

4. Pola siłowe

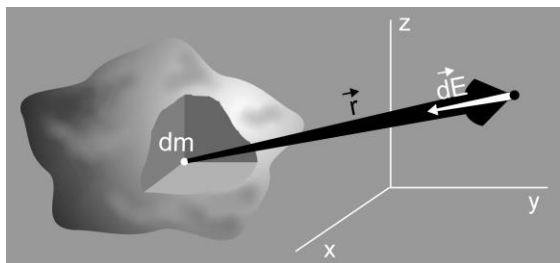
Pojęciem pole siłowe określona jest przestrzeń, w jakiej w pewnych sytuacjach działają siły. W przypadku pola grawitacyjnego siły działają na masy, w przypadku pola elektrycznego – na ładunki, w przypadku pola magnetycznego – na ruchome ładunki.

4.1. Pole grawitacyjne

Wielkością charakteryzującą pole grawitacyjne jest natężenie pola grawitacyjnego, zdefiniowane jako siła, która działałaby w danym miejscu na umieszczoną tam masę jednostkową. Definicję tę przedstawia się następująco:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{m} \quad (4.1.1)$$

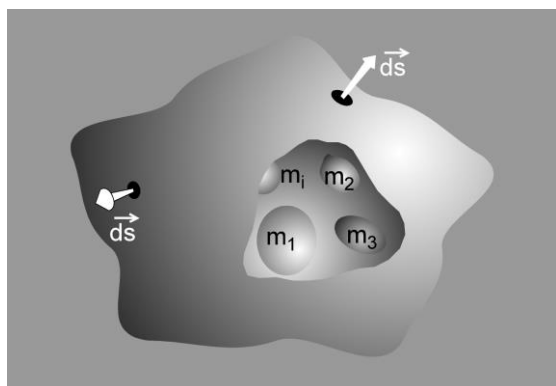
Pole grawitacyjne powstaje wokół mas. Jeżeli znany jest kształt masy oraz rozkład gęstości masy w jej wnętrzu, można określić rozkład natężenia pola grawitacyjnego w przestrzeni wokół masy a także w jej wnętrzu. Służy temu *różniczkowe prawo grawitacji Newtona* (4.1.2) oraz jego inna forma – *całkowe prawo grawitacji Gaussa* (4.1.3). Różniczkowe prawo grawitacji określa elementarny wektor natężenia pola $d\vec{E}$ wytworzony przez elementarną masę dm . Elementarne natężenie $d\vec{E}$ znajduje się przy końcu wektora \vec{r} , którego początek znajduje się w miejscu elementarnej masy dm . Symbol G – to tzw. stała grawitacji.



$$d\vec{E}(\vec{r}) = G \frac{\vec{r}}{r^3} dm \quad (4.1.2)$$

Rys. 4.1.1. Graficzny komentarz do prawa grawitacji.

Całkowe prawo grawitacji – równanie (4.1.3), w którym po lewej znajduje się strumień natężenia pola przenikającego zamkniętą powierzchnię, natomiast po prawej znajduje się suma mas objętych tą powierzchnią. Czynniki $4\pi G$ porządkuje jednostki.



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = 4\pi G \sum_{i=1}^n m_i \quad (4.1.3)$$

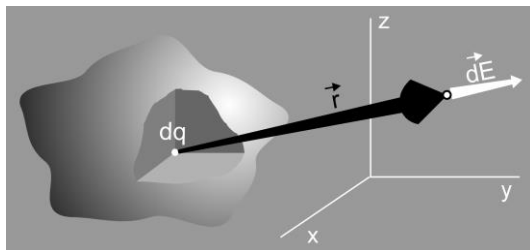
Rys. 4.1.2. Graficzny komentarz do prawa Gaussa w grawitacji.

4.2. Pole elektrostatyczne

Wielkością charakteryzującą pole elektrostatyczne jest natężenie pola elektrostatycznego, zdefiniowane - podobnie jak w przypadku pola grawitacyjnego - jako siła, która działałaby w danym miejscu na umieszczony tam jednostkowy ładunek dodatni (4.2.1).

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q^+} \quad (4.2.1)$$

Pole elektrostatyczne powstaje wokół ładunków elektrycznych. Jeżeli znany jest kształt ładunku oraz rozkład gęstości ładunku w jego wnętrzu, można określić rozkład natężenia pola elektrostatycznego w przestrzeni wokół ładunku oraz w jej wnętrzu. Służy temu różniczkowe prawo elektrostatyki Coulomba (4.2.1) oraz jego inna forma – całkowe prawo elektrostatyki Gaussa (4.2.2). Różniczkowe prawo elektrostatyki określa elementarny wektor natężenia pola $d\vec{E}$ wytworzony przez elementarny dodatni ładunek dq . Elementarne natężenie $d\vec{E}$ znajduje się przy końcu wektora \vec{r} , którego początek znajduje się w miejscu elementarnego ładunku dq . Symbol ε – to tzw. przenikalność dielektryczna ośrodka, w jakim wytworzone jest pole elektrostatyczne.



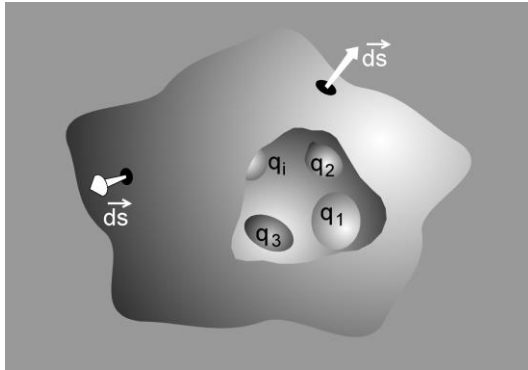
$$d\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{\vec{r}}{r^3} dq \quad (4.2.2)$$

Rys. 4.2.1. Graficzny komentarz do prawa Coulomba

COULOMB Charles Augustin (1736-1806), fizyk francuski, oficer wojsk inżynieryjnych, członek Akademii Nauk. Badacz zjawisk magnetycznych i elektrycznych oraz teorii maszyn prostych. W 1785 sformułował prawo elektrostatyki, nazywane dziś jego imieniem.



Całkowe prawo elektrostatyki - równanie, w którym po lewej znajduje się strumień natężenia pola elektrostatycznego przenikającego zamkniętą powierzchnię, natomiast po prawej znajduje się suma ładunków objętych tą powierzchnią. Czynniki $1/\varepsilon$ porządkuje jednostki.



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon} \sum_{i=1}^n q_i \quad (4.2.3)$$

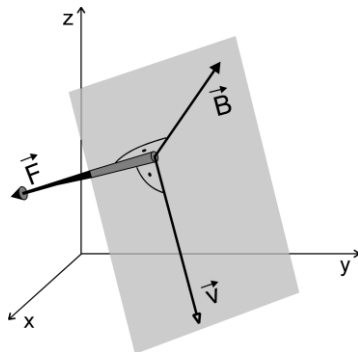
Rys. 4.2.2. Graficzny komentarz do prawa Gaussa w elektrostatyce.

GAUSS Carl Friedrich (1777-1855), matematyk niemiecki, jeden z najwybitniejszych matematyków w dziejach świata, zajmował się ponadto fizyką teoretyczną, geodezją i astronomią sferyczną, od 1807 do śmierci był profesorem matematyki w Getyndze i dyrektorem tamtejszego obserwatorium astronomicznego. Pierwsze prace dotyczyły teorii liczb i algebry, następne dzieła dotyczyły teorii rachunku różniczkowego i całkowego, teorii szeregów, metod pomiarów geodezyjnych, statystyki matematycznej, geometrii sferycznej oraz geometrii nieeuklidesowych



4.3. Pole magnetostatyczne

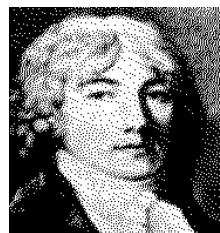
Wielkością charakteryzującą pole magnetyczne jest wielkość wektorowa zwana indukcją magnetyczną \vec{B} . Wielkość ta może być definiowana tylko w sposób operacyjny - pozwala zgodnie z zależnością 4.7 określić siłę \vec{F} , jaka działa na ładunek q poruszający się z określoną prędkością \vec{v} :



$$\vec{F}(\vec{B}, q, \vec{v}) = q \vec{B} \times \vec{v} \quad (4.3.1)$$

Fig. 4.3.1. Kierunek siły magnetycznej.

BIOT Jean Baptiste (1774-1862), fizyk i astronom francuski, pionier badań atmosfery. Zajmował się właściwościami powietrza na różnych wysokościach (1804, eksperyment balonowy wraz z J.L. Gay-Lussakiem), zagadnieniami polaryzacji światła, mechaniką ciał niebieskich i zjawiskami elektro-magnetycznymi. Odkrywcą wyrażenia opisującego natężenie pola magnetycznego wytwarzanego przez prąd elektryczny.



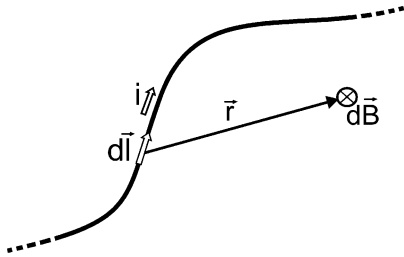
Savart Félix (1791-1848), fizyk francuski, z wykształcenia lekarz. Członek francuskiej AN (od 1820). Badacz zjawisk elektromagnetycznych. Wraz z J.B. Biotem podał (1820) wzór na natężenie pola magnetycznego wytwarzanego przez prąd płynący w przewodniku (Biota-Savarta prawo).



AMPERE Andrè Marie (1775-1836), wybitny fizyk francuski pierwszej połowy XIX w., badacz zjawisk elektromagnetycznych, matematyk. 1809-1824 profesor École Polytechnique w Paryżu, od 1824 - École Normale tamże. Odkrył (1820) wzajemne oddziaływanie przewodników, przez które przepływa prąd elektryczny. Opisał prawo rządzące tym oddziaływaniem (Ampère'a prawo). Do jego największych osiągnięć koncepcyjnych należy zaliczyć hipotezę, według której źródłem pola magnetycznego magnesów trwałych (i indukowanych) są pierścieniowe prądy elektryczne krążące wokół molekuł substancji. Hipoteza ta zrywała z pojęciami "cieczy magnetycznej" lub "substancji magnetycznej".



Pole magnetostatyczne powstaje wokół przewodników, w jakich płynie stały prąd elektryczny. Jeżeli znany jest kształt przewodnika oraz natężenie prądu w nim płynące, można określić rozkład natężenia pola magnetostatycznego w przestrzeni wokół tego przewodnika. Służy temu różniczkowe prawo magnetostatyki, zwane prawem Biotte'a-Savart'a (4.3.2) oraz całkowite prawo magnetostatyki – prawo Ampere'a (4.9). Różniczkowe prawo magnetostatyki określa elementarny wektor indukcji pola $d\vec{B}$ wytworzony przez prąd elektryczny o natężeniu i płynący w elementarnym odcinku przewodnika dl . Elementarna indukcja $d\vec{B}$ znajduje się przy końcu wektora \vec{r} , którego początek znajduje się w miejscu elementarnego odcinka dl . Symbol μ – to tzw. przenikalność magnetyczna ośrodka, w jakim wytworzone jest pole magnetostatyczne. W wyrażeniu przedstawiającym różniczkowe prawo magnetostatyki elementarny odcinek dl jest przedstawiony w formie wektorowej. Wektor $d\vec{l}$ przyjmuje zwrot zgodny z kierunkiem prądu.

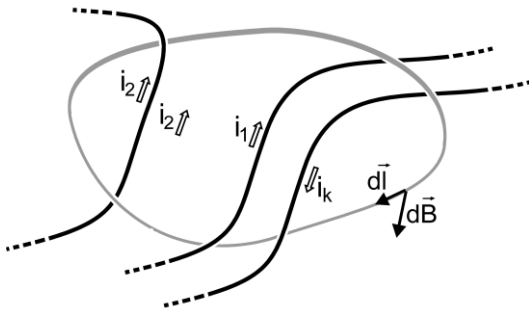


$$B = \frac{\mu}{4\pi} I \frac{\overline{dL} \times \vec{r}}{r^3}$$

(4.3.2)

Rys. 4.6. Graficzny komentarz do prawa Biotte'a-Savart'a-laPlace'a

Całkowe prawo magnetostatyki 4.3.3 ujmuje związek pomiędzy indukcją pola magnetycznego i natężeniem prądu elektrycznego. Po lewej stronie równania 4.3.3 znajduje się krzywoliniowa całka zamknięta z indukcji po konturze zamkniętym, po prawej – suma natężeń prądów objętych tym konturem. Przenikalność magnetyczna μ jest czynnikiem porządkującym jednostki.



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu i$$

(4.3.3)

Rys. 4.6. Graficzny komentarz do prawa Ampere'a.