



Ruch cząstki naładowanej wstrzelonej równolegle do linii jednorodnego pola elektrycznego

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

Ruch cząstki naładowanej wstrzelonej równoległe do linii jednorodnego pola elektrycznego

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, Tomasz Wójcik, licencja: CC BY 4.0.

Czy to nie ciekawe?

Pole elektryczne oddziałuje na naładowane. Od czego zależy wartość i kierunek siły tego oddziaływania i jakie są tego konsekwencje? Do jakiej innej siły możemy porównać to oddziaływanie? Dowiesz się tego w tym e-materiale.



Rys. a. Wielki Zderzacz Hadronów (LHC), w którym cząstki przyspieszane są przy pomocy pól elektromagnetycznych do prędkości porównywalnych z prędkością światła.

Źródło: CERN, dostępny w internecie: <https://arts.cern/about> [dostęp 25.06.2022], tylko do użytku edukacyjnego.

Twoje cele

W tym materiale:

- dowiesz się, jaka siła działa na naładowaną cząstkę umieszczoną w polu elektrycznym,
- przeanalizujesz przykład ładunku wstrzelonego równolegle do linii pola jednorodnego,
- porównasz siły oddziałujące na naładowaną cząstkę w polu elektrycznym do siły grawitacyjnej,
- wykorzystasz zdobytą wiedzę i umiejętności do rozwiązania problemów i zadań.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Czym jest pole elektryczne?

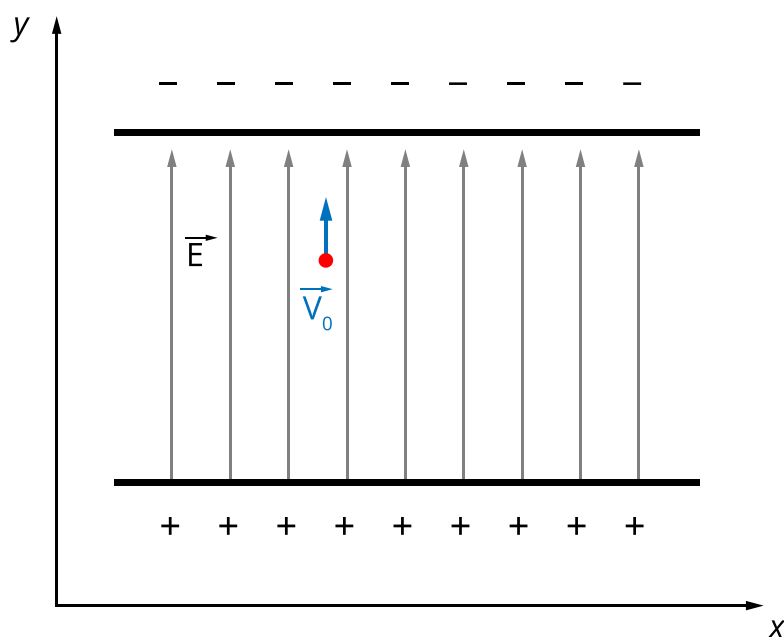
Jeśli na umieszczone w pewnej przestrzeni naładowane ciało działa siła elektrostatyczna, która jest proporcjonalna do ładunku tego ciała, to mówimy, że w tej przestrzeni istnieje **pole elektryczne**.

Oznacza to, że na każdą cząstkę naładowaną umieszczoną w polu elektrycznym działa siła $\vec{F}$. Siłę tę możemy zapisać jako iloczyn wartości ładunku cząstki q oraz wektora natężenia pola $\vec{E}$:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Co zatem się stanie, jeśli w **jednorodnym polu** wstrzelimy naładowaną cząstkę równoległe do linii sił pola (Rys. 1.)? Niech linie pola będą skierowane tak, że wektor natężenia pola możemy zapisać jako:

$$\vec{E} = (0, E_y)$$



Rys. 1. Cząstka wstrzelona w jednorodne pole elektryczne.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Początkowa prędkość cząstki wynosi $\vec{v}_0$:

$$\vec{v}_0 = (v_{0x}, v_{0y})$$

przy czym, jeśli cząstka została wstrzelona równolegle do linii sił pola, to jej składowa prędkości wzdłuż osi X wynosi 0.

Ponieważ pole elektryczne działa na cząstkę siłą $\vec{F}$, to zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona cząstka ta zyska pewne przyspieszenie. Kierunek tego przyspieszenia będzie zależał od kierunku wektora natężenia pola i znaku ładunku cząstki. Wektor przyspieszenia możemy zapisać jako:

$$\vec{a} = (a_x, a_y) = (0, a_y)$$

Z II zasady dynamiki Newtona wiemy, że przyspieszenie to iloraz siły $\vec{F}$ i masy m :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

A zatem:

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

$$a_y = \frac{qE_y}{m}$$

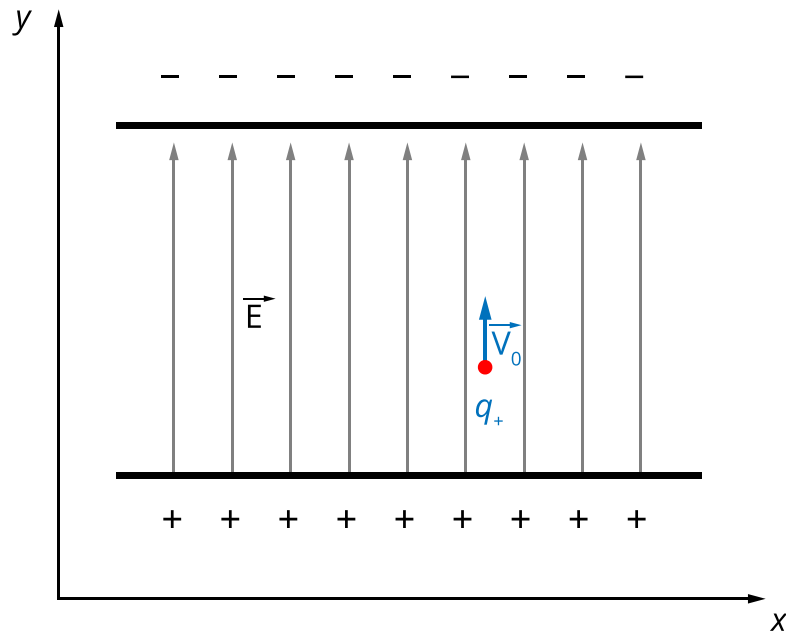
$$a_x = \frac{qE_x}{m}$$

Ponieważ $E_x = 0$, to również składowa przyspieszenia wzdłuż osi x będzie równa zero ($a_x = 0$).

Zastanówmy się teraz nad tym, jaki będzie zwrot wektora przyspieszenia w stosunku do wektora prędkości - to znaczy, czy cząstka w polu elektrycznym będzie przyspieszała, czy zwalniała?

Rozważmy cztery przypadki:

1. Dodatnio naładowana cząstka zostaje wstrzelona równoległe do linii natężenia pola elektrycznego, a zwrot jej wektora prędkości początkowej jest zgodny ze zwrotem linii (Rys. 2.).

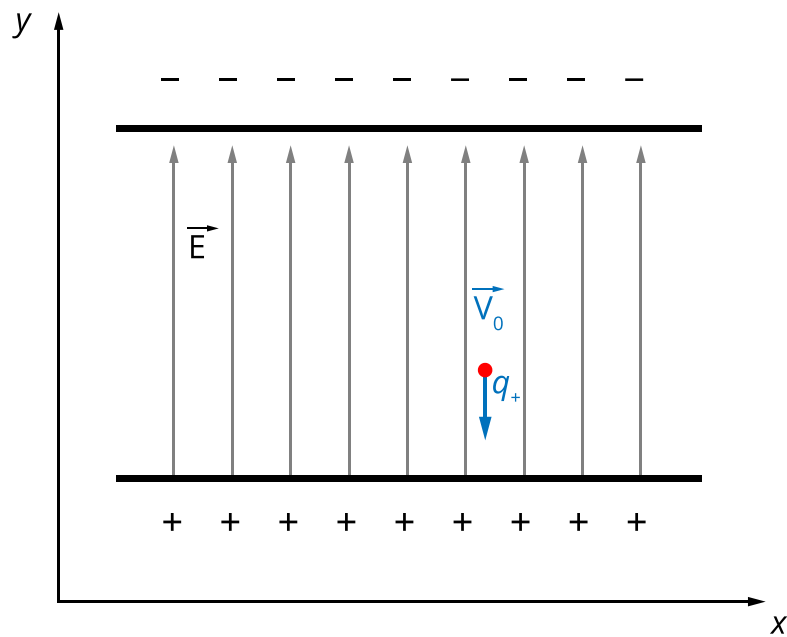


Rys. 2. Cząstka o dodatnim ładunku poruszająca się w kierunku linii pola elektrycznego.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Widzimy, że dodatnio naładowana cząstka będzie przyciągana przez ujemnie naładowaną płaszczyznę, czyli kierunek przyspieszenia będzie zgodny z kierunkiem prędkości początkowej. Cząstka będzie się poruszała ruchem jednostajnie przyspieszonym.

2. Dodatnio naładowana cząstka zostaje wstrzelona równoległe do linii natężenia pola elektrycznego, a zwrot jej wektora prędkości początkowej jest przeciwny do zwrotu linii (Rys. 3.).

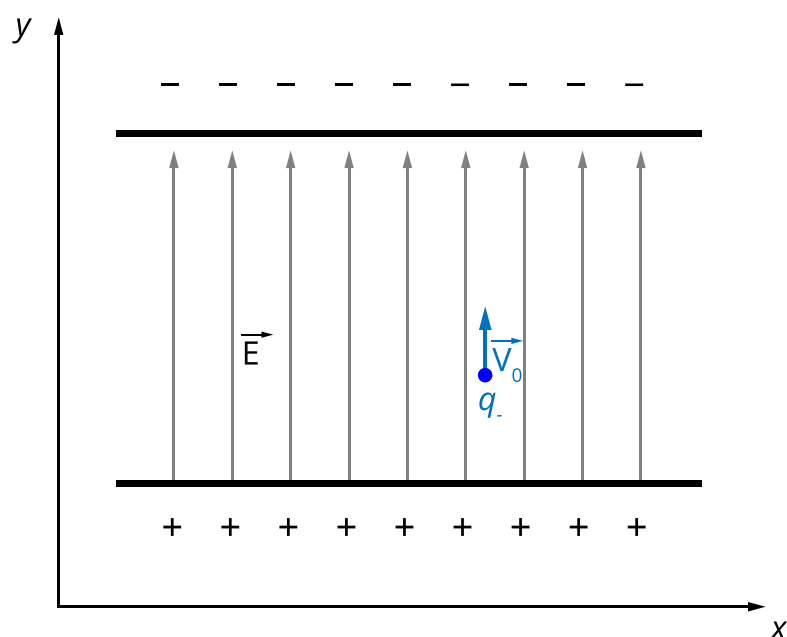


Rys. 3. Cząstka o dodatnim ładunku poruszająca się przeciwnie do kierunku linii pola elektrycznego.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Dodatnio naładowana cząstka będzie przyciągana przez ujemnie naładowaną płaszczyznę, czyli kierunek przyspieszenia cząstki będzie przeciwny do kierunku prędkości początkowej. Cząstka będzie się poruszała ruchem jednostajnie opóźnionym. Po pewnym czasie prędkość osiągnie wartość zero, po czym cząstka zacznie poruszać się ruchem jednostajnie przyspieszonym w stronę ujemnie naładowanej płaszczyzny.

3. Ujemnie naładowana cząstka zostaje wstrzelona równoległe do linii natężenia pola elektrycznego, a zwrot jej wektora prędkości początkowej jest zgodny ze zwrotem linii (Rys. 4.).

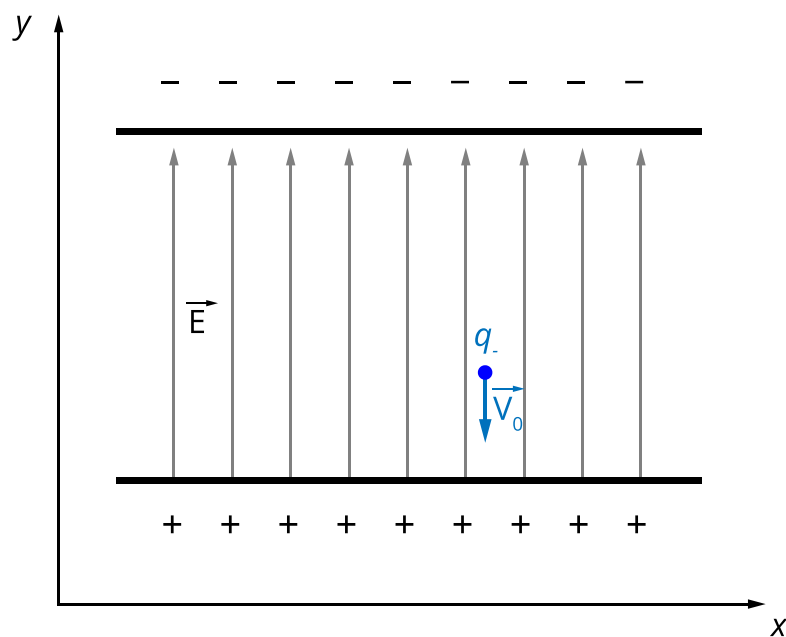


Rys. 4. Cząstka o ujemnym ładunku poruszająca się w kierunku linii pola elektrycznego.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ujemnie naładowana cząstka będzie przyciągana przez dodatnio naładowaną płaszczyznę, czyli kierunek przyspieszenia cząstki będzie przeciwny do kierunku prędkości początkowej. Cząstka będzie się poruszała ruchem jednostajnie opóźnionym. Po pewnym czasie jej prędkość osiągnie wartość zero, po czym cząstka zacznie poruszać się ruchem jednostajnie przyspieszonym w stronę dodatnio naładowanej płaszczyzny.

4. Ujemnie naładowana cząstka zostaje wstrzelona równoległe do linii natężenia pola elektrycznego a zwrot jej wektora prędkości początkowej jest przeciwny do zwrotu linii (Rys. 5.).



Rys. 5. Cząstka o ujemnym ładunku poruszająca się przeciwnie do kierunku linii pola elektrycznego.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ujemnie naładowana cząstka będzie przyciągana przez dodatnio naładowaną płaszczyznę, czyli kierunek przyspieszenia cząstki będzie zgodny z kierunkiem prędkości początkowej. Cząstka będzie się poruszała ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Znając przyspieszenie możemy określić prędkość cząstki korzystając z wzoru:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

Składową wektora prędkości wzdłuż osi X możemy zapisać jako:

$$v_x = v_{0x} + a_x t = 0$$

Składowa wektora prędkości wzdłuż osi Y dla ruchu przyspieszonego to:

$$v_y = v_{0y} + a_y t = v_{0y} + \frac{q E_y}{m} t$$

Natomiast dla ruchu opóźnionego:

$$v_y = v_{0y} - a_y t = v_{0y} - \frac{q E_y}{m} t$$

To z kolei pozwala nam zapisać wzory na położenie cząstki wzdłuż osi X i wzdłuż osi Y w funkcji czasu:

$$x(t) = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2}$$

Stałe x_0 i y_0 oznaczają początkowe położenie cząstki.

Cząstka nie zmienia swojego położenia wzdłuż osi X:

$$x(t) = x_0$$

Natomiast składowa wektora położenia wzdłuż osi Y to:

$$y(t) = y_0 + v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2} = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} \frac{q E_y}{m} t^2$$

dla ruchu przyspieszonego i:

$$y(t) = y_0 + v_{0y} t - \frac{a_y t^2}{2} = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} \frac{q E_y}{m} t^2$$

dla ruchu opóźnionego.

Można zauważyć, że zachowanie cząstki obdarzonej ładunkiem w polu elektrycznym przypomina zachowanie ciał obdarzonych masą w polu grawitacyjnym Ziemi. Wstrzelenie

ładunku równoległe do linii sił pola elektrycznego jest porównywalne do nadania ciała pewnej prędkości w kierunku równoległym do kierunku siły grawitacyjnej.

Przypadek 1 i 4 można porównać do zrzucenia piłki z pewnej wysokości. Piłka ta będzie spadała z przyspieszeniem grawitacyjnym. Natomiast przypadki 2 i 3 odpowiadają podrzuceniu piłki. Początkowo piłka będzie poruszać się ruchem jednostajnie opóźnionym, a następnie prędkość zmieni zwrot i piłka zacznie spadać na Ziemię.



Rys. 6. Wielki Zderzacz Hadronów (LHC).

Źródło: CERN, dostępny w internecie: <https://arts.cern/about> [dostęp 25.06.2022], tylko do użytku edukacyjnego.

Warto zwrócić uwagę na to, że naładowana cząstka w polu elektrycznym może być przyspieszana. Wykorzystuje się to w akceleratorach cząstek, służących do rozpędzania cząstek do dużych prędkości, często zbliżonych do prędkości światła. Dla przykładu, Wielki Zderzacz Hadronów może rozpędzić cząstki do 99.999999% prędkości światła.

Słowniczek

pole jednorodne

(*ang.: uniform field*) jest to pole, które w każdym punkcie ma taką samą wartość, kierunek i zwrot.

druga zasada dynamiki

(*ang.: Newton's second law*) w inercjalnym układzie odniesienia, jeśli na ciało działa siła $\vec{F}$, to ciało to porusza się z przyspieszeniem $\vec{a}$, które jest wprost proporcjonalne do siły działającej na ciało i odwrotnie proporcjonalne do masy m tego ciała:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Animacja

Jakim ruchem będzie się poruszał ładunek, jeżeli wstrzelimy go równoległe do linii sił pola?

Animacja pokazuje elektron (w postaci niewielkiej kropki) między dwiema równoległymi do siebie płaszczyznami. Elektron porusza się w stronę jednej z płaszczyzn z niewielką prędkością. Elektron oznaczamy symbolem e . Wektor $\vec{v}_0$ oznacza prędkość początkowa elektronu. Strzałka wychodząca od elektronu (na animacji poniżej skierowana w dół) oznacza prędkość.

Polecenie 1

Czy w ostatnim przykładzie pokazanym na animacji elektron zawsze uderzy w ujemnie naładowaną płytkę? A co by się stało, gdybyśmy zamienili elektron na proton?

Polecenie 2

Jak zachowywałyby się neutrony w przykładach przedstawionych podczas animacji?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Który podpunkt poprawnie opisuje wzór na siłę działającą na naładowaną cząstkę znajdującą się w polu elektrycznym? W poniższych wzorach $\vec{F}$ to wektor siły, q - ładunek cząstki, $\vec{E}$ - wektor natężenia pola, $\times$ - oznacza iloczyn wektorowy.

☐ $\vec{F} = \frac{q}{\vec{E}}$

☐ $\vec{F} = q\vec{E}$

☐ $\vec{F} = q \times \vec{E}$

☐ $\vec{F} = \frac{\vec{E}}{q}$

Ćwiczenie 2



W poniższych zdaniach zaznacz "jednostajnie przyspieszonym" lub "jednostajnie opóźnionym" tak, aby zdanie było prawdziwe:

Dodatnio naładowana cząstka zostaje wstrzelona równoległe do linii natężenia pola elektrycznego, a zwrot jej wektora prędkości początkowej jest zgodny ze zwrotem linii.

W wyniku działania pola cząstka będzie się poruszała ruchem

☐ jednostajnie przyspieszonym / ☐ jednostajnie opóźnionym .

Dodatnio naładowana cząstka zostaje wstrzelona równoległe do linii natężenia pola elektrycznego, a zwrot jej wektora prędkości początkowej jest przeciwny do zwrotu linii.

W wyniku działania pola cząstka będzie się poruszała ruchem

☐ jednostajnie przyspieszonym / ☐ jednostajnie opóźnionym .

Ujemnie naładowana cząstka zostaje wstrzelona równoległe do linii natężenia pola elektrycznego, a zwrot jej wektora prędkości początkowej jest zgodny ze zwrotem linii.

W wyniku działania pola cząstka będzie się poruszała ruchem

☐ jednostajnie przyspieszonym / ☐ jednostajnie opóźnionym .

Ujemnie naładowana cząstka zostaje wstrzelona równoległe do linii natężenia pola elektrycznego, a zwrot jej wektora prędkości początkowej jest przeciwny do zwrotu linii.

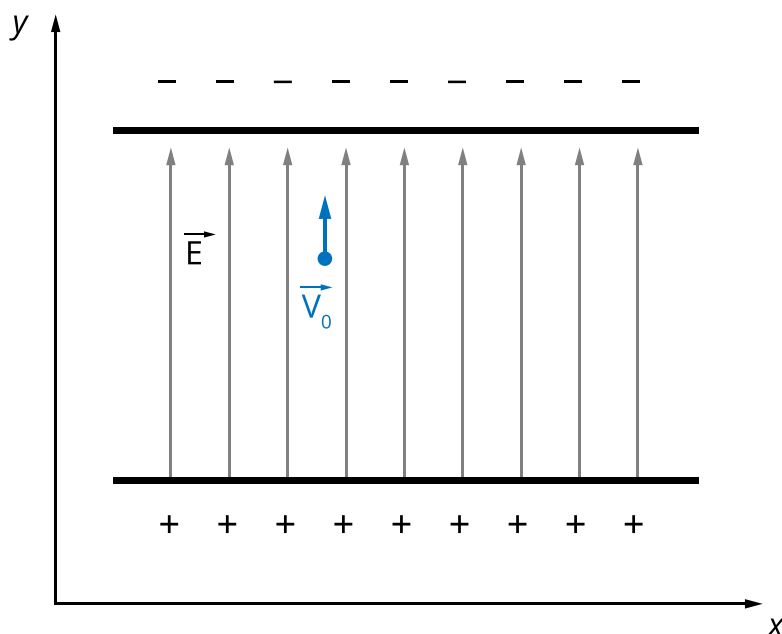
W wyniku działania pola cząstka będzie się poruszała ruchem

☐ jednostajnie przyspieszonym / ☐ jednostajnie opóźnionym .

Ćwiczenie 3



Przeanalizuj poniższy rysunek i uzupełnij znajdujące się pod nim zdania.



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Powyższy schemat przedstawia sytuację, w której naładowana cząstka została wstrzelona w pole elektryczne do linii natężenia pola elektrycznego. Składowa wektora prędkości początkowej wzdłuż osi jest równa zero. Cząstka ta w wyniku działania pola uzyskuje pewne przyspieszenie. Składowa wektora przyspieszenia wzdłuż osi jest równa zero. W sytuacji pokazanej na rysunku, przyspieszenie będzie miało zwrot zgodny ze zwrotem prędkości początkowej, jeśli cząstka będzie miała znak ładunku.

Y

ujemny

Y

prostopadle

X

równolegle

dowolny

prostopadle

X

równolegle

dodatni

dodatni

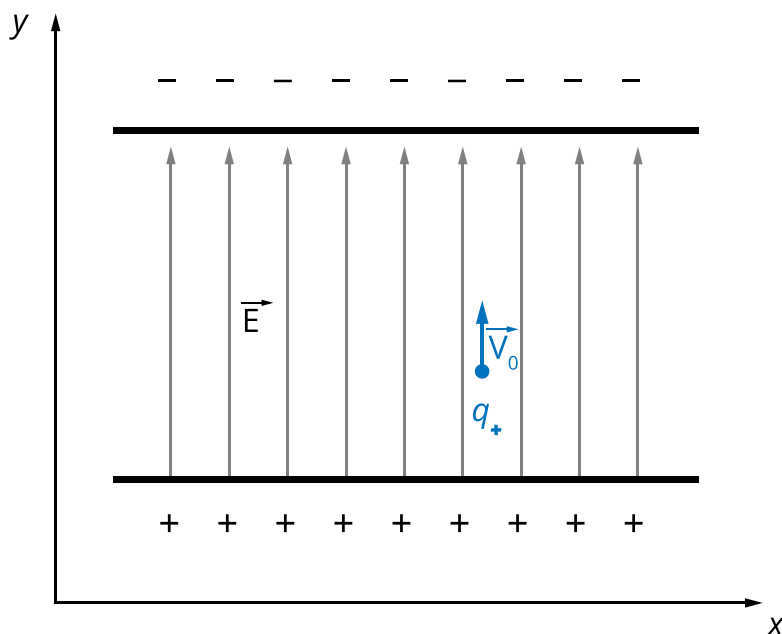
dowolny

ujemny

Ćwiczenie 4



Dodatnio naładowana cząstka została wstrzelona w jednorodne pole elektryczne, z pewną prędkością początkową, równoległe do linii sił pola. Wektor prędkości początkowej ma zwrot zgodny ze zwrotem linii sił pola (jak na rysunku poniżej).



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Jak zmieni się położenie cząstki wzdłuż osi Y po czasie $t = 2 \cdot 10^{-5}$ s, jeśli wiadomo, że:

$$E = 100 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$v_0 = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$q = 3 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

$$m = 2 \cdot 10^{-30} \text{kg}$$

Wynik podaj w milimetrach z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

Po czasie $t = 2 \cdot 10^{-5}$ s położenie cząstki, wzdłuż osi Y zmieni się o mm

Ćwiczenie 5



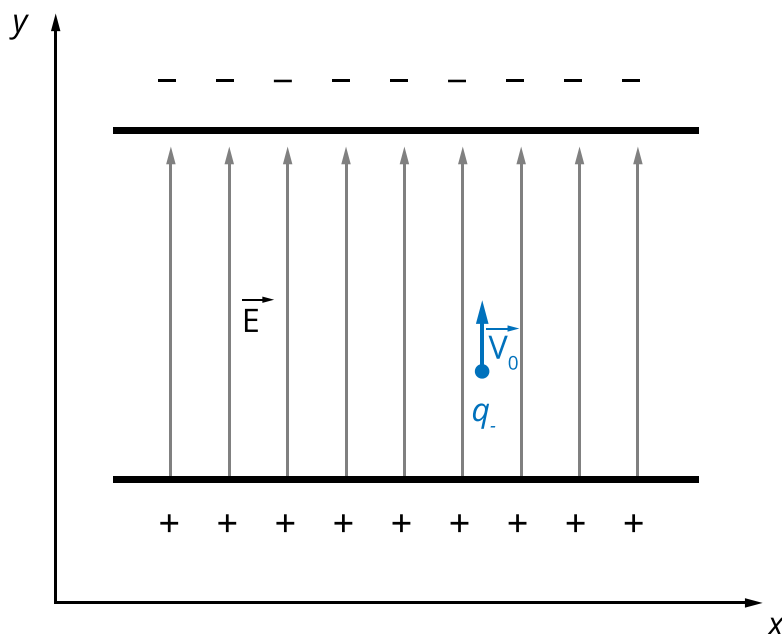
Dwie ujemnie naładowane cząstki o równych wartościach ładunku wstrzelono w pole elektryczne o natężeniu E tak, że początkowo cząstki te poruszały się w stronę dodatnio naładowanej płaszczyzny z prędkością v_0 . Zaznacz zdanie prawdziwe wiedząc, że masa pierwszej cząstki była dwa razy większa niż masa drugiej.

- ☐ Po czasie Δt pierwsza cząstka poruszała się wolniej od drugiej, zachowując pierwotny kierunek lecz z przeciwnym zwrotem.
- ☐ Po czasie Δt pierwsza cząstka poruszała się szybciej od drugiej, zachowując pierwotny kierunek i zwrot.
- ☐ Po czasie Δt pierwsza cząstka poruszała się wolniej od drugiej, zachowując pierwotny kierunek i zwrot
- ☐ Po czasie Δt pierwsza cząstka poruszała się szybciej od drugiej, zachowując pierwotny kierunek lecz z przeciwnym zwrotem.

Ćwiczenie 6



Elektron zostaje wstrzelony w pole elektryczne o natężeniu równym $E = 2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V}}{\text{m}}$ tak, że wektor prędkości początkowej ma zwrot zgodny ze zwrotem linii sił pola, a jego wartość wynosi $v_0 = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Wyznacz czas, po upływie którego elektron zmieni kierunek ruchu.

W obliczeniach uwzględnij:

Wartość ładunku elektronu - $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

Masa elektronu - $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$

Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Cząstka zatrzyma się, a następnie zmieni kierunek ruchu po czasie $\cdot 10^{-4} \text{s}$

Ćwiczenie 7



Proton zostaje wstrzelony w pole elektryczne o natężeniu równym $E = 2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V}}{\text{m}}$ tak, że wektor prędkości początkowej ma zwrot przeciwny do zwrotu linii sił pola, a wartość prędkości początkowej wynosi $v_0 = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. W którą stronę będzie poruszać się proton po czasie 0,4 s? Zaznacz poprawną odpowiedź.

W obliczeniach uwzględnij:

$$q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

$$m_p = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{kg}$$

Po czasie 0,4 s proton porusza się w stronę płaszczyzny naładowanej ☐ dodatnio /
☐ ujemnie ☐.

Ćwiczenie 8



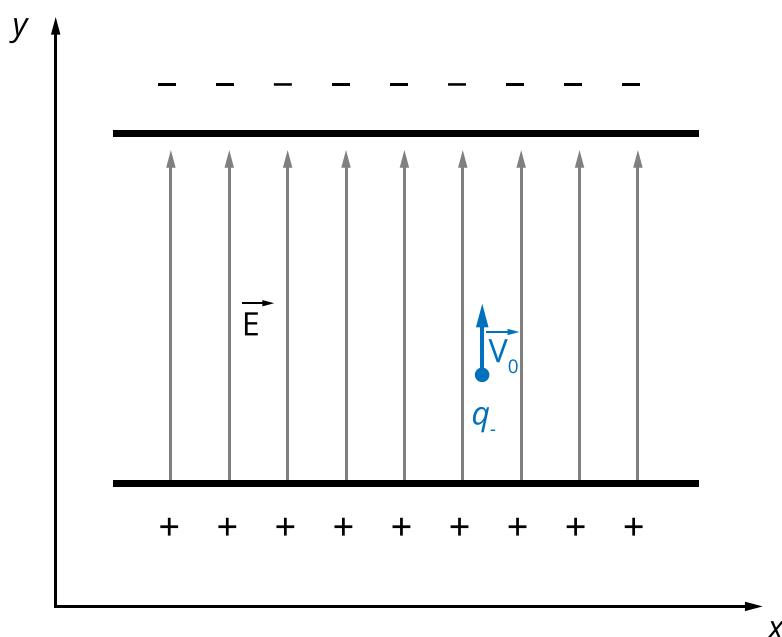
Ujemnie naładowana cząstka została wstrzelona w jednorodne pole elektryczne z pewną prędkością początkową (równoległe do linii sił pola) tak, że wektor prędkości początkowej ma zwrot zgodny ze zwrotem linii sił pola. Wiemy, że pole to jest wytwarzane przez dwie płaskie naładowane płyty, ustawione równoległe do siebie w odległości 8 mm, a cząstka została wstrzelona dokładnie pośrodku między tymi płytami. Ponadto wiemy, że:

wartość natężenia pola $E = 10 \cdot 10^{-5} \frac{\text{V}}{\text{m}}$

wartość prędkości początkowej $v_0 = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

ładunek $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

masa $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Do której płaszczyzny dotrze cząstka?

☐ Do płaszczyzny naładowanej ujemnie.

☐ Do płaszczyzny naładowanej dodatnio.

Na jaką odległość należałoby rozsunąć płaszczyzny, aby cząstka dotarła do płaszczyzny naładowanej dodatnio?

☐ Co najmniej 12 mm.

☐ Co najmniej 15 mm.

☐ Co najmniej 9 mm.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Martyna Jakubowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jakim ruchem będzie się poruszał ładunek, jeżeli wstrzelimy go równoległe do linii sił pola?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. VII. Elektrostatyka. Uczeń: 7) analizuje ruch cząstek naładowanych w polu elektrycznym.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r. • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. opisuje sposób, w jaki naładowana cząstka zachowuje się w polu jednorodnym, 2. wymienia siły działające na naładowaną cząstkę umieszczoną w polu elektrycznym, 3. analizuje przykład ładunku wstrzelonego równolegle do linii sił pola, 4. porównuje siły oddziałujące na naładowaną cząstkę w polu elektrycznym do siły grawitacyjnej.
Strategie nauczania:	blended-learning
Metody nauczania:	nauczanie hybrydowe, animacja
Formy zajęć:	praca indywidualna, praca w grupach
Środki dydaktyczne:	komputer dla każdego ucznia, długopis, kalkulator
Materiały pomocnicze	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel rozpoznaje wiedzę uczniów poprzez zadanie pytań: Czy wiecie, czym jest pole elektryczne? Jaka jest treść drugiej zasady dynamiki? Czym są ruchy jednostajnie przyspieszony i jednostajnie opóźniony? Jeśli uczniowie nie znają odpowiedzi na któreś z tych pytań, to nauczyciel pomaga im usystematyzować wcześniejszą wiedzę.	
Faza realizacyjna:	
Na początku uczniowie samodzielnie czytają tekst „Warto przeczytać”. Nauczyciel sprawdza, czy pojawiły się jakieś pytania związane z tekstem. Klasa wspólnie zastanawia się nad pytaniami, które się pojawiły, a nauczyciel, jeżeli znajdzie taką potrzebę, naprowadza na właściwe odpowiedzi. Każdy uczeń zapoznaje się indywidualnie z animacją. Po jej obejrzeniu nauczyciel ponownie sprawdza, czy pojawiły się jakieś pytania – jeżeli tak, to klasa wspólnie próbuje odpowiedzieć na nie. Jeśli znajdzie taką potrzebę, to uczniowie wracają do wybranego fragmentu tekstu lub animacji. Wykorzystując zdobytą wiedzę, uczniowie rozwiązują zadania z punktu „Sprawdź się”.	
Faza podsumowująca:	

Uczniowie dzielą się na 4 grupy, w których omawiają rozwiązania zadań, wspólnie zastanawiając się nad zadaniami, które sprawiły im trudność. Każda z grup omawia dwa zadania „na forum klasy”.

Nauczyciel sprawdza, które zadania sprawiły uczniom kłopot i dlaczego.

Poprzez analizę wypowiedzi uczniów nauczyciel określa, w jakim stopniu osiągnięte zostały wyznaczone cele.

Praca domowa:

Nauczyciel wcześniej przygotowuje pulę zadań podobnych do zadań z części „**Sprawdź się**” o zróżnicowanym stopniu trudności. Po przeanalizowaniu wyników testu „**Sprawdź się**” i uwag uczniów do zadań, które sprawiły im największą trudność, nauczyciel wybiera trzy zadania analogiczne do tych, z którymi uczniowie mieli problemy.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia wiadomości.