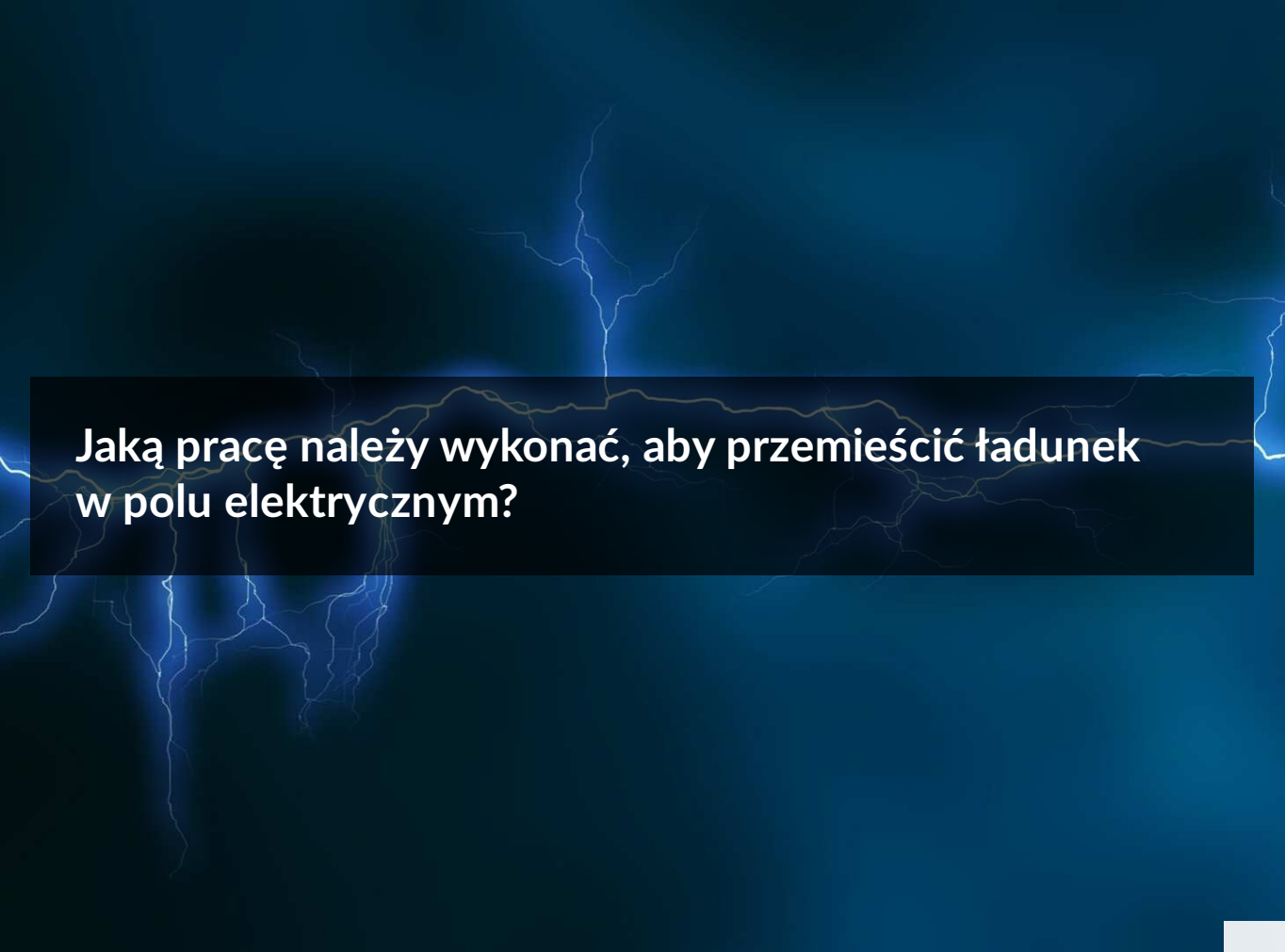




Jaką pracę należy wykonać, aby przemieścić ładunek w polu elektrycznym?

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



Jaką pracę należy wykonać, aby przemieścić ładunek w polu elektrycznym?

Czy to nie ciekawe?

Przesuwanie ładunku w polu elektrycznym jest bardzo podobne do przemieszczania ciała obdarzonego masą w polu grawitacyjnym. Potencjał elektryczny możemy wyobrazić sobie jako wzgórze, po którym musimy wtoczyć piłkę. Jednorodne pole elektryczne jest jak równia pochyła, nieważne w którym jej miejscu jesteśmy, na każdym odcinku wykonamy zawsze tę samą pracę. Pole centralne jest jak wzgórze, które na początku jest bardzo łagodne, jednak już po chwili robi się bardzo strome, a nieco dalej przypomina pionową ścianę.

Te analogie wynikają z faktu, że oba pola: elektrostatyczne i grawitacyjne, są polami zachowawczymi. Wykonując pracę przeniesienia cząstki w takim polu, zmieniamy jej energię potencjalną.

Twoje cele

Pracując z tym e-materiałem:

- dowiesz się, w jaki sposób potencjał elektryczny pozwala nam wyznaczyć pracę przemieszczania ładunku elektrycznego w polu elektrycznym,
- poznasz metodę wyznaczania pracy przemieszczania ładunku w polu jednorodnym i centralnym,
- zobaczysz, jak możemy wyznaczyć pracę potrzebną do obrócenia dipola elektrycznego.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Ładunki elektryczne oddziałują ze sobą. Ładunki tego samego znaku odpychają się, natomiast ładunki różnoimienne przyciągają się. By opisać te oddziaływania, wprowadzamy pojęcie pola elektrycznego, które pełni rolę pośrednika w oddziaływaniach. Mechanizm oddziaływania jest następujący: każdy ładunek wytwarza pole elektryczne o [natężeniu](#) $\vec{E}$ i na każdy inny ładunek q znajdujący się w tym polu działa siła $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$.

Jednocześnie oznacza to, że przesuając ładunek w polu elektrycznym musimy przeciwdziałać sile pola. Zatem przesunięcie ładunku wymaga wykonania pracy. Może być również tak, że siła pola elektrycznego wykonuje pracę przesuając ładunek.

Pole elektryczne jest polem zachowawczym. Oznacza to, że przesunięcie ładunku w polu elektrycznym oznacza zmianę energii potencjalnej ładunku i zmiana ta równa jest wykonanej pracy.

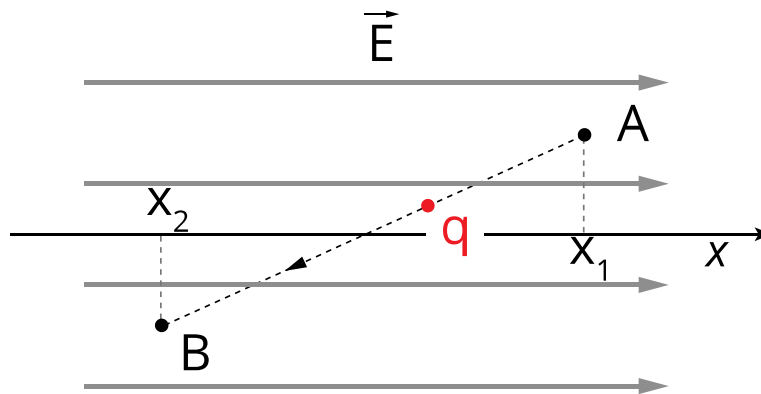
Energia potencjalna ładunku w polu elektrycznym równa jest iloczynowi jego wartości oraz [potencjału elektrycznego](#), w którym się znajduje:

$$E_p = q \cdot V$$

By wyznaczyć zmianę energii potencjalnej ładunku, a zarazem pracę jego przemieszczenia z punktu A do punktu B, wystarczy znać różnicę potencjałów, między którymi ładunek był przesunięty.

$$W = q \cdot (V_B - V_A)$$

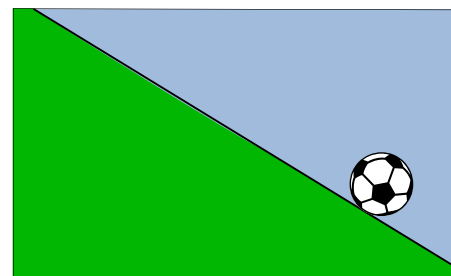
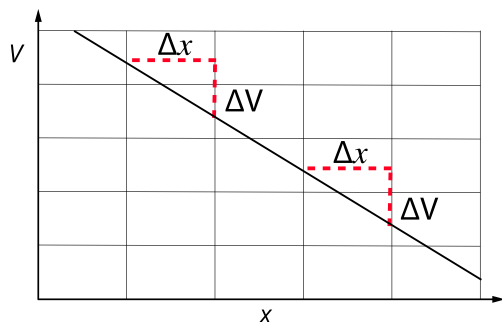
Pole jednorodne



Rys. 1. Przesuwanie ładunku w jednorodnym polu elektrycznym z punktu A do B.

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

Cechą jednorodnego pola elektrycznego jest stałe natężenie, niezależne od położenia. Wartość pracy jest równa iloczynowi siły i przesunięcia, gdy przesunięcie jest zgodne z kierunkiem siły. Siła ma w tym wypadku wartość stałą. Oznacza to, że przesuając ładunek wzdłuż linii pola, na każdym odcinku tej samej długości wykonamy zawsze tę samą pracę. Praca powoduje zmianę energii potencjalnej. Zatem energia potencjalna zmienia się liniowo wraz ze składową położenia styczną do linii pola elektrycznego.



Rys. 2. Potencjał pola jednorodnego wraz z analogią z mechaniki.

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

Przesuwanie ładunku w polu jednorodnym można porównać do wtaczania piłki po równi pochyłej. Przy przesuwaniu się o ten sam odcinek względem podstawy równi, wysokość piłki, a więc również jej energia potencjalna, wzrasta zawsze o tę samą wartość. (Przypomnijmy, $\Delta E_p = mg\Delta h$.)

Potencjał elektryczny jest równy stosunkowi energii potencjalnej ładunku do jego wartości:

$$V = \frac{E_p}{q}$$

Zatem również wartość potencjału elektrycznego zależy liniowo od położenia. Zależność ta ma postać:

$$V = -E \cdot x$$

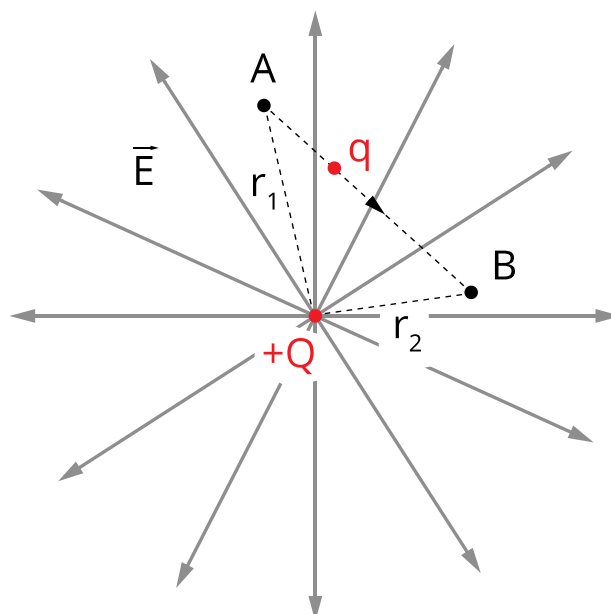
Wprowadziliśmy tu układ współrzędnych, w którym oś OX jest równoległa do linii jednorodnego pola elektrycznego. Znak minus w równaniu oznacza, że wektor natężenia pola elektrycznego jest zwrócony ku malejącemu potencjałowi.

Przesuwając ładunek z punktu o współrzędnej x_1 do punktu o współrzędnej x_2 wykonamy pracę proporcjonalną do zmiany potencjału, równą:

$$W = q \cdot (V_2 - V_1) = -q \cdot E \cdot (x_2 - x_1)$$

W obliczeniach uwzględniamy znak ładunku.

Pole centralne



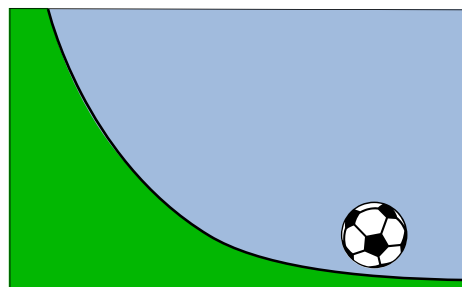
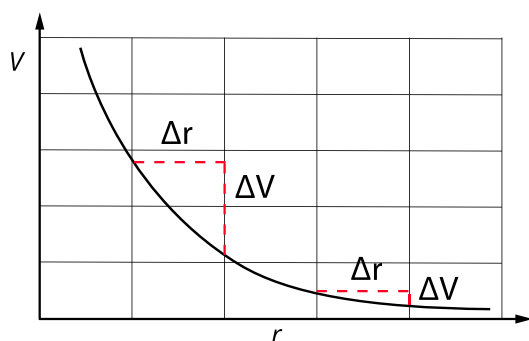
Rys. 3. Przesuwanie ładunku w polu centralnym z punktu A do B.

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

Pole centralne wytwarza ładunek punktowy lub ładunek rozłożony na powierzchni kuli. Potencjał pola centralnego od ładunku punktowego Q ma postać:

$$V(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}$$

gdzie r jest odległością od centrum pola.



Rys. 4. Potencjał pola centralnego wraz z analogią z mechaniki.

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

Przesuwanie ładunku w polu centralnym można porównać do wtaczania piłki na wzniesienie w kształcie hiperboli. Na początku wzniesienie jest łagodne, jednak z każdym krokiem robi się coraz bardziej strome i wymaga coraz większej pracy, by przetoczyć piłkę o ten sam odcinek.

Przesuwając ładunek w polu centralnym wykonujemy pracę wyłącznie wtedy, gdy zmienia się odległość ładunku od centrum pola (r). Praca potrzebna do przesunięcia ładunku q w polu wytworzonym przez ładunek Q z odległości r_1 na odległość r_2 wynosi:

$$W = q \cdot (V_2 - V_1) = \frac{q \cdot Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right).$$

Słowniczek

natężenie pola elektrycznego

(*ang.: electric field*) wielkość wektorowa, równa stosunkowi siły, jaka działa na ładunek próbny umieszczony w danym punkcie pola elektrycznego: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$. Jednostką natężenia pola elektrycznego jest wolt na metr (V/m).

potencjał elektryczny

(*ang.: electric potential*) wielkość skalarna, która jest równa stosunkowi pracy W , jaką pole elektryczne musi wykonać, by przenieść ładunek q z danego punktu pola do nieskończoności, do wartości tego ładunku: $V = W/q$. Jednostką potencjału jest wolt (V).

Film samouczek

Jaką pracę należy wykonać, aby przemieścić ładunek w polu elektrycznym?

Obejrzyj film samouczek, w którym pokazano, jak możemy wyznaczyć pracę potrzebną do obrócenia dipola elektrycznego w jednorodnym polu elektrycznym.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DIIIEXw86>

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

Polecenie 1

Pole elektrostatyczne łączy wiele cech z polem grawitacyjnym. Czy istnieje grawitacyjna analogia do omówionego układu dipola elektrycznego?

Polecenie 2

W samouczku pokazano, że praca wykonana przy obróceniu dipola o kąt α

w jednorodnym polu elektrycznym o natężeniu $\vec{E}$ wynosi $W = qEl(1 - \cos \alpha)$.

Zastanów się, czy i jak zmieniłby się ten wynik, gdyby to nie był dipol elektryczny, ale dwa jednakowe, trwale związane, ładunki dodatnie.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Jaki rodzaj energii ulega zmianie podczas wykonywania pracy przesuwania ładunków w polu elektrycznym?

☐ Energia potencjalna

☐ Energia kinetyczna

Ćwiczenie 2



Pewien ładunek zostaje odsunięty od ładunku dodatniego z odległości R na odległość $2R$. Podczas przesuwania zostaje wykonana dodatnia praca.

Przesuwany ładunek to ładunek ☐ dodatni ☐ ujemny .

Ćwiczenie 3



Przeniesienie ładunku z punktu o współrzędnej $x = 0$ do punktu $x = 2L$ wymaga dwukrotnie większej pracy niż przesunięcie z punktu $x = 0$ do punktu $x = L$. Jaki jest rodzaj pola elektrycznego, w którym odbywa się przesunięcie?

☐ Nie jest to ani pole centralne, ani jednorodne

☐ Jest to pole centralne

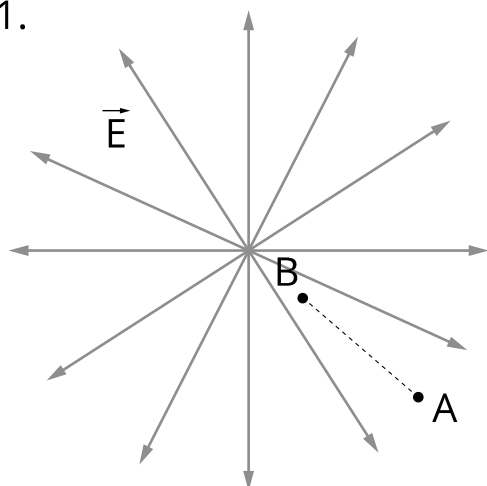
☐ Jest to pole jednorodne

Ćwiczenie 4

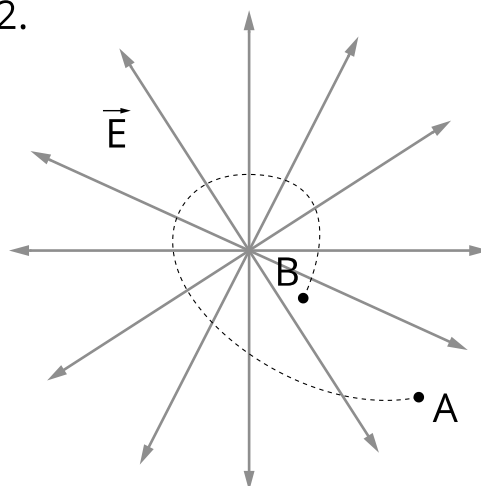


Dodatni ładunek przemieści się z punktu A do B w centralnym polu elektrycznym po dwóch różnych torach.

1.



2.



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

Porównaj pracę wykonaną w obu przypadkach przez pole elektryczne.
Uzupełnij zależność:

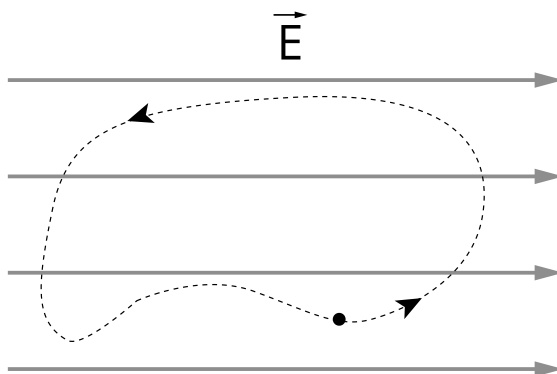
W_1 W_2



Ćwiczenie 5



Pewna siła przesuwa dodatni ładunek w jednorodnym polu elektrycznym. Przesunięcie zaczyna się i kończy w zaznaczonym punkcie i odbywa się powolnym ruchem jednostajnym.



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

Co możemy powiedzieć o pracy, jaką wykonała siła? Uzupełnij zależność:

W 0

Ćwiczenie 6



Pewna zewnętrzna siła dokonuje obrotu dipola elektrycznego w jednorodnym polu elektrycznym. Dipol zostaje obrócony względem swojego środka z pozycji na rysunku A do pozycji na rysunku B.



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

Praca siły, która dokonała obrotu dipola jest

☐ ujemna

☐ dodatnia

☐ zerowa

Ćwiczenie 7



Uzasadnij stwierdzenie, że powierzchnia metalu jest powierzchnią ekwipotencjalną. Porównaj swoją odpowiedź z odpowiedzią sugerowaną.

Ćwiczenie 8



W polu grawitacyjnym z pewnej wysokości spada piłka. Jej energia potencjalna zamienia się w energię kinetyczną. Opisz analogiczną sytuację w polu elektrostatycznym.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Gradowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jaką pracę należy wykonać, aby przemieścić ładunek w polu elektrycznym?
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: 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; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. VII. Elektrostatyka. Uczeń: 8) analizuje pracę jako zmianę energii potencjalnej podczas przemieszczenia ładunku w polu elektrycznym; posługuje się pojęciem potencjału pola i jego jednostką.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie 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. omawia analogie pomiędzy polem elektrostatycznym i grawitacyjnym; 2. wyjaśnia znaczenie potencjału elektrycznego przy wyznaczaniu pracę przemieszczania ładunku elektrycznego w polu elektrycznym; 3. stosuje metodę wyznaczania pracy przemieszczania ładunku w polu jednorodnym i centralnym; 4. analizuje przypadek obracania dipola elektrycznego w jednorodnym polu elektrycznym.
Strategie nauczania:	odwrócona klasa
Metody nauczania:	wykład informacyjny, burza mózgów
Formy zajęć:	praca w parach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	tablica
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

Uczniowie, w ramach realizacji zadania z poprzedniej lekcji, w warunkach domowych zapoznają się z materiałem informacyjnym z sekcji „Przeczytaj” oraz z filmem samouczkiem.

Nauczyciel podejmuje dyskusję z uczniami na temat niezrozumiałych treści.

Faza realizacyjna:

Nauczyciel weryfikuje wiedzę uczniów z pracy domowej, rozwiązując zadanie rachunkowe dotyczące obrotu dipola elektrycznego w polu jednorodnym.

Nauczyciel dyskutuje z uczniami, jak uzyskany wynik można wykorzystać do określenia energii potencjalnej dipola elektrycznego (należy przyjąć orientację prostopadłą dipola względem pola jako stan o zerowej energii potencjalnej).

Uczniowie w burzy mózgów tworzą listę analogii pomiędzy polem elektrycznym i grawitacyjnym. Ta lista analogii powstaje na tablicy i uczniowie wpisują ją do zeszytu.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w parach rozwiązują zadania 1-4.

Praca domowa:

Uczniowie rozwiązują zadania 5-8.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Film samouczek może być wykorzystany przez uczniów na lekcji w fazie wprowadzającej jako wprowadzenie do tematu.