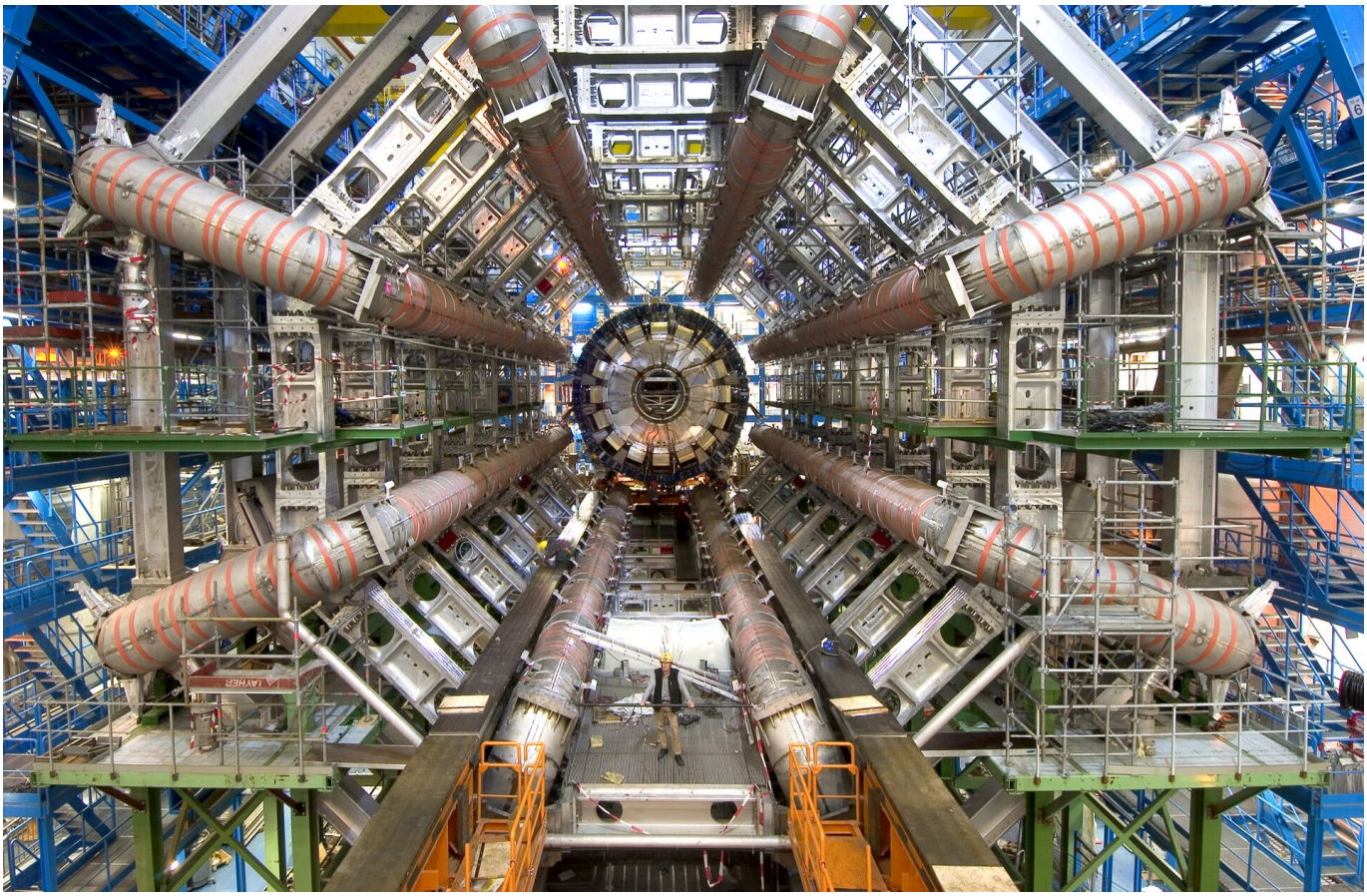
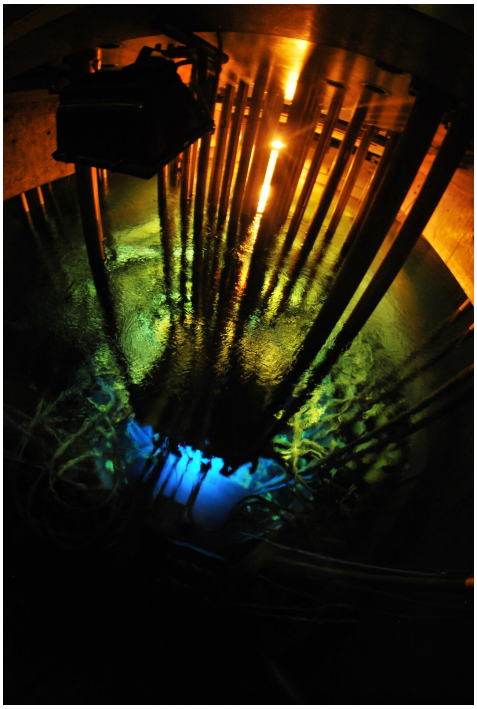


Charakterystyczne cechy promieniowania beta

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Grafika interaktywna
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Źródło: dostępny w internecie: http://cds.cern.ch/record/910381 [dostęp 19.04.2022], licencja: CC BY 4.0.

Czy to nie ciekawe ?



Rys. a. Reaktor jądrowy

Źródło: A. Rumińska, dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reaktor11.jpg [dostęp 19.04.2022], licencja: CC BY-SA 4.0.

Czy zdarzyło ci się kiedyś spoglądać do basenu reaktora jądrowego? Brzmi abstrakcyjnie? A jednak jest to możliwe i to w Polsce! Mieszczące się w Świerku pod Warszawą Narodowe Centrum Badań Jądrowych umożliwia zwiedzanie jedynego działającego w Polsce rektora jądrowego - Marię. Przy odrobinie wysiłku możesz wraz z klasą udać się na tę bardzo pouczającą wycieczkę. A gdy już będziesz patrzeć z góry na zanurzony w wodzie działający reaktor jądrowy, najpewniej zobaczysz otaczającą go błękitną poświatę. Czym jest to niebieskie światło? Tego możesz się dowiedzieć już za chwilę.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- dowiesz się, czym jest promieniowanie β^+ oraz β^-,
- poznasz cechy promieniowania β,
- zrozumiesz zachowanie cząstek β w polu elektrycznym i magnetycznym,
- dowiesz się, jak cząstki β oddziałują z materią,
- zastosujesz poznane wiadomości do rozwiązywania zadań problemowych i rachunkowych.

Przeczytaj

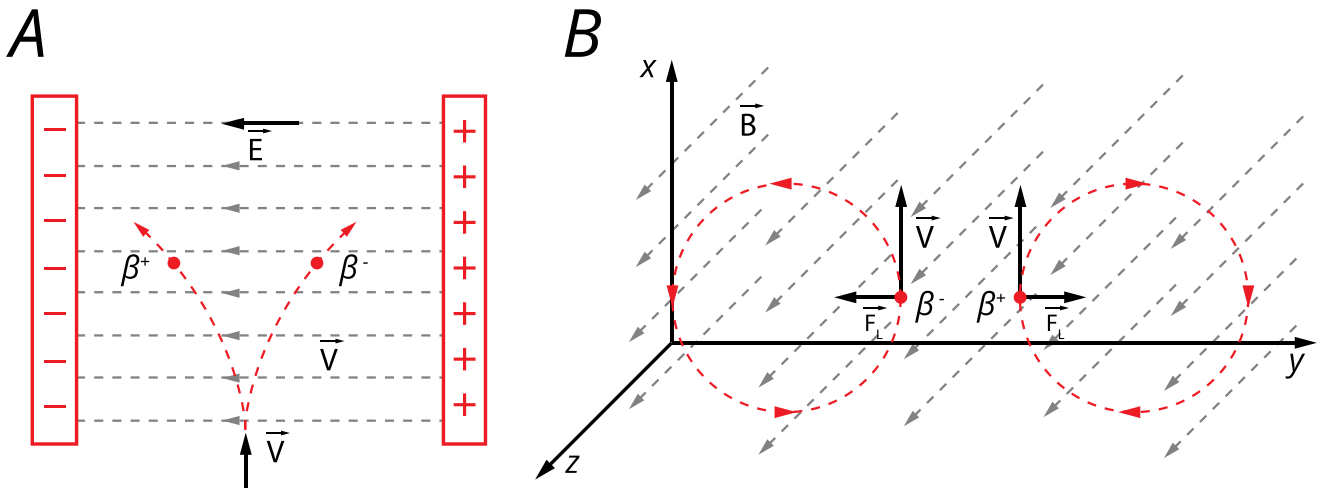
Warto przeczytać

Promieniowaniem β nazywamy strumień elektronów lub pozytonów wyemitowanych w przemianie β. Przemiana β plus prowadzi do powstania dodatnio naładowanego pozytonu, zwanego też cząstką β^+, zaś przemiana β minus do powstania elektronu, zwanego cząstką β^-.

Masa spoczynkowa cząstek β wynosi $m = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg. Ładunek cząstek β jest równy ładunkowi elementarnemu $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C z odpowiednim znakiem. Energia kinetyczna cząstek przyjmuje wartości od 0 do nawet kilku megaelektronowoltów, a więc nawet o rząd wielkości więcej od energii spoczynkowej. Cząstki β są zatem cząstkami relatywistycznymi, a ich prędkości są porównywalne do prędkości światła w próżni.

Jako posiadające niezerowy ładunek cząstki β są odchylane w polu elektrycznym i magnetycznym. W polu elektrycznym tor cząstek β^+ jest zakrzywiany w kierunku zgodnym z kierunkiem wektora natężenia pola elektrycznego, a cząstek β^- w kierunku przeciwnym, co prezentuje część A Rys. 1.

W polu magnetycznym na cząstki β działa siła zwana siłą Lorentza $\mathbf{F_L}$. Siła Lorentza jest skierowana prostopadle do wektora prędkości cząstki β, pełni więc rolę siły dośrodkowej. Zwrot siły zależy od ładunku cząstki. Dla cząstek dodatnich obowiązuje reguła lewej dłoni. Jeśli lewą dłoń ustawi się tak, że linie pola magnetycznego są zwrócone (wpadają) do wnętrza powierzchni dłoni, a palce wskazują kierunek i zwrot prędkości cząstki, to wyciągnięty kciuk wskazuje kierunek i zwrot siły Lorentza. W przypadku cząstek ujemnych zwrot siły jest przeciwny. Zachowanie cząstek β w polu magnetycznym prezentuje część B Rys. 1.



Rys 1. Zachowanie cząstek β w polu elektrycznym (część A) oraz magnetycznym (część B).

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

Cząstki β przemieszczając się przez ośrodek materialny wytracają swoją energię, aż w końcu ulegają zatrzymaniu, co jest równoznaczne z ich pochłonięciem. Promieniowanie β, uznawane jest jako średnio przenikliwe, pokonuje istotnie większe odległości w materii od promieniowania α, ale mniejsze od promieniowania γ. Najpopularniejszymi osłonami radiologicznymi chroniącymi przed promieniowaniem β, czyli wystarczającymi do ich całkowitego pochłonięcia, są metalowe płyty o grubości kilku centymetrów.

Cząstki β oddziałują z materią na wiele sposobów. Najważniejsze mechanizmy oddziaływania są następujące:

1. Jonizacja

Jonizacja jest najważniejszym mechanizmem oddziaływanie cząstek β z materią. Jonizacja polega na powstaniu dodatniego lub ujemnego jonu z atomu lub cząsteczki ośrodka materialnego, wskutek oderwania elektronu z powłoki atomowej lub przerwania wiązania chemicznego.

2. Emisja promieniowania hamowania

Promieniowanie hamowania jest promieniowaniem elektromagnetycznym, emitowanym przez cząstki beta w wyniku ich oddziaływania z polem elektrycznym jąder atomów ośrodka.

3. Emisja promieniowania Czerenkowa

Promieniowanie Czerenkowa jest promieniowaniem elektromagnetycznym, powstającym, gdy cząstki naładowane poruszają się w ośrodku materialnym z prędkością większą od prędkości światła w tym ośrodku. Być może właśnie zapaliła ci się „czerwona lampka”. Prędkość światła jest przecież prędkością graniczną, niedostępną dla cząstek obdarzonych masą. Jest to prawda, ale dla prędkości światła w próżni. W ośrodku materialnym cząstki mogą poruszać się szybciej od światła w tym ośrodku.

Przykładem promieniowania Czerenkowa emitowanego przez cząstki β jest wspomniana na początku błękitna poświata otaczająca rektor jądrowy. Wyemitowane z produktów rozszczepienia wysokoenergetyczne cząstki β poruszają się z prędkościami większymi od prędkości światła w wodzie, co powoduje emisję światła niebieskiego, będącego promieniowaniem Czerenkowa.

4. Anihilacja pozytonu

Cząstki β^+, czyli pozytony - antycząstki elektronów, po zatrzymaniu ulegają natychmiastowej anihilacji z elektronami ośrodka. Masa cząstek (pozytonu i elektronu) zostaje zamieniona na energię niesioną przez dwa kwanty promieniowania elektromagnetycznego, wyemitowane

w przeciwnych kierunkach. Energię fotonów oblicza się zgodnie z równaniem Einsteina $E=mc^2$, co w przypadku pary elektron-pozyton daje dwa kwanty γ o energii 511 keV.

Słowniczek

Promieniowanie beta

(*ang.: beta ray*) – promieniowanie jonizujące, będące strumieniem cząstek β, czyli pozytonów (cząstki β^+) lub elektronów (cząstki β^-).

Jonizacja

(*ang.: ionization*) – zjawisko odrywania elektronu z atomu lub cząsteczki, lub przerwania wiązania chemicznego, w wyniku czego powstaje jon.

Promieniowanie hamowania

(*ang.: bremsstrahlung*) – promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez cząstki naładowane poruszające się w ośrodku materialnym. Źródłem promieniowania hamowania jest zakrzywianie toru cząstki w polu elektrycznym jąder atomowych ośrodka.

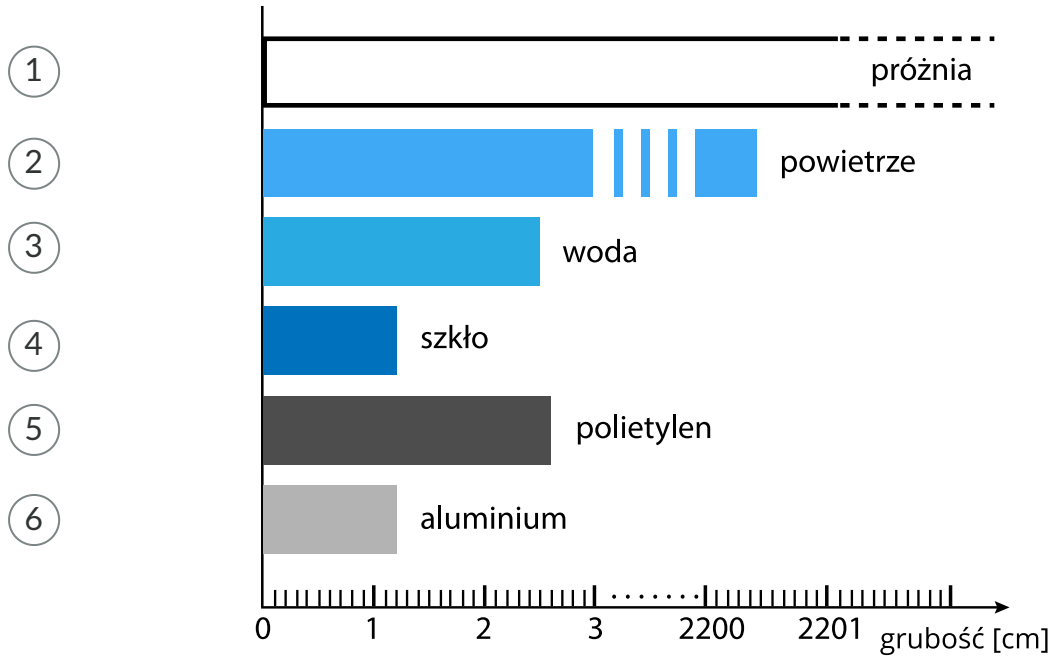
Promieniowanie Czerenkowa

(*ang.: Cherenkov radiation*) – promieniowanie elektromagnetyczne powstające, gdy cząstki naładowane poruszają się w ośrodku materialnym z prędkością większą od prędkości światła w tym ośrodku.

Grafika interaktywna

Zasięg cząstki β o energii 5 MeV

Grafika przedstawia grubość różnych materiałów niezbędnych do zatrzymania promieniowania β o energiach 5 MeV. Grubości zostały wyznaczone w oparciu o zasięgi umieszczone w bazie ESTAR (https://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ESTAR.html).



1

Próżnia
Cząstki β oddziałują z otoczeniem głównie jonizując ośrodek, w którym się przemieszczają, zderzając się z atomami wyrywają z nich elektrony. Przez próżnię rozumiemy pustą przestrzeń, pozbawioną materii. Cząstki β nie spotykając na swej drodze żadnych atomów są w stanie pokonać w próżni bardzo duże odległości. Dla próżni idealnej zasięg cząstki jest nieskończony.

2

Powietrze
W powietrzu w warunkach normalnych zasięg cząstek β o energii 5 MeV wynosi ok. 2200 cm.

3

Woda
Zasięg cząstek β o energii 5 MeV w wodzie wynosi jedynie ok. 2,5 cm.

4

Szkło
Zasięg cząstek β o energii 5 MeV w szkle wynosi jedynie ok. 1,2 cm.

5

Polietylen
Ok. 2,6 cm polietylenu wystarczy, aby zatrzymać cząstkę β o energii 5 MeV.

6

Aluminium
Zasięg cząstek β o energii 5 MeV w aluminium wynosi ok. 1,2 cm.

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

Polecenie 1

Oblicz, ile razy większy jest zasięg cząstki β o energii 5 MeV w powietrzu niż w wodzie.

Odpowiedź:

Polecenie 2

Zapoznaj się z zasięgiem cząstki β o energii 5 MeV w różnych materiałach. Który z nich zastosowałbyś do skonstruowania osłony radiologicznej chroniącej przed promieniowaniem β?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Wybierz wszystkie właściwe odpowiedzi: Cząstkami β^{+} nazywamy

- [ ] antycząstki elektronów
- [ ] atomy wodoru
- [ ] elektrony
- [ ] pozytony

Ćwiczenie 2

Zaznacz wszystkie poprawne odpowiedzi. Masa cząstki β^{-} jest:

- [ ] równa masie elektronu
- [ ] równa masie cząstki β plus
- [ ] równa masie protonu

Ćwiczenie 3

Przyporządkuj podane stwierdzenia dotyczące ładunku cząstki β^+ do odpowiednich grup.

Poprawne

Błędne

- Ładunek cząstki β^+ jest równy ładunkowi elementarnemu.
- Ładunek cząstki β^+ jest zerowy, tak jak ładunek innych nośników promieniowania elektromagnetycznego.
- Ładunek cząstki β^+ jest równy ładunkowi elektronu.
- Ładunek cząstki β^+ jest równy ładunkowi protonu.

Ćwiczenie 4

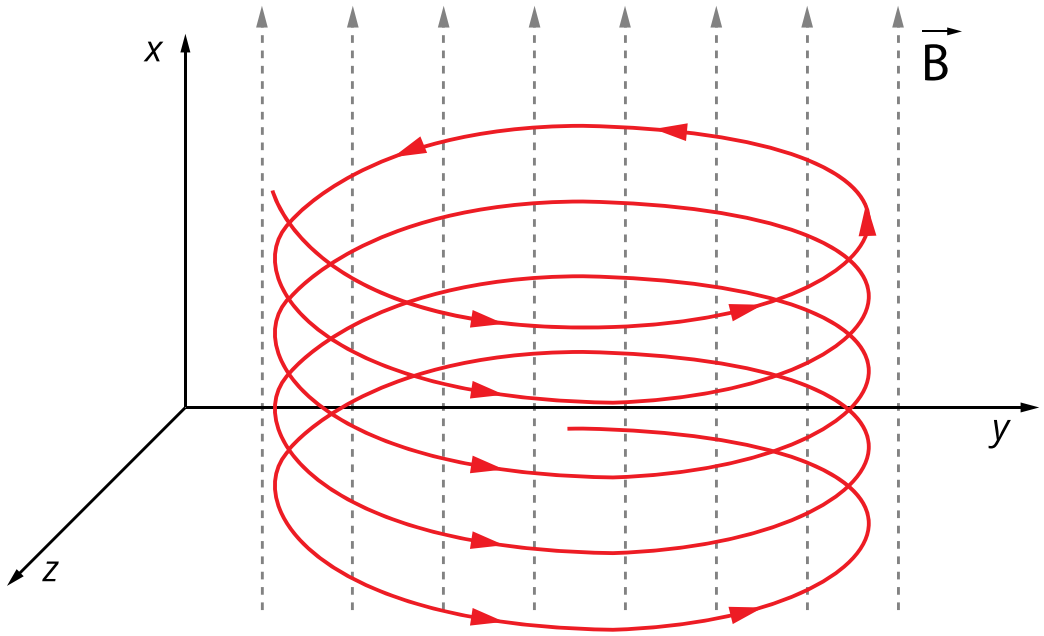
Wybierz wszystkie poprawne zdania opisujące oddziaływanie cząstek β^+ z materią.

- [ ] powodują emisję promieniowania elektromagnetycznego
- [ ] cząstki β jonizują ośrodek materialny, w którym się poruszają
- [ ] ulegają anihilacji
- [ ] wysokoenergetyczne cząstki β są zdolne wytworzyć parę elektron-pozyton

Ćwiczenie 5

Poniższy rysunek prezentuje tor cząstki w jednorodnym polu magnetycznym. Wektor indukcji pola jest skierowany zgodnie z kierunkiem i zwrotem osi X. Zapoznaj się z rysunkiem i odpowiedz na pytanie: Tor jakiej cząstki prezentuje rysunek?

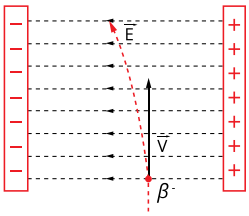
- cząstki β^-
- cząstki β^+



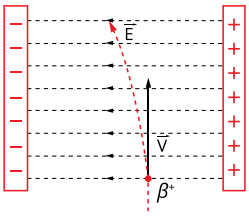
Ćwiczenie 6

Wiązka cząstek beta wpada w obszar jednorodnego pola elektrycznego. Który z poniższych rysunków prezentuje możliwy tor ruchu cząstek?

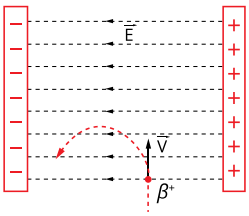
- [ ] A



- [ ] B



- [ ] C



Ćwiczenie 7

Jaki materiał zatrzyma cząstkę β o energii 3 MeV? Wskaż wszystkie poprawne odpowiedzi.

- [ ] 1 metr powietrza
- [ ] 1 cm aluminium
- [ ] kartka papieru
- [ ] naskórek
- [ ] 1 metr betonu
- [ ] 10 m wody
- [ ] 10 cm plastiku

Ćwiczenie 8

Jaka jest najmniejsza prędkość cząstki β, powyżej której emituje ona promieniowanie Czerenkowa w wodzie. Współczynnik załamania wody n = 1,33, prędkość światła w próżni c = 299 792 458 m/s. Wynik podaj w km/s z dokładnością do 2 cyfr znaczących.

Odpowiedź: _____ km/s

Dla nauczyciela

Konspekt (scenariusz) lekcji

Imię i nazwisko autora:	Aleksandra Fijałkowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Cechy promieniowania beta**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne** II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. **Zakres podstawowy** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. XI. Fizyka jądrowa. Uczeń: 3) wymienia właściwości promieniowania jądrowego; opisuje rozpady alfa, beta. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu; XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa. Uczeń: 9. wymienia właściwości promieniowania jądrowego; opisuje rozpady alfa, beta (β+, β−).

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. wyjaśnia, czym jest promieniowanie β , w tym promieniowanie β+ i β-. 2. omawia podstawowe własności cząstek β: masę i ładunek. 3. opisuje zachowanie cząstek β+ i β- w polu elektrycznym i magnetycznym. 4. podaje, w jaki sposób cząstki β oddziałują z materią. 5. projektuje osłonę radiologiczną, chroniącą przed promieniowaniem β.
Strategie nauczania:	ISBE
Metody nauczania:	wykład informacyjny
Formy zajęć:	praca zespołowa
Środki dydaktyczne:	tablica, komputer z rzutnikiem lub tablety
Materiały pomocnicze:	brak
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel wprowadza temat lekcji opowiadając o promieniowaniu Czerenkowa widocznym wokół reaktora jądrowego Maria. Jest to świetna okazja do poinformowania uczniów o istnieniu w Polsce badawczego reaktora jądrowego.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel przypomina uczniom czym jest rozpad β oraz czym się różni promieniowanie β+ od β-. Nauczyciel wprowadza podstawowe własności cząstek β: ich masę i ładunek oraz typowe energie kinetyczne. Uczniowie zastanawiają się, jak cząstka β+ i β- zachowuje się przechodząc przez pole elektryczne i magnetyczne. Nauczyciel informuje uczniów o sposobach, w jaki cząstki β oddziałują z materią. Uczniowie projektują osłonę radiologiczną chroniącą przed promieniowaniem β wykorzystując zamieszczoną grafikę.	
Faza podsumowująca:	
Nauczyciel ocenia pracę uczniów dając im informację zwrotną odnośnie ich wiedzy.	
Praca domowa:	
Nauczyciel zadaje uczniom zadanie 5, 6 i 7 z zestawu ćwiczeń.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Grafika interaktywna może być wykorzystana przez uczniów przed lekcją.