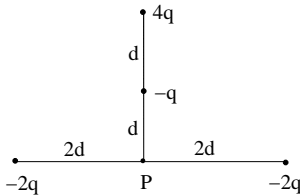


# Elektrostatyka

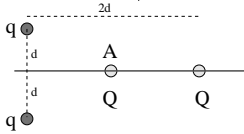
1. W atomie wodoru odległość pomiędzy elektronem a protonem wynosi około  $5.3 \cdot 10^{-11}$  m. Obliczyć siłę elektrostatyczną i grawitacyjną między tymi dwiema cząstkami.
2. Dwie małe, jednakowe kulki zawieszono na dwóch identycznych nitkach, zaczepionych w jednym punkcie. Kulki te naładowano sumarycznym ładunkiem  $Q$ . Dla jakiego rozkładu ładunków między kulkami, kąt jaki utworzą nitki będzie maksymalny?
3. Dwie jednakowe kulki przewodzące o masach równych  $m$  wiszą na nitkach o długości  $l$  dotykając się wzajemnie. Po wprowadzeniu na nie ładunku  $Q$  kulki rozsunęły się na odległość  $l$ . Obliczyć ładunek  $Q$ .
4. Dwie jednakowe kulki o masie 0.02 g wiszą na nitkach o długości 0.2 m zaczepionych w jednym punkcie. Jedną z kulek odchyłono i naładowano. Po zetknięciu się ze sobą nitki rozchyliły się tworząc kąt  $60^\circ$ . Określić ładunek pierwszej kulki.
5. W narożach kwadratu znajdują się jednakowe ładunki o wartościach  $5 \cdot 10^{-5}$  C. Jaki ładunek należy umieścić w środku kwadratu, żeby układ był w równowadze?
6. W dwóch przeciwległych wierzchołkach kwadratu  $A$  i  $C$  umieszczono jednakowe ładunki  $Q$ . Bok kwadratu ma długość  $a$ . a) Obliczyć natężenie pola w wierzchołku  $B$ . b) Jaki ładunek  $q$  należy umieścić w wierzchołku  $D$ , aby natężenie pola w punkcie  $B$  wynosiło zero? c) Obliczyć potencjał w punkcie  $B$  po wprowadzeniu ładunku  $q$  do punktu  $D$ .
7. Wyznacz wartość i kierunek natężenia wypadkowego pola elektrycznego w punkcie P (rys.)



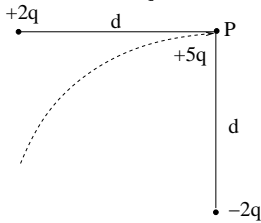
8. . Cząstkę o ładunku  $-q_1$  umieszczono w początku osi  $x$ .
  - a) Gdzie należy umieścić drugą cząstkę, której ładunek wynosi  $q_2 = -4q_1$ , aby pole elektryczne układu tych dwóch cząstek miało w punkcie  $x = 2$  mm natężenie równe zero?
  - b) Jaki będzie kierunek natężenia wypadkowego pola elektrycznego w punkcie  $x = 2$  mm, jeśli cząstkę o ładunku  $-4q_1$  zastąpimy cząstką o ładunku  $+4q_1$ ?
9. Oblicz natężenie pola elektrycznego na powierzchni jądra atomu złota. Promień jądra wynosi około  $6.9 \cdot 10^{-15}$  m. Zaniedbać wpływ elektronów.
10. Policz jak silnie przyciągana była Zosia (50 kg) do Tomka (80 kg), gdy stała w odległości 30 metrów od niego i gdyby można u nich było zaobserwować 0.01% nierównoważonych ładunków (u Zosi ujemnych, u Tomka dodatnich)?
11. Na powierzchni krążka o promieniu  $R$  znajduje się w równomiernie rozłożony ładunek elektryczny  $q$ . Znaleźć rozkład natężenia i potencjału pola elektrycznego wzdłuż osi tego krążka.
12. Oblicz natężenie pola elektrycznego wytworzonego przez nieskończoną płaszczyznę naładowaną ładunkiem o stałej gęstości  $\sigma$  na jednostkę powierzchni. Oblicz następnie natężenie pola wewnątrz i na zewnątrz układu złożonego z dwóch takich płaszczyzn naładowanych ładunkiem o przeciwnym znaku.
13. Ładunek  $Q$  umieszczony jest w środku sześcianu.
  - a) Oblicz strumień pola przez jedną powierzchnię sześcianu.
  - b) Ile wynosi strumień tego pola, jeżeli ładunek umieścimy w narożu sześcianu?

14. Obliczyć potencjał i natężenie pola elektrostatycznego wewnątrz i na zewnątrz naładowanej powierzchni kulistej (sfery) o promieniu  $R$ , posiadającej równomiernie rozłożony ładunek  $Q$ . Jak zmieni się wyznaczone pole elektrostatyczne, jeśli sferę zastąpimy kulą o promieniu  $R$  wykonaną z przewodnika i naładowaną ładunkiem  $Q$ .
15. Nieskończenie długą prostą nić znajdującą się w próżni naładowano ze stałą gęstością ładunku  $\lambda$ . Określić natężenie pola elektrycznego  $E$  i potencjał  $\phi$  jako funkcję odległości  $r$  od nici.
16. Na końcach odcinka o długości  $2d$  znajdują się ładunki  $Q$  i  $-Q$ . W którym punkcie symetralnej odcinka natężenie pola jest maksymalne? Obliczyć natężenie i potencjał pola w tym punkcie.  
Przeanalizować także przypadek, gdy ładunki są jednakowe  $Q$ .
17. Wykonaj ściśle obliczenia potencjału elektrycznego dipola w punkcie leżącym na:
  - a) symetralnej dipola,
  - b) na dodatniej półosi  $x$  w odległości  $r$  od środka dipola,
  - c) na ujemnej półosi  $x$  w odległości  $r$  od środka dipola.
18. Oblicz potencjał dipola o momencie dipolowym  $5 \cdot 10^{-7} \text{ C} \cdot \text{m}$  wzdłuż prostej będącej jego osią symetrii. Obliczenia wykonaj dla odległości dużo większej od rozmiarów dipola.
19. Trzy naładowane kulki, położone na płaszczyźnie nieprzenoszącej ładunku elektrycznego, mogą tworzyć układ stabilny, jeśli są ułożone w jednej linii i kulka środkowa ma ładunek przeciwnego znaku niż skrajne. Określić, jakie są wzajemne relacje ładunków tych kulek, jeżeli odległości między nimi tworzą "złotą proporcję", tzn. stosunek odległości mniejszej do większej jest taki sam, jak stosunek odległości większej do sumy odległości.
20. Jaką figurą jest powierzchnia zerowego potencjału dla układu dwóch ładunków o wartościach  $-10^{-5} \text{ C}$  i  $+3 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  oddalonych od siebie o  $20 \text{ cm}$ ?
21. Cztery jednakowe ładunki o wartości  $10^{-8} \text{ C}$  umieszczono w narożach kwadratu o boku  $20 \text{ cm}$ . Oblicz potencjał pola w środku kwadratu oraz w punktach będących środkami boków. Jak zmieni się potencjał w tych punktach, jeżeli dwa ładunki będą tej samej wartości lecz przeciwnego znaku? Rozważ różne kombinacje ułożenia ładunków w narożach kwadratu.
22. Trzy ładunki ujemne o wielkości  $9Q$  umieszczone są w wierzchołkach trójkąta równobocznego. Jaki ładunek należy umieścić w środku trójkąta, aby układ był w równowadze? Oblicz potencjał pola elektrycznego w środku trójkąta i w środku jednego z boków.
23. W wierzchołkach  $A, B, C$  trójkąta równobocznego umieszczono ładunki:  $Q, 2Q$  i  $-3Q$ . Obliczyć natężenie pola elektrycznego w środku trójkąta.
24. Ładunek  $1 \text{ mC}$  umieszczony w polu elektrostatycznym w punkcie  $A$  ma energię potencjalną  $E_1 = 3 \text{ J}$ . Aby przenieść ten ładunek do punktu  $B$  należy wykonać pracę  $W = 2 \text{ J}$ . Wiedząc, że linie ekwipotencjalne w punkcie  $A$  i  $B$  są prostopadłe do odcinka  $AB$  obliczyć:
  - a) potencjał w punkcie  $B$ ,
  - b) średnią wartość natężenia pola na odcinku  $AB$ , jeżeli długość tego odcinka wynosi  $4 \text{ m}$ .
25. Pole elektryczne jest wytwarzane przez ładunek punktowy  $Q$  umieszczony w początku prostokątnego układu współrzędnych. Obliczyć pracę, jaką wykonujemy przy przeniesieniu ładunku  $q$  z punktu  $A(a, 0)$  do  $B(2a, a)$ .
26. Obliczyć energię układu trzech jednakowych ładunków  $1 \text{ C}$  znajdujących się w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku  $1 \text{ cm}$ .

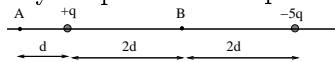
27. Na rysunku przedstawiono dwie cząstki o ładunku  $Q$  i dwie cząstki o ładunku  $q$ . Cząstka  $A$  może się poruszać, a pozostałe mają ustalone położenia. Jaki powinien być ładunek  $q$ , aby siła działająca na swobodną cząstkę  $A$  była równa zero. Załóż, że ładunek  $Q$  jest: a) dodatni, b) ujemny.



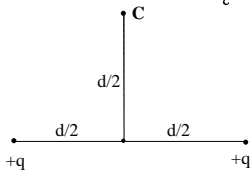
28. Jak pokazano na rysunku cząstkę o ładunku  $+5q$  przeniesiono z nieskończoności do punktu  $P$ , dwie pozostałe cząstki są unieruchomione. Oblicz stosunek energii potencjalnej układu tych trzech cząstek do energii potencjalnej układu dwóch cząstek przed dołączeniem do nich trzeciej.



29. Cząstki o ładunkach równych co do wartości bezwzględnej ( $25 \text{ nC}$ ), lecz przeciwnego znaku, umieszczono w przeciwległych rogach prostokąta o wymiarach  $60 \text{ cm}$  na  $80 \text{ cm}$ . Punkty  $A$  i  $B$  są pozostałymi wierzchołkami tego prostokąta. Oblicz różnicę potencjałów  $U$  między tymi rogami.
30. Proton i elektron znajdują się w próżni w odległości  $d=0.5 \text{ nm}$  od siebie.
- Jaką pracę  $W$  należy wykonać, aby do tego układu zbliżyć (przysunąć z nieskończonej odległości) jeszcze jeden elektron na odległość  $r_1=0.6 \text{ nm}$  od elektronu i  $r_2=0.8 \text{ nm}$  od protonu.
  - Jaką pracę  $W_1$  należy dodatkowo wykonać, aby przesunąć ten elektron na środek odcinka  $d$ .
31. Jak pokazano na rys., dwie cząstki naładowane unieruchomiono na osi  $x$ . Wyznacz różnicę potencjałów w punktach  $A$  i  $B$ , gdy  $d=1 \text{ m}$ . Jaką pracę musi wykonać siła zewnętrzna, aby do punktu  $B$  doprowadzić jeszcze ładunek  $-3q$ ?



32. Dwie cząstki o ładunku  $q=+2\mu\text{C}$  umieszczono w punktach odległych od siebie o  $d=2 \text{ cm}$ . Przyjmij, że  $V=0$  w nieskończonej odległości od cząstek i wyznacz potencjał elektryczny w punkcie  $C$ . Oblicz pracę, jaką należy wykonać, aby przenieść trzecią taką samą cząstkę z nieskończoności do punktu  $C$ . Wyznacz energię potencjalną otrzymanego w ten sposób układu trzech cząstek.



33. Pyłek o masie  $1 \text{ mg}$ , naładowany ładunkiem  $1 \text{ nC}$  spada w próżni w polu elektrycznym płaskiego kondensatora naładowanego do napięcia  $100 \text{ V}$ . Okładki kondensatora ustawione są pionowo i oddalone od siebie o  $10 \text{ cm}$ . Jaka może być maksymalna wysokość okładek, przy której pyłek przeleci przez kondensator nie uderzając w okładkę.

34. Znaleźć potencjały i natężenia pola elektrycznego w punktach  $B$  i  $C$ , znajdujących się w odległościach  $r_1=5$  cm i  $r_2=20$  cm od ładunku  $q=1.7 \cdot 10^{-7}$  C. Wyznaczyć pracę siły elektrycznej podczas przemieszczania ładunku  $q_1=10^{-9}$  C z punktu  $B$  do punktu  $C$ .
35. Ładunki i współrzędne dwóch cząstek unieruchomionych na płaszczyźnie  $xy$  wynoszą:  $q_1=+3 \cdot 10^{-6}$  C,  $x=3.5$  cm,  $y=0.5$  cm oraz  $q_2=-4 \cdot 10^{-6}$  C,  $x=-2$  cm,  $y=1.5$  cm. Oblicz pracę, jaką trzeba było wykonać, aby umieścić te cząstki w podanych punktach, jeżeli początkowo były one nieskończenie odległe od siebie.
36. Przy przesunięciu ładunku  $2 \cdot 10^{-4}$  C w polu elektrycznym wykonano pracę 0.6 J. Obliczyć różnicę potencjałów pomiędzy początkowym a końcowym punktem drogi.
37. W dwóch przeciwległych wierzchołkach  $A$  i  $C$  kwadratu umieszczono jednakowe ładunki  $Q$ . Bok kwadratu ma długość  $a$ .
- Obliczyć natężenie pola elektrycznego w wierzchołku  $B$ .
  - Jaki ładunek  $q$  należy umieścić w wierzchołku  $D$ , aby natężenie pola w punkcie  $B$  wynosiło zero?
  - Obliczyć potencjał w punkcie  $B$  po wprowadzeniu ładunku  $q$  do punktu  $D$ ?
38. Dwa jednakowe ładunki  $Q$  są umieszczone w odległości  $2d$  od siebie. Na symetralnej odcinka łączącego ładunki, w odległości  $b$  od tego odcinka, rozpoczyna ruch elektron. Obliczyć maksymalną prędkość elektronu, którą nabędzie poruszając się w polu obu ładunków.
39. Na elektron umieszczony w polu dipola elektrycznego na jego osi działa siła  $F_1 = 8 \cdot 10^{-18}$  N. Ile razy powinna wzrosnąć odległość elektronu od dipola, aby siła wynosiła  $F_2 = 10^{-19}$  N?
40. Dwa jednoimienne ładunki o wartościach  $6 \cdot 10^{-9}$  C i  $11 \cdot 10^{-9}$  C znajdują się w odległości 5 cm od siebie. Znaleźć wielkość i zwrot siły działającej na ładunek  $3 \cdot 10^{-9}$  C znajdujący się w punkcie odległym o odpowiednio od pierwszego i drugiego ładunku o 3 i 4 cm. Wyznaczyć natężenie (wartość i kierunek) pola elektrycznego oraz jego potencjał w tym punkcie.
41. Do jakiego potencjału należy naładować dwie kule o promieniach 1 m i masach  $10^3$  kg każda, aby siła kulombowskiego odpychania tych kul była równa sile ich grawitacyjnego przyciągania?