



## Ruch cząstki naładowanej wstrzelonej prostopadle do linii jednorodnego pola elektrycznego

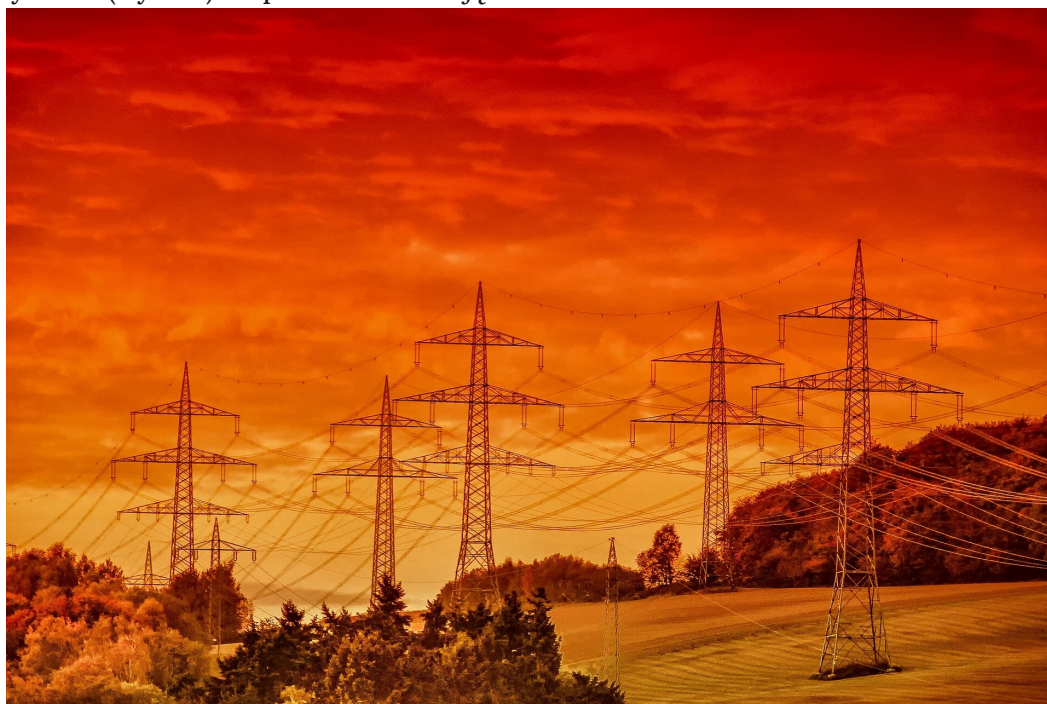
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

## Ruch cząstki naładowanej wstrzelonej prostopadle do linii jednorodnego pola elektrycznego

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

## Czy to nie ciekawe?

Pole elektryczne (Rys. a.) to pole oddziałujące na naładowane ciała.



Rys. a. Linia wysokiego napięcia służy do przesyłania energii elektrycznej na duże odległości

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/photos/landscape-nature-mood-electricity-3416909/> [dostęp 28.03.2022].

Pole to może przyspieszyć lub spowolnić cząstkę, może też zmienić kierunek jej ruchu. A zatem odpowiednio dobrane pole elektryczne pozwala sterować ruchem cząstki. W jaki sposób jest to możliwe? Jak zachowa się cząstka w jednorodnym polu elektrycznym, jeśli początkowo porusza się prostopadle do linii pola?

### **Twoje cele**

W tym materiale:

- dowiesz się, jaka siła działa na naładowaną cząstkę umieszczoną w polu elektrycznym,
- przeanalizujesz animację prezentującą zmianę toru ruchu cząstki w polu elektrycznym,
- przeanalizujesz przykład ładunku wstrzelonego prostopadle do linii pola,
- wyznaczysz równanie toru takiej cząstki,
- zastosujesz zależność prędkości cząstki w polu elektrycznym od czasu do rozwiązywania konkretnych problemów.

# Przeczytaj

## Warto przeczytać

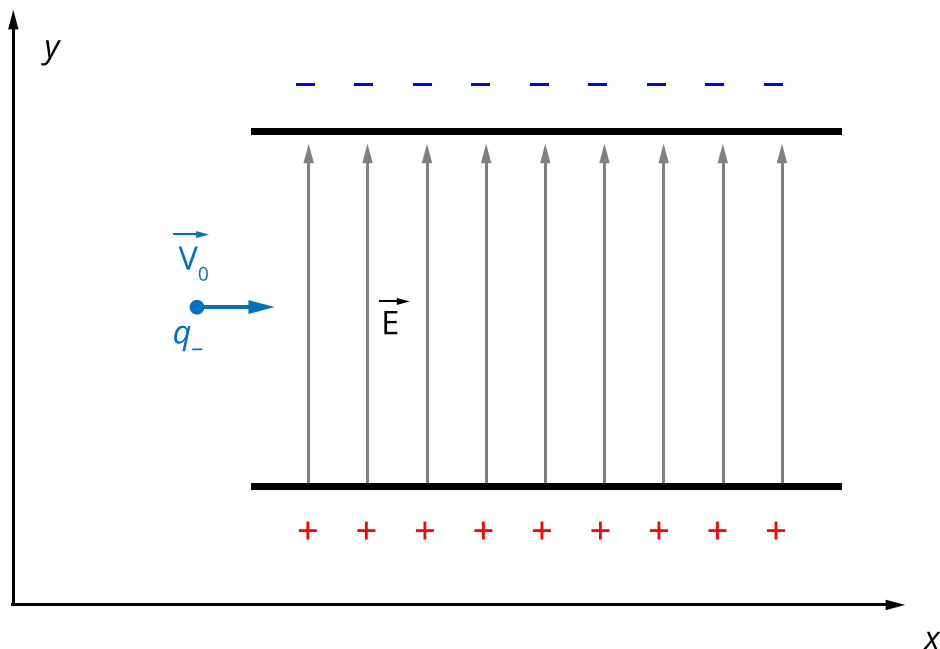
Czym jest pole elektryczne?

*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**.*

A zatem, jeśli w przestrzeni, w której jest pole elektryczne o natężeniu  $\vec{E}$  umieścimy cząstkę posiadającą ładunek  $q$ , to na cząstkę tę będzie działać siła  $\vec{F}$ . Siłę tę wyznaczamy jako iloczyn wartości **ładunku** oraz **natężenia** pola **WoltWolt**:

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

Rozpatrzmy sytuację, gdy w **jednorodne pole** elektryczne, prostopadle do jego linii, zostaje wstrzelona naładowana cząstka (Rys. 1.). Niech linie pola będą skierowane tak, że wektor natężenia pola zapiszemy jako  $\vec{E} = (0, E_y)$ .



Rys. 1. Cząstka wstrzelona w jednorodne pole elektryczne

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Początkową prędkość cząstki  $\vec{v}_0$ , możemy zapisać jako:

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

Ponieważ cząstka została wstrzelona prostopadłe do linii sił pola, a zatem składowa prędkości początkowej wzdłuż osi  $y$  wynosi 0.

Pole elektryczne działa na cząstkę siłą  $\vec{F}$ . Zgodnie z [II zasadą dynamiki Newtona](#) cząstka ta zyska pewne przyspieszenie. Wektor przyspieszenia możemy zapisać jako

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

Z II zasady dynamiki Newtona wiemy, że przyspieszenie możemy zapisać jako iloraz siły  $\vec{F}$  działającej na cząstkę oraz masy tej cząstki  $m$ :

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

A zatem:

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

$$a_y = \frac{q \cdot E_y}{m}$$

Natężenie pola elektrycznego skierowane jest prostopadłe do osi  $x$  ( $E_x = 0$ ), czyli wzdłuż osi  $x$  nie działa na cząstkę żadna siła i przyspieszenie wzdłuż tej osi ma wartość 0.

$$a_x = 0$$

Znając przyspieszenie oraz prędkość początkową  $v_0$ , możemy określić prędkość tej cząstki w polu elektrycznym, korzystając ze wzoru:

$$v = v_0 + a \cdot t$$

Ponieważ  $a_x = 0$ , składową wektora prędkości wzdłuż osi  $x$  możemy zapisać jako:

$$v_x = v_{0x}$$

Oznacza to, że prędkość wzdłuż osi  $x$  będzie stała, niezależna od czasu.

Natomiast składową wektora prędkości wzdłuż osi y możemy zapisać jako:

$$v_y = v_{0y} + a_y \cdot t$$

Ponieważ  $v_{0y} = 0$  a więc:

$$v_y = a_y \cdot t = \frac{q \cdot E_y}{m} \cdot t$$

Oznacza to, że w tym kierunku ruch cząstki jest ruchem jednostajnym przyspieszonym.

To z kolei pozwala nam zapisać położenie cząstki wzdłuż osi x i wzdłuż osi y w funkcji czasu:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t$$

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

Gdzie  $x_0$  i  $y_0$ , oznaczają początkowe położenie cząstki.

A składowa prędkości początkowej wzdłuż osi y wynosi 0

$$v_{0y} = 0$$

A zatem:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t$$

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

Zapiszmy to jako równanie toru. Z  $x(t) = x_0 + v_{0x}t$  wyznaczmy  $t$

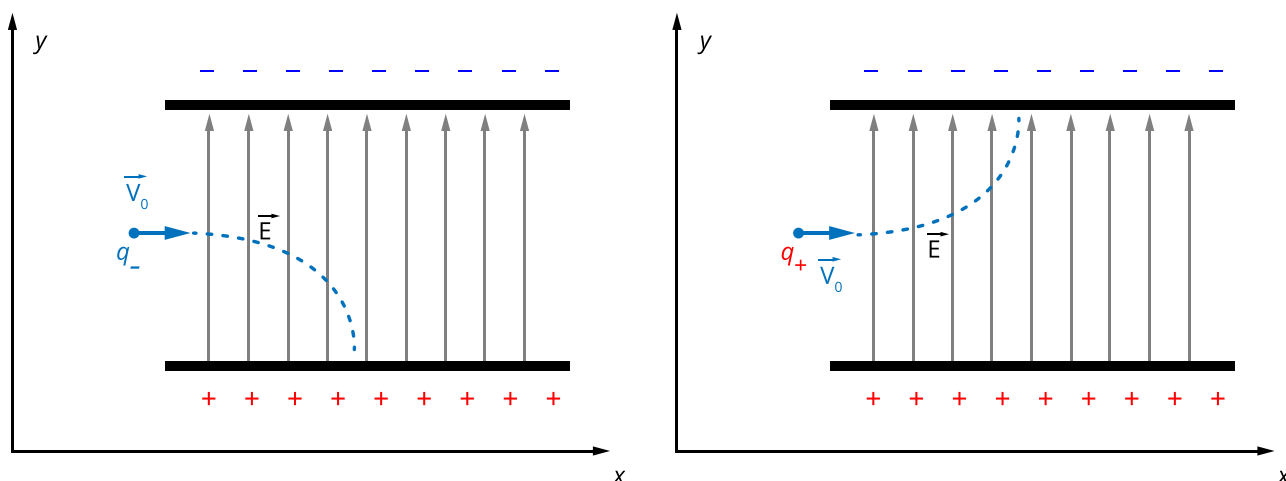
$$t = \frac{x(t) - x_0}{v_{0x}}$$

i podstawmy do wzoru na  $y(t)$

$$y(x) = y_0 + \frac{1}{2} \cdot a_y \cdot \left( \frac{x - x_0}{v_{0x}} \right)^2$$

Widzimy, że równanie toru ma formę funkcji kwadratowej, a więc tor cząstki ma kształt paraboli.

Cząstka naładowana ujemnie będzie zawsze poruszała się w kierunku płaszczyzny dodatniej (Rys. 2a.), natomiast cząstka naładowana dodatnio będzie zawsze poruszała się w kierunku płaszczyzny ujemnej (Rys. 2b.).



Rys. 2. Ruch cząstki wstrzelonej w jednorodne pole elektryczne

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Podsumowanie najważniejszych zależności:

|                                        |                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Przyspieszenie cząstki w funkcji czasu | $a_x = 0$ $a_y = \frac{q \cdot E_y}{m}$                                                                                                                                          |
| Prędkość cząstki w funkcji czasu       | $v_x = v_{0x}$ $v_y = a_y \cdot t = \frac{q \cdot E_y}{m} \cdot t$                                                                                                               |
| Położenie cząstki w funkcji czasu      | $x(t) = x_0 + v_{0x} t$ $y(t) = y_0 + \frac{a_y t^2}{2} = y_0 + \frac{1}{2} \frac{q \cdot E_y}{m} \cdot t^2$                                                                     |
| Równanie toru                          | $y(x) = y_0 + \frac{1}{2} \cdot a_y \cdot \left( \frac{x - x_0}{v_{0x}} \right)^2 = y_0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot E_y}{m} \cdot \left( \frac{x - x_0}{v_{0x}} \right)^2$ |

## Słowniczek

### Wolt

(ang. *Volt*) – jednostka napięcia elektrycznego oraz potencjału elektrycznego, oznaczamy ją literą V. W jednostkach podstawowych układu SI zapisujemy ją jako:

$$1 \text{ V} = 1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{s}^3}$$

### Kulomb

(ang. *Coulomb*) – jednostka pojemności elektrycznej, oznaczana literą C. W jednostkach podstawowych układu SI zapisujemy ją jako:  $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$ .

### Pole jednorodne

(ang. *uniform field*) – jest to pole, w którym natężenie pola jest jednakowe w każdym punkcie, czyli ma taką samą wartość, kierunek i zwrot.

### **Druga zasada dynamiki**

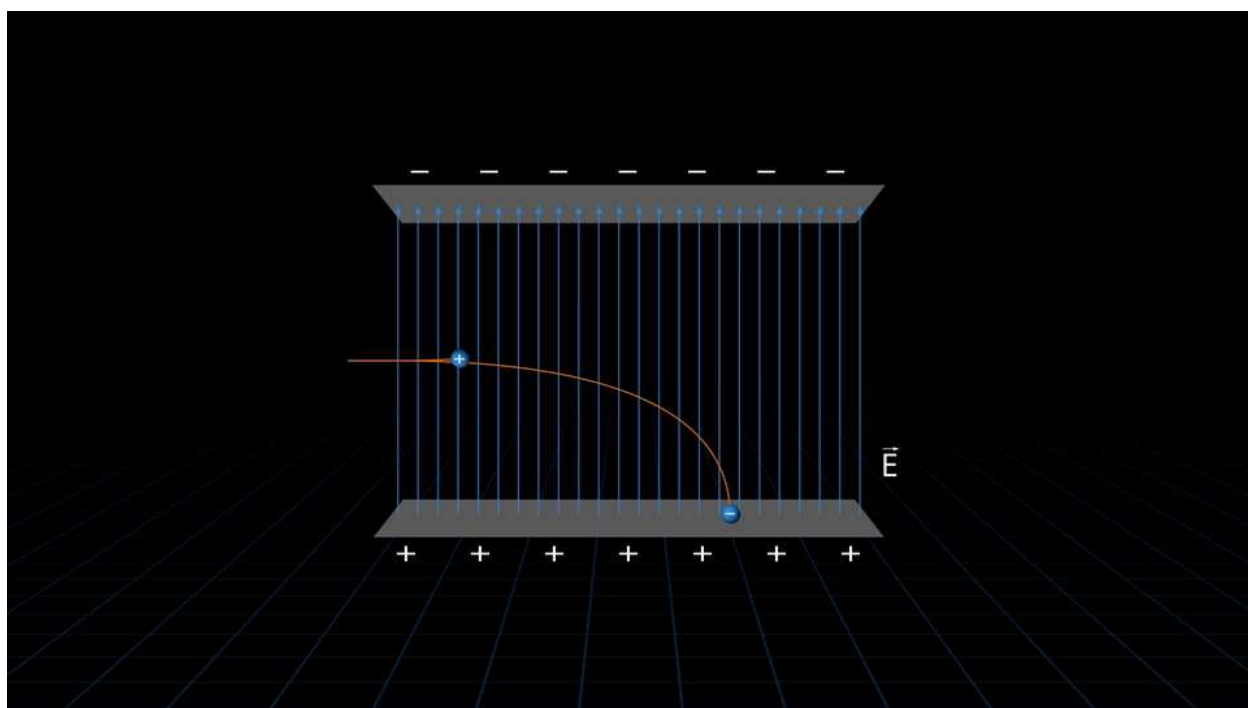
(ang. *Newton's second law*) – w inercyjnym układzie odniesienia, jeśli na ciało działa siła to ciało to porusza się z przyspieszeniem  $\vec{a}$ , które jest wprost proporcjonalne do wypadkowej siły działającej na ciało  $\vec{F}$ , a odwrotnie proporcjonalne do masy tego ciała  $m$  :

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

# Animacja

## Animacja prezentująca zachowanie elektronu w jednorodnym polu elektrycznym

Przeanalizuj zachowanie elektronu pomiędzy dwoma płaszczyznami w zależności od tego, w jaki sposób są one naładowane.



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/R1SpJ1hCDFq9S](https://www.youtube.com/watch?v=R1SpJ1hCDFq9S)

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

Opis alternatywny animacji.

Animacja przedstawia zachowanie się ładunku w jednorodnym polu elektrycznym. Animację rozpoczyna czarny slajd tytułowy, na którym po środku umieszczono, dużymi literami, biały napis "JAKIM RUCHEM BĘDZIE SIĘ PORUSZAŁ ŁADUNEK, JEŻELI WSTRZELIMY GO PROSTOPADLE DO LINII POLA ELEKTRYCZNEGO?". Następnie rozpoczyna się film animowany, na którym przedstawiono kondensator płaski z dwoma okładkami znajdującymi się jedna nad drugą. Okładka górna jest naładowana ujemnie a okładka dolna dodatnio. Powoduje to powstanie pomiędzy okładkami jednorodnego pola elektrycznego, którego linie skierowane są pionowo do góry. Najpierw od strony lewej poziomo w pole wlatuje ładunek ujemny i stopniowo zaczyna się zbliżać do okładki dolnej naładowanej dodatnio. Następnie od strony lewej

poziomo w pole to wlatuje ładunek dodatni i stopniowo zaczyna się zbliżać do okładki górnej naładowanej ujemnie. Tak jak to się działo w przypadku rzutu poziomego tak i tu ładunki dodatnie i ujemne w polu jednorodnym poruszają się po paraboli. Animację kończy biały, cieniowany na dole, slajd końcowy, w którego środku umieszczono logo projektu, składające się z niebieskich, zamalowanych w środku, obiektów przypominających elipsy rozmieszczonych na powierzchni przypominającej fragment koła. Logo to również zawiera niebieski napis zapisany dużymi literami o treści "FIZYKA 950 KAPSUŁEK". Na dole ekranu umieszczono dodatkowe trzy loga w poziomie obok siebie. Są to kolejno od lewej: logo w postaci prostokąta w którym zawarto dwie umieszczone pod sobą identyczne gasnące fale, z czarnym napisem po prawej stronie którego wyrazy rozpoczynają się z dużych liter "Wydział Fizyki" a pod nim mniejszą czarną czcionką dużymi literami tekst "POLITECHNIKA WARSZAWSKA", logo składające się z trzech pięcioramiennych gwiazdek w kolorach żółtym, białym i czerwonym na granatowym tle, po którego prawej stronie znajduje się czarny napis, którego wyrazy rozpoczynają się z dużych liter, treści: "Fundusze Europejskie Wiedza Edukacja Rozwój" oraz logo składające się z granatowej flagi ze złotymi dwunastoma gwiazdami ułożonymi w kształt okręgu z czarnym napisem po lewej stronie, którego wyrazy rozpoczynają się z dużych liter, treści "Unia Europejska".

---

### **Polecenie 1**

Jak zachowa się elektron pomiędzy okładkami kondensatora płaskiego (czyli dwiema nieskończonymi płaszczyznami jednorodnie naładowanymi ładunkami równymi), gdy górna płaszczyzna zostanie naładowana dodatnio, a dolna ujemnie?

## Polecenie 2

Do jakiego ruchu przyrównałbyś ruch cząstki omówiony w poleceniu pierwszym?

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Ładunek elektryczny ciała wynosi  $q = 1 \cdot 10^{-15}$  C. Przy czym, ciało to znajduje się w polu elektrycznym, takim, że natężenie tego pola ma wartość  $E = 1 \cdot 10^{-3}$  V/m. Jaka jest wartość siły działającej na ten ładunek? Pamiętaj o odpowiednich jednostkach.

Odpowiedź: Na ten ładunek działa siła  $1 \cdot 10$   .

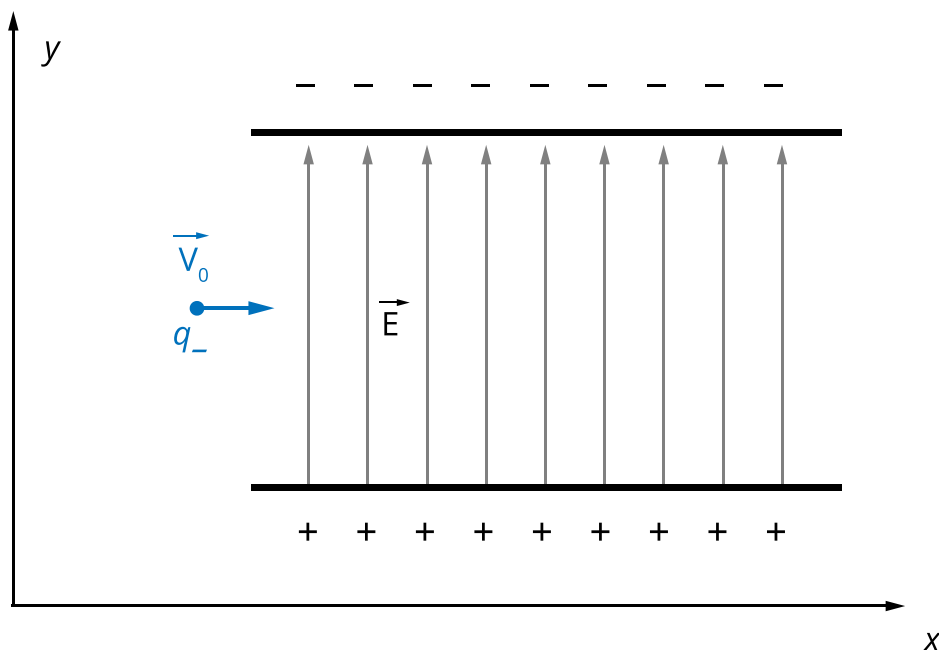
## Ćwiczenie 2



Które z poniższych równań stanowi poprawny zapis zamiany jednostek kulomb C i volt V na jednostki podstawowe układu SI? Zaznacz poprawne P i fałszywe F wpisując x w odpowiedniej kolumnie.

| Równanie                           | P                    | F                    |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|
| $C = A \cdot s$                    | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| $C = A/s$                          | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| $V = (kg \cdot m^2)/(A \cdot s^3)$ | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| $V = (A \cdot m^2)/(kg \cdot s^3)$ | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| $V = (kg \cdot s^3)/(A \cdot m^2)$ | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

### Ćwiczenie 3



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ujemnie naładowana cząstka została wstrzelona w jednorodne pole elektryczne z pewną prędkością początkową (prostopadle do linii sił pola), jak na rysunku powyżej. Jak zmieni się położenie cząstki, wzdłuż osi x, po czasie  $t = 1 \cdot 10^{-5}$  s, jeśli wiadomo, że

$$E = 2 \cdot 10^{-4} \text{ V/m},$$

$$v_0 = 50 \text{ m/s},$$

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

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

Wynik podaj w milimetrach (zapisz jako jedną cyfrę znaczącą pomnożoną przez 10 do odpowiedniej potęgi).

Odpowiedź:

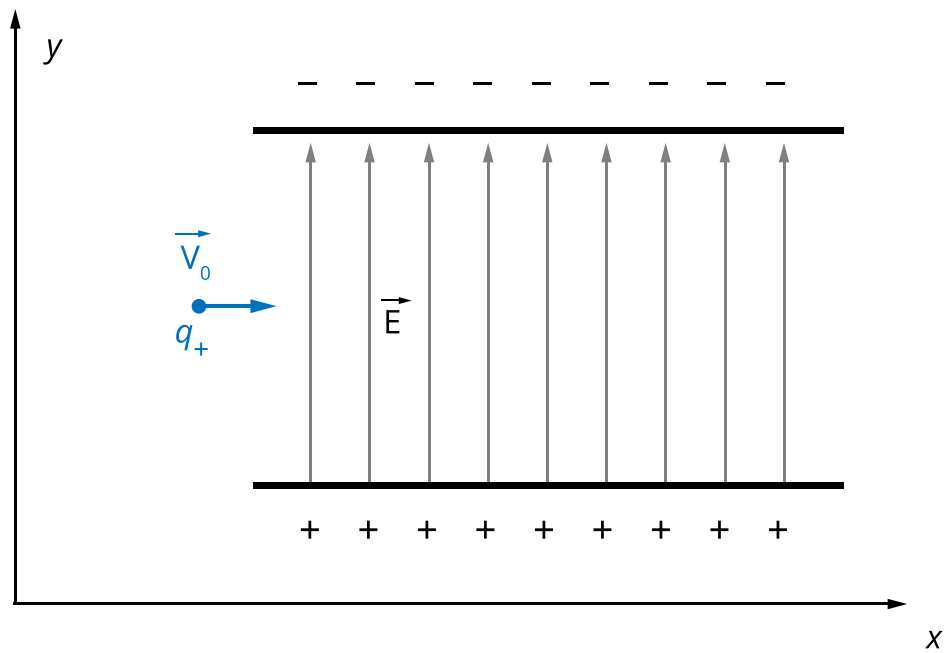
Po czasie  $t = 1 \cdot 10^{-5}$  s, położenie cząstki, wzdłuż osi x, zmieni się o wartość

$\cdot 10$   mm.

Określ, w którym kierunku odchyli się cząstka.

Odpowiedź: Cząstka ta odchyli się w  górę ☐ /  dół ☐.

## Ćwiczenie 4



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Dodatnio naładowana cząstka została wstrzelona w jednorodne pole elektryczne z pewną prędkością początkową (prostopadle do linii sił pola), jak na rysunku powyżej. Jak zmieni się położenie cząstki wzdłuż osi  $y$  po czasie  $t = 1 \cdot 10^{-5}$  s, jeśli wiadomo, że:

$$E = 2 \cdot 10^{-4} \text{ V/m},$$

$$v_0 = 50 \text{ m/s},$$

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

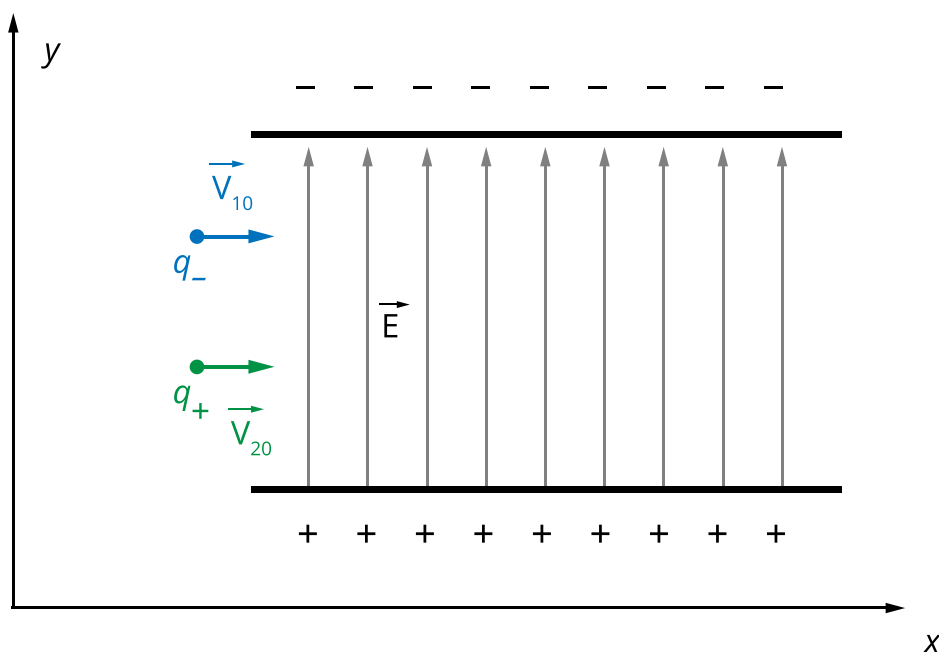
$$m = 2 \cdot 10^{-30} \text{ kg}.$$

Wynik podaj w milimetrach.

Odpowiedź:

Po czasie  $t = 1 \cdot 10^{-5}$  s, położenie cząstki, wzdłuż osi  $y$ , zmieni się o  mm.

## Ćwiczenie 5



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Dwie naładowane cząstki zostały wstrzelone w jednorodne pole elektryczne z pewną prędkością początkową (prostopadle do linii sił pola), jak na rysunku powyżej.

Wiemy, że:

$$E = 5 \cdot 10^{-5} \text{ V/m}, \quad v_0 = 10 \text{ m/s},$$

$$|q_1| = |q_2| = 1 \cdot 10^{-18} \text{ C},$$

$$m_1 = m_2 = 1 \cdot 10^{-29} \text{ kg}.$$

Położenie początkowe cząstek wzdłuż osi y:

$$y_{10} = 5 \text{ mm}$$

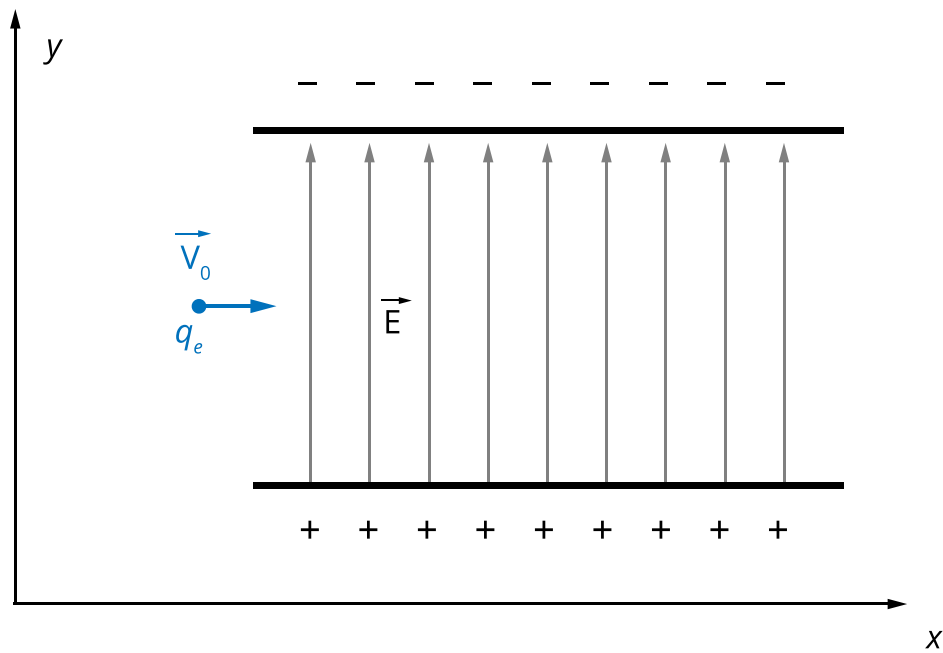
$$y_{20} = 3 \text{ mm}$$

Po jakim czasie cząstki zderzą się z sobą? Pamiętaj o jednostkach.

Odpowiedź:

Cząstki te zderzą się ze sobą po czasie   $\cdot 10$   s.

## Ćwiczenie 6



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Elektron zostaje wstrzelony w pole elektryczne o natężeniu równym  $E = 5 \cdot 10^{-3} \text{ V/m}$ , tak, że  $v_0 = 10^4 \text{ m/s}$ . Oblicz, jaka jest prędkość tego elektronu po czasie  $2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ ?

W obliczeniach uwzględnij:

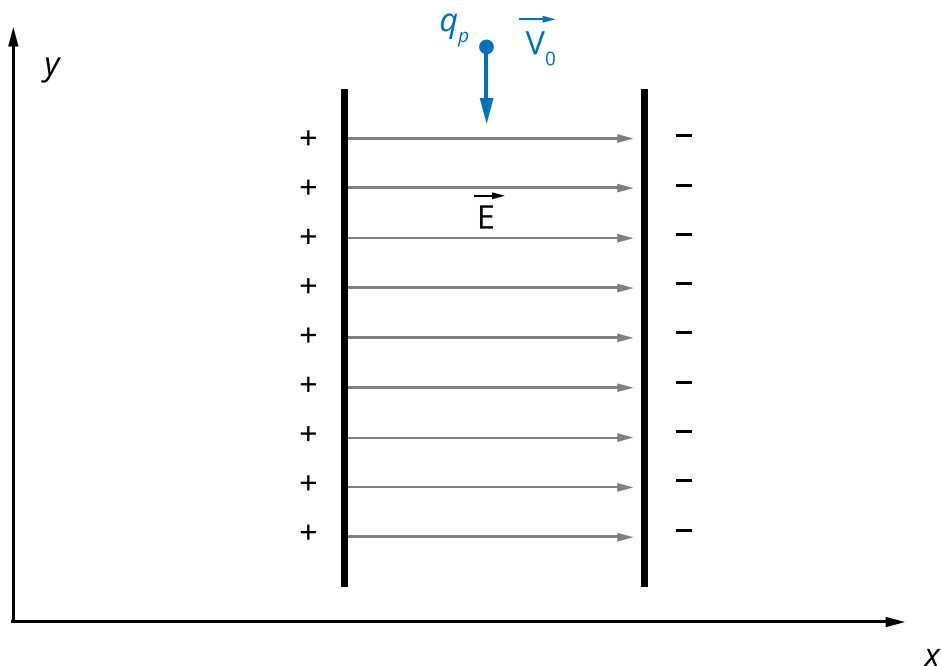
Wartość ładunku elektronu –  $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

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

Odpowiedź:

Po czasie  $2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$  prędkość elektronu wzdłuż osi x wynosi  $v_x = \text{ } \cdot 10$   
 $\text{ } \text{ m/s}$  natomiast wzdłuż osi y wynosi  $v_y = \text{ } \cdot 10 \text{ } \text{ m/s}$ .

## Ćwiczenie 7



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Proton zostaje wstrzelony w pole elektryczne o natężeniu równym  $E = 2 \cdot 10^{-6} \text{ V/m}$  tak, jak pokazano na rysunku, wartość prędkości początkowej wynosi  $v_0 = 100 \text{ m/s}$ . Po jakim czasie prędkość protonu wzdłuż osi x będzie dwa razy większa niż wzdłuż osi y?

W obliczeniach uwzględnij:

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

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

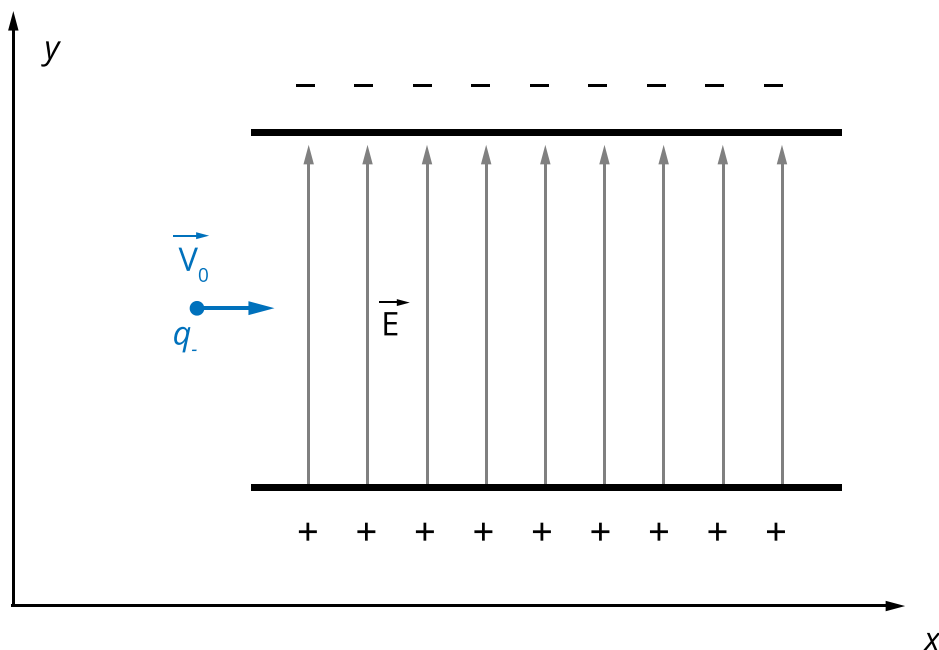
Wynik zaokrąglaj do trzech cyfr znaczących. Pamiętaj o jednostkach.

Odpowiedź:

Prędkość protonu wzdłuż osi x będzie dwa razy większa niż wzdłuż osi y po czasie

s.

## Ćwiczenie 8



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

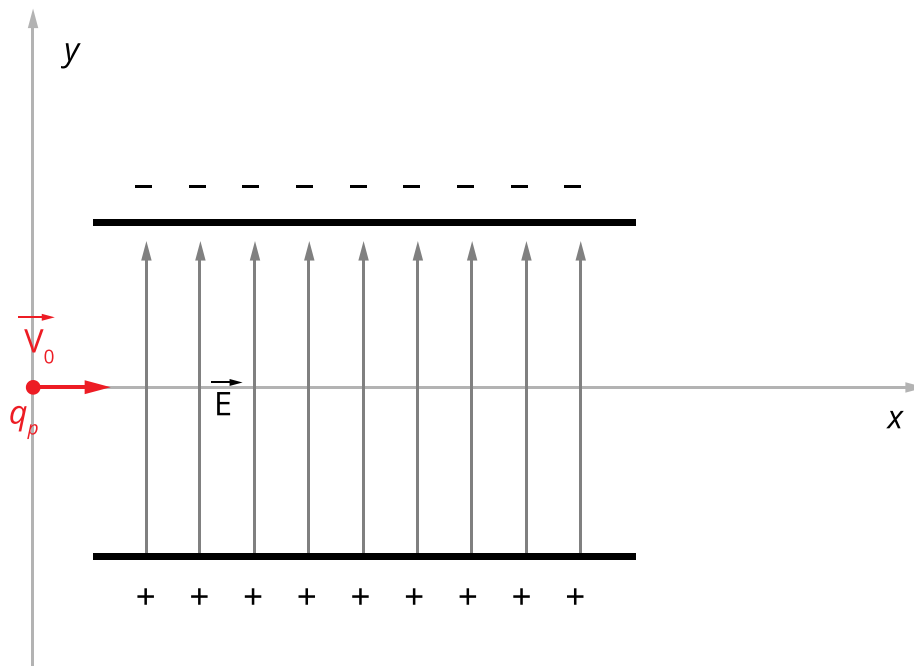
Ujemnie naładowana cząstka o wartości ładunku  $q = 2 \cdot 10^{-15} \text{ C}$  i masie  $m = 2 \cdot 10^{-17} \text{ kg}$  zostaje wstrzelona w pole elektryczne o natężeniu równym  $E = 5 \cdot 10^{-2} \text{ V/m}$  tak, że znajduje się dokładnie między naładowanymi płaszczyznami rozsuniętymi na odległość 5 cm (jak pokazano na rysunku), wartość prędkości początkowej wynosi  $v_0 = 50 \text{ m/s}$ . Po jakim czasie cząstka doleci do płaszczyzny?

Wynik zaokrąglij do trzech cyfr znaczących. Pamiętaj o jednostkach.

Odpowiedź: Cząstka doleci po czasie  s.

Która to będzie płaszczyzna?

Odpowiedź: Cząstka doleci do płaszczyzny  dodatniej ☐ /  ujemnej ☐.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Proton zostaje wstrzelony w pole elektryczne o natężeniu równym  $E = 5 \cdot 10^{-4} \text{ V/m}$  tak, jak pokazano na rysunku (położenie początkowe protonu pokrywa się ze środkiem układu współrzędnych), wartość prędkości początkowej wynosi  $v_0 = 200 \text{ m/s}$ . Wyznacz położenie cząstki wzdłuż osi  $y$ , jeśli wiemy, że wzdłuż osi  $x$  cząstka przemieściła się o  $4 \text{ m}$ .

W obliczeniach uwzględnij:

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

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

Wynik zaokrąglij do trzech cyfr znaczących. Pamiętaj o jednostkach.

Odpowiedź:

Położenie cząstki wzdłuż osi  $y$  wynosi  .

# Dla nauczyciela

---

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Imię i nazwisko autora:</b>            | Martyna Jakubowska                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Przedmiot:</b>                         | Fizyka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Temat zajęć:</b>                       | <b>Jakim ruchem będzie się poruszał ładunek , jeżeli wstrzelimy go prostopadle do linii sił pola?</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Grupa docelowa:</b>                    | III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Podstawa programowa:</b>               | <p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b></p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>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.</p> <p>VII. Elektrostatyka. Uczeń:</p> <p>7) analizuje ruch cząstek naładowanych w polu elektrycznym.</p> |
| <b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b> | <p><b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li><li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li><li>• kompetencje cyfrowe,</li><li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cele operacyjne:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. określa jaka siła działa na naładowaną cząstkę umieszczoną w polu elektrycznym;</li> <li>2. analizuje animację prezentującą zmianę toru ruchu cząstki w polu elektrycznym;</li> <li>3. rozpatruje przykład ładunku, wstrzelonego prostopadle do linii sił pola;</li> <li>4. znajduje równanie toru ruchu cząstki wstrzelonej prostopadle do linii sił pola elektrycznego;</li> <li>5. stosuje zależność prędkości cząstki w polu elektrycznym od czasu, do rozwiązywania zadań tekstowych.</li> </ol> |
| <b>Strategie nauczania:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                | blended - learning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Metody nauczania:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | rozwiązywanie problemów                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Formy zajęć:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | animacja, praca w grupach                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Środki dydaktyczne:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | komputer dla każdego ucznia, długopis, kalkulator                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Materiały pomocnicze</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>PRZEBIEG LEKCJI</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Faza wprowadzająca:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>Nauczyciel rozpoznaje wiedzę uczniów poprzez zadanie pytań: czy wiecie czym jest pole elektryczne, o czym informuje druga zasada dynamiki, na czym polega ruch jednostajnie przyspieszony i jednostajnie opóźniony? Jeśli uczniowie nie znają odpowiedzi, nauczyciel pomaga im usystematyzować wcześniejszą wiedzę.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Faza realizacyjna:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Uczniowie samodzielnie czytają tekst „Warto przeczytać”. Nauczyciel sprawdza, czy uczniowie mają jakieś pytania związane z tekstem. Zadaje uczniom pytania dotyczące ruchu cząstki w polu elektrycznym oraz sprawdza, czy każdy dobrze zrozumiał, jak wygląda tor ruchu cząstki i dlaczego. Uczniowie wspólnie zastanawiają się nad pytaniami, które się pojawiły. Nauczyciel naprowadza uczniów na właściwe odpowiedzi. Uczniowie wykorzystując zdobytą wiedzę rozwiązują zadania z punktu „Sprawdź się”. Uczniowie pod kierunkiem nauczyciela rozwiązują zadanie rachunkowe, w którym dla cząstki wstrzelonej w pole elektryczne wyznacza jej przyśpieszenie, prędkość oraz położenie po czasie  $t$ . Następnie wyznaczają równanie toru tej cząstki i analizują kształt tego toru.

Nauczyciel omawia cztery przypadki toru ruchu cząstki w polu elektrycznym w zależności od kierunku pola elektrycznego i znaku cząstki. W odpowiednich momentach tego omówienia pokazuje uczniom odpowiedni fragment animacji. Następnie nauczyciel opowiada, czym jest kondensator. Uczniowie, w grupach, szukają zastosowań kondensatorów w życiu codziennym. Wygrywa zespół, który przedstawi najwięcej możliwie różnorodnych sytuacji zastosowań.

#### **Faza podsumowująca:**

Uczniowie dzielą się na 4 grupy. Następnie w grupach omawiają rozwiązania zadań, wspólnie zastanawiając się nad zadaniami, które sprawiły im trudność. Każda z grup omawia dwa zadania „na forum klasy”. Nauczyciel przydziela grupom zadania, które mają rozwiązać i omówić.

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 zadań, z którymi uczniowie mieli problemy.

**Wskazówki  
metodyczne  
opisujące różne  
zastosowania danego  
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane po lekcji w ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości.