przez wartość kąta  $\phi$  i odległość  $r$  wzdłuż promienia łączącego z początkiem układu.

Układy mogą być nieortogonalne, gdy osie współrzędnych  $\xi$  i  $\eta$  nie są względem siebie prostopadłe.



### Czas $t$

Wzorec czasu zdefiniowany jest poprzez proces, którego zależność od czasu jest znana (zakłada się, że jest znana). Wzorcem może być np. obiekt poruszający się ze stałą prędkością lub ruchem okresowym. Wzorec czasu był powiązany min. z ruchem Ziemi wokół Słońca. Obecnie definicja sekundy wiąże się z czasem trwania odpowiedniej liczby okresów drgań fali świetlnej emitowanej przez atomy cezu.

### Prędkość $\mathbf{v}$

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{e}_x + v_y \mathbf{e}_y + v_z \mathbf{e}_z$$

### Przyspieszenie $\mathbf{a}$

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}$$

Przy wyznaczaniu prędkości lub przyspieszenia  $\Delta t$  nie jest nieskończenie małe, ale znacząco mniejsze od wielkości typowych dla rozważanego problemu (np. mierząc prędkość samochodu  $\Delta t \sim$  ułamki sekundy, przesuwanie się kontynentów  $\Delta t \sim$  lata).

Wielkości fizyczne nie są nieskończone. Wielkość traktuje się jako nieskończenie wielką lub małą, gdy wykracza poza rozważany przedział typowych dla danego zagadnienia wartości.

Przykładowo:

1 rok  $\approx \pi \cdot 10^7$  s, godzina wykładu  $\approx 10^{-4}$  roku, wiek studenta  $\approx 10^9$  s.

wiek Wszechświata  $\approx 13,8$  mld lat  $\approx 4 \cdot 10^{17}$  s,

czas życia rezonansów (rodzaj cząstek)  $\approx 10^{-23}$  s

czasy połowicznego rozpadu niektórych pierwiastków  $\approx 10^{24}$  s

Ograniczenia dotyczą także prędkości: graniczną prędkością przesyłania energii (informacji) jest prędkość światła w próżni:  $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s.

### Budowa materii

Cząstkami elementarnymi są kwarki, leptoni i bozony oddziaływania. Otaczająca nas materia składa się w zasadzie z dwóch rodzajów kwarków: górnego u (od *ang. up*) i dolnego d (*ang. down*), dwóch leptonów: elektronu e i neutrina  $\nu$  oraz bozonów oddziaływania.

Istnieją jeszcze kwarki i leptoni związane z materią występującą w warunkach wysokich energii (takich jak np. panowały na początku istnienia Wszechświata). Są to kwarki: s (dziwny - *ang. strange*), c (powabny - *ang. charm*), b (niski - *ang. bottom*, lub piękny - *ang. beauty*), t (wysoki - *ang. top*, lub prawdziwy - *ang. true*), oraz odpowiadające im leptoni: mion, neutrina mionowe, taon, neutrina taonowe.

Kwarki i elektron obdarzone są ładunkiem elektrycznym: jeśli ładunek elektronu przyjąć jako równy  $-1$ , to ładunek kwarka u wynosi  $+2/3$  a kwarka d wynosi  $-1/3$ . Kwarki nie występują jako odosobnione cząstki: złożenia dwóch kwarków są cząstkami nazywanymi mezonami, a trzech to bariony. Proton jest cząstką składającą się z trzech kwarków 'uud' o ładunku sumarycznym  $+1$  a neutron jest złożeniem kwarków 'udd' o sumarycznym zerowym ładunku. Rozmiary kwarków i leptonów są zbyt małe, aby można je zmierzyć, natomiast rozmiary protonu i neutronu są rzędu  $10^{-15}$  m, zaś ich masy rzędu  $10^{-27}$  kg. Protony i neutrony łączą się w układy stanowiące jądra atomowe. Po dołączeniu do jądra elektronów powstaje atom, którego rozmiary są rzędu  $10^{-10}$  m. Atomy łączą się w związki chemiczne, kryształy itd.

Dla porównania:

promień Ziemi  $\approx 6 \cdot 10^7$  m, masa Ziemi  $\approx 10^{24}$  kg

odległość Ziemi od środka naszej Galaktyki  $\approx 2 \cdot 10^{20}$  m

rozmiar obserwowanego Wszechświata  $\approx 10^{26}$  m

### Dokładność pomiarów

Przykładowa niedokładność pomiarów:

masy elektronu  $\pm 0,0005\%$

masy Ziemi  $\pm 0,1\%$

częstotliwości promieniowania przy przejściu między dwoma poziomami struktury nadsubtelnej wodoru  $\pm 10^{-10}\%$

Dokładność pomiarów ograniczona jest niedoskonałością układów pomiarowych (mierników i wzorców), ale także stosowanymi teoriami oraz efektami kwantowymi. Np. zgodnie z kwantową zasadą nieoznaczoności, niedokładność pomiaru pędu  $\delta p$  (tzn. gdy pęd jest określony jako  $p \pm \delta p$ ) i niedokładność pomiaru położenia  $\delta x$  przy jednoczesnym pomiarze spełnia nierówność:  $\delta p \delta x > \hbar$ , gdzie  $\hbar = 10^{-34}$  kg m<sup>2</sup>/s jest stałą Plancka. Oznacza to, że np. określenie położenia protonu z dokładnością większą niż jego średnica ( $\delta x \sim 10^{-15}$  m) praktycznie wyklucza jednoczesne określenie jego prędkości  $v$  (bo wtedy nieoznaczoność

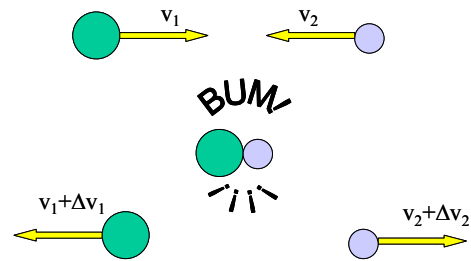
pomiaru prędkości:  $\delta v = \frac{\delta p}{m_{\text{protonu}}} > \frac{\hbar}{m_{\text{protonu}} \delta x} \approx 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , czyli określenie jego prędkości

obarczone jest niedokładnością porównywalną z prędkością światła).

Masa (bezwładna)  $m$ 

W wyniku zderzenia sprężystego dwóch ciał zmieniają ich prędkości:

$\Delta v = v_{\text{po zderzeniu}} - v_{\text{przed zderzeniem}}$ . Zmiany te są różne w zależności od prędkości początkowych, jednakże ich stosunek jest stały:  $|\Delta v_1/\Delta v_2| = \text{const.}$  Może to posłużyć jako definicja masy  $m_2/m_1 = |\Delta v_1/\Delta v_2|$  (pozwala na porównanie masy ciała  $m_2$  z masą wzorca  $m_1$ ). Masa zgodnie z taką definicją jest miarą bezwładności ciał (im większa masa tym mniejsza zmiana prędkości).

Pęd  $p = mv$ 

Definicja masy bezwładnej (podana powyżej) jest tożsama zasadzie zachowania pędu: pęd sumaryczny przed zderzeniem = pęd po zderzeniu, czyli w wyniku zderzenia wzrost pędu pierwszego ciała = zmniejszenie pędu drugiego ciała:  $m_1|\Delta v_1| = m_2|\Delta v_2|$ . Zasada zachowania pędu wynika z założenia jednorodności przestrzeni, tzn. tego, że własności przestrzeni nie zmieniają się w wyniku translacji (zmiany położenia). I tak np. analizując dwuwymiarowy ruch kulki po płaskiej poziomej powierzchni, gdy powierzchnia ta jest gładka (jednorodna) pęd powinien być zachowany. Dla powierzchni chropowatej (niejednorodnej) występuje siła tarcia i pęd nie jest zachowany.

Jednostki wielokrotne:  $10^{\pm n}$  gdzie  $n=0,3,6,\dots$

- $10^{18}=1\text{E}$  (eksa)
- $10^{15}=1\text{P}$  (peta)
- $10^{12}=1\text{T}$  (tera)
- $10^9=1\text{G}$  (giga)
- $10^6=1\text{M}$  (mega)
- $10^3=1\text{k}$  (kilo)
- $10^0=1$
- $10^{-3}=1\text{m}$  (mili)
- $10^{-6}=1\mu$  (mikro)
- $10^{-9}=1\text{n}$  (nano)
- $10^{-12}=1\text{p}$  (piko)
- $10^{-15}=1\text{f}$  (femto)
- $10^{-18}=1\text{a}$  (atto)