

MODUŁ 9

POLE ELEKTRYCZNE

→ FIZYKA – ZAKRES ROZSZERZONY

OPRACOWANE W RAMACH PROJEKTU:
WIRTUALNE LABORATORIA FIZYCZNE NOWOCZESNĄ METODĄ NAUCZANIA.
PROGRAM NAUCZANIA FIZYKI
Z ELEMENTAMI TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH

→ Zadania

Zadanie 1

Dwie identyczne metalowe kule naładowano ładunkami odpowiednio $-2 \cdot 10^{-15} C$ oraz $+6 \cdot 10^{-15} C$. Kule te są umieszczone w odległości 1 m od siebie. Kule te następnie zetknięto i oddalono na odległość początkową. Oblicz stosunek sił wzajemnego oddziaływania między tymi kulkami w stanie końcowym oraz początkowym.

Zadanie 2

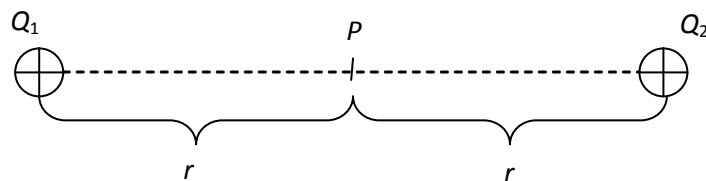
Podczas demonstracji pól elektrycznych używa się drobnych ziarenek kaszy mannej. Ziarna kaszy mannej są obojętne elektrycznie. Gdy do ziaren zbliżymy naładowany pręt, to zauważymy, że ziarna zostają przyciągnięte do pręta. Po dotknięciu pręta natychmiast odskakują. Wyjaśnij takie zachowanie się ziaren kaszy mannej w pobliżu naładowanego pręta.

Zadanie 3

Metalowa kula o promieniu 5 cm została naładowana ładunkiem $+8 \cdot 10^{-14} C$. Oblicz, w jakiej odległości od tej kuli natężenie pola elektrycznego ma wartość $0,005 \frac{N}{C}$.

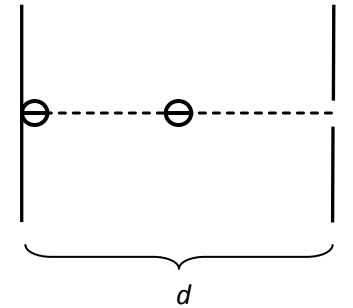
Zadanie 4

W odległości 0,6 m od siebie znajdują się dwie naładowane elektrycznie kulki (patrz rysunek). Ładunek kulki 1 wynosi $+4 \cdot 10^{-16} C$, ładunek kulki 2 wynosi $+3 \cdot 10^{-16} C$. Oblicz, wartość wypadkowego pola elektrycznego pochodzącego od tego układu ładunków w połowie odległości między ładunkami.



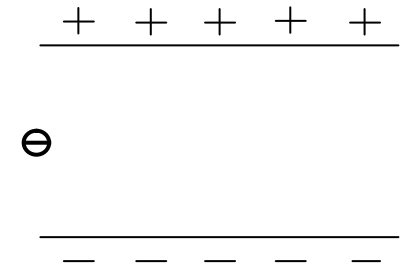
Zadanie 5

W jednorodnym polu elektrycznym umieszczono elektron. Pod wpływem tego pola elektron został rozpędzony do prędkości o wartości $7 \cdot 10^5 \frac{m}{s}$. Droga przebyta przez elektron w tym polu wynosiła 20 cm (patrz rysunek). Na rysunku zaznacz znaki ładunków zgromadzonych na płytkach oraz wektor siły pola elektrycznego działającej na elektron. Oblicz napięcie pomiędzy płytkami.



Zadanie 6

Do obszaru jednorodnego pola elektrycznego wpada elektron (patrz rysunek). Napięcie między płytkami wynosi 1000 V, a odległość między nimi wynosi 10 cm. Długość obszaru jednorodnego pola elektrycznego wynosi 15 cm. Oblicz minimalną wartość prędkości elektronu, aby mógł on opuścić obszar pola elektrycznego bez uderzenia w płytę.



Zadanie 7

Metalowa sfera ma promień 10 cm. Sfera znajduje się w powietrzu. Gdy napięcie między sferą a podłożem przekroczy 20 kV, to nastąpi przepływ ładunków prowadzący do rozładowania się sfery. Oblicz maksymalną ilość ładunków, którą można zgromadzić na sferze.

Zadanie 8

Kondensator płaski stanowią dwie metalowe płyty o powierzchni 5 cm^2 każda. Oblicz, w jakiej odległości należy umieścić te płyty, aby pojemność tego kondensatora wynosiła 2 pF.

Zadanie 9

Płaski kondensator próżniowy, którego powierzchnia okładek wynosi 4 cm^2 naładowano ładunkiem $+3 \cdot 10^{-16} C$ i odłączono od źródła napięcia. Początkowa odległość między okładkami tego kondensatora wynosiła 0,2 mm. Oblicz pracę, jaką należy wykonać, aby okładki oddalić na odległość 0,3 mm.

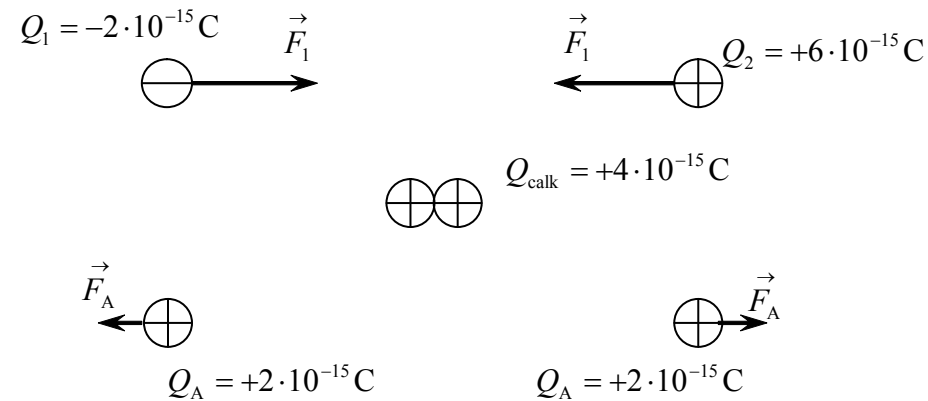
Zadanie 10

Kondensator płaski ma okładki o powierzchni $0,2 \text{ cm}^2$. Odległość między okładkami tego kondensatora wynosi 1 mm. Pomiędzy okładkami znajduje się dielektryk, którego stała dielektryczna wynosi 10. Oblicz pracę, jaką należy wykonać, aby na okładkach tego kondensatora zgromadzić ładunek $6 \cdot 10^{-15} C$.

Rozwiązania

Zadanie 1

Na rysunku poniżej przedstawiono schemat treści zadania:



Wartość sił oddziaływania kulek na początku:

$$F_1 = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Wartość sił oddziaływania kulek na końcu:

$$F_A = k \frac{Q_A \cdot Q_A}{r^2}$$

Stosunek sił końcowej do początkowej:

$$\frac{F_A}{F_1} = \frac{k \frac{Q_A \cdot Q_A}{r^2}}{k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}} = \frac{Q_A \cdot Q_A}{Q_1 \cdot Q_2}$$

Wstawiając dane do powyższego wzoru:

$$\frac{F_A}{F_1} = \frac{2 \cdot 10^{-15} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^{-15} \text{ C}}{2 \cdot 10^{-15} \text{ C} \cdot 6 \cdot 10^{-15} \text{ C}} = \frac{1}{3}$$

Odpowiedź

Końcowa siła była 3 razy mniejsza niż na początku.

Zadanie 2

Obojętne elektrycznie ziarenka elektryzują się przez indukcję w taki sposób, że bliżej pręta znajdują się ładunki innego znaku niż zgromadzone na pręcie. Powoduje to, że ziarenka są przyciągane przez pręt.

W momencie dotknięcia pręta ziarenko elektryzuje się przez dotyk takim samym znakiem jaki zgromadzony na pręcie. Ładunki tych samych znaków odpychają się, więc ziarenko odskakuje od pręta.

Zadanie 3

Wartość natężenia pola elektrycznego obliczamy ze wzoru:

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

Przekształcając to równanie otrzymujemy:

$$r = \sqrt{k \frac{Q}{E}}$$

Podstawiając dane do wzoru otrzymujemy:

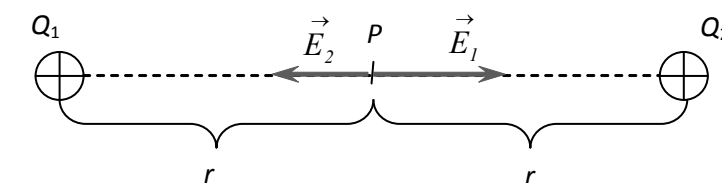
$$r = \sqrt{9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{8 \cdot 10^{-14} \text{ C}}{0,005 \frac{\text{N}}{\text{C}}}} = 0,38 \text{ m}$$

Odpowiedź

Szukana odległość wynosi 0,38 m.

Zadanie 4

Na rysunku zaznaczono wektory natężeń pochodzących od ładunków Q_1 oraz Q_2 .



Wypadkowe natężenie jest równe różnicy natężeń pochodzących od ładunków:

$$E_{\text{wyp}} = E_1 - E_2$$

Natężenia pól elektrycznych od poszczególnych ładunków:

$$E_1 = k \frac{Q_1}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{4 \cdot 10^{-16} \text{ C}}{(0,3 \text{ m})^2} = 4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_2 = k \frac{Q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{3 \cdot 10^{-16} \text{ C}}{(0,3 \text{ m})^2} = 3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Wartość wypadkowego natężenia pola elektrycznego:

$$E_{\text{wyp}} = 4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} - 3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{C}} = 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Odpowiedź

Wartość wypadkowego natężenia pola elektrycznego wynosi $10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{C}}$.

Zadanie 5

Podczas rozpędzania elektronu jego początkowa energia potencjalna jest zamieniana na energię kinetyczną:

$$e \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Stąd napięcie przyspieszające elektrony:

$$U = \frac{1}{2} \frac{m \cdot v^2}{e}$$

Wstawiając dane otrzymujemy:

$$U = \frac{1}{2} \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot \left(7 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 1,39 \text{ V}$$

Odpowiedź:

Napięcie przyspieszające wynosi 1,39 V.

Zadanie 6

Na elektron poruszający się w polu elektrycznym

działa siła pola elektrycznego \vec{F}_e . Pod wpływem tej siły porusza się on z przyspieszeniem:

$$a = \frac{F_e}{m}$$

Ale wartość siły, z jaką pole elektryczne działa na naładowaną cząstkę:

$$F_e = e \cdot E = e \frac{U}{2d}$$

więc przyspieszenie elektronu:

$$a = \frac{e \cdot U}{m \cdot 2d}$$

W kierunku prostopadłym do linii pola elektrycznego ruch elektronu jest jednostajny, a wzdłuż linii tego pola ruch jest przyspieszony:

$$s = v \cdot t$$

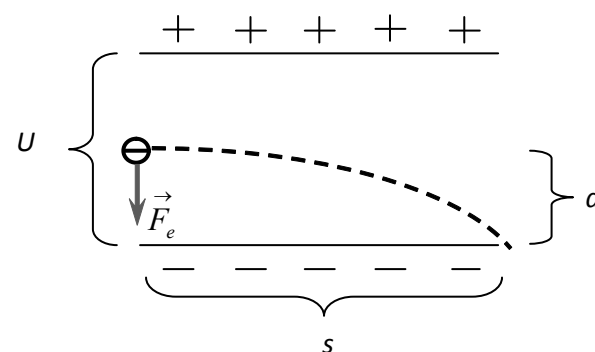
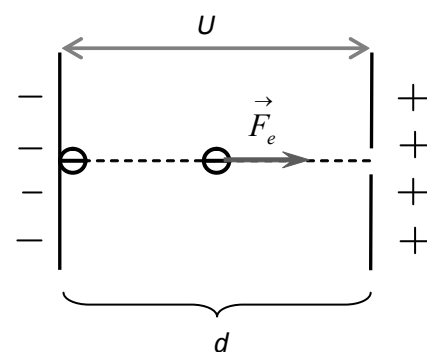
$$d = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Z równań tych początkowa wartość prędkości elektronu:

$$v = s \sqrt{\frac{a}{2d}}$$

Wstawiając wyrażenie na wartość przyspieszenia:

$$v = s \sqrt{\frac{e \cdot U}{4 \cdot m \cdot d^2}}$$



Wstawiając dane otrzymujemy:

$$v = 0,15m \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1000 \text{ V}}{4 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (0,1 \text{ m})^2}} = 9,94 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź

Minimalna wartość prędkości wynosi $9,94 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Zadanie 7

Pojemność elektryczna kuli: $C = \frac{R}{k}$

Definicja pojemności elektrycznej: $C = \frac{Q}{U}$

Szukana ilość ładunków: $Q = \frac{U \cdot R}{k}$

Wstawiając do wzoru otrzymujemy: $Q = \frac{20 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 0,1 \text{ m}}{9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}} = 2,22 \cdot 10^{-7} \text{ C}$

Odpowiedź

Maksymalna ilość ładunków zgromadzonych na kuli wynosi $2,22 \cdot 10^{-7} \text{ C}$.

Zadanie 8

Pojemność kondensatora płaskiego: $C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$

Stąd szukana odległość między okładkami: $d = \epsilon_0 \frac{S}{C}$

Wstawiając dane otrzymamy: $d = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \frac{5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{2 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 2,21 \text{ mm}$

Odpowiedź

Odległość między okładkami kondensatora wynosi 2,21 mm

Zadanie 9

Praca jaką należy wykonać, aby rozsunąć okładki kondensatora jest równa zmianie jego energii: $W = \Delta E$

Energia naładowanego kondensatora: $E = \frac{1}{2} C \cdot U^2$, ale pojemność kondensatora: $C = \frac{Q}{U}$, więc energia naładowanego kondensatora:

$$E = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Pojemność kondensatora płaskiego: $C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$,

więc energia naładowanego kondensatora:

$$E = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{\epsilon_0 \frac{S}{d}} = \frac{d \cdot Q^2}{2\epsilon_0 \cdot S}$$

Praca wykonana podczas rozsuwania okładek kondensatora:

$$W = \Delta E = E_2 - E_1 = \frac{d_2 \cdot Q^2}{2\epsilon_0 \cdot S} - \frac{d_1 \cdot Q^2}{2\epsilon_0 \cdot S}$$

Wstawiając dane do wzoru otrzymujemy:

$$W = (0,3 \cdot 10^{-3} m - 0,2 \cdot 10^{-3} m) \frac{(3 \cdot 10^{-16} C)^2}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2} \cdot 4 \cdot 10^{-4} m^2} = 1,27 \cdot 10^{-21} J$$

Odpowiedź

Praca wykonana podczas rozsuwania okładek kondensatora wynosi $1,27 \cdot 10^{-21} J$.

Zadanie 10

Praca jaką należy wykonać, aby naładować kondensator jest równa zmianie jego energii: $W = \Delta E$

Energia naładowanego kondensatora: $E = \frac{1}{2} C \cdot U^2$, ale pojemność kondensatora: $C = \frac{Q}{U}$, więc energia naładowanego kondensatora:

$$E = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Pojemność kondensatora płaskiego: $C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \frac{S}{d}$,

Więc zmiana energii naładowanego kondensatora:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \frac{S}{d}} = \frac{d \cdot Q^2}{2\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot S}$$

Wstawiając dane do wzoru otrzymujemy:

$$W = \Delta E = \frac{1 \cdot 10^{-3} m \cdot (6 \cdot 10^{-15} C)^2}{2 \cdot 10 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2} \cdot 0,2 \cdot 10^{-4} m^2} = 1,02 \cdot 10^{-17} J$$

Odpowiedź

Praca wykonana podczas ładowania kondensatora wynosi: $1,02 \cdot 10^{-17} J$