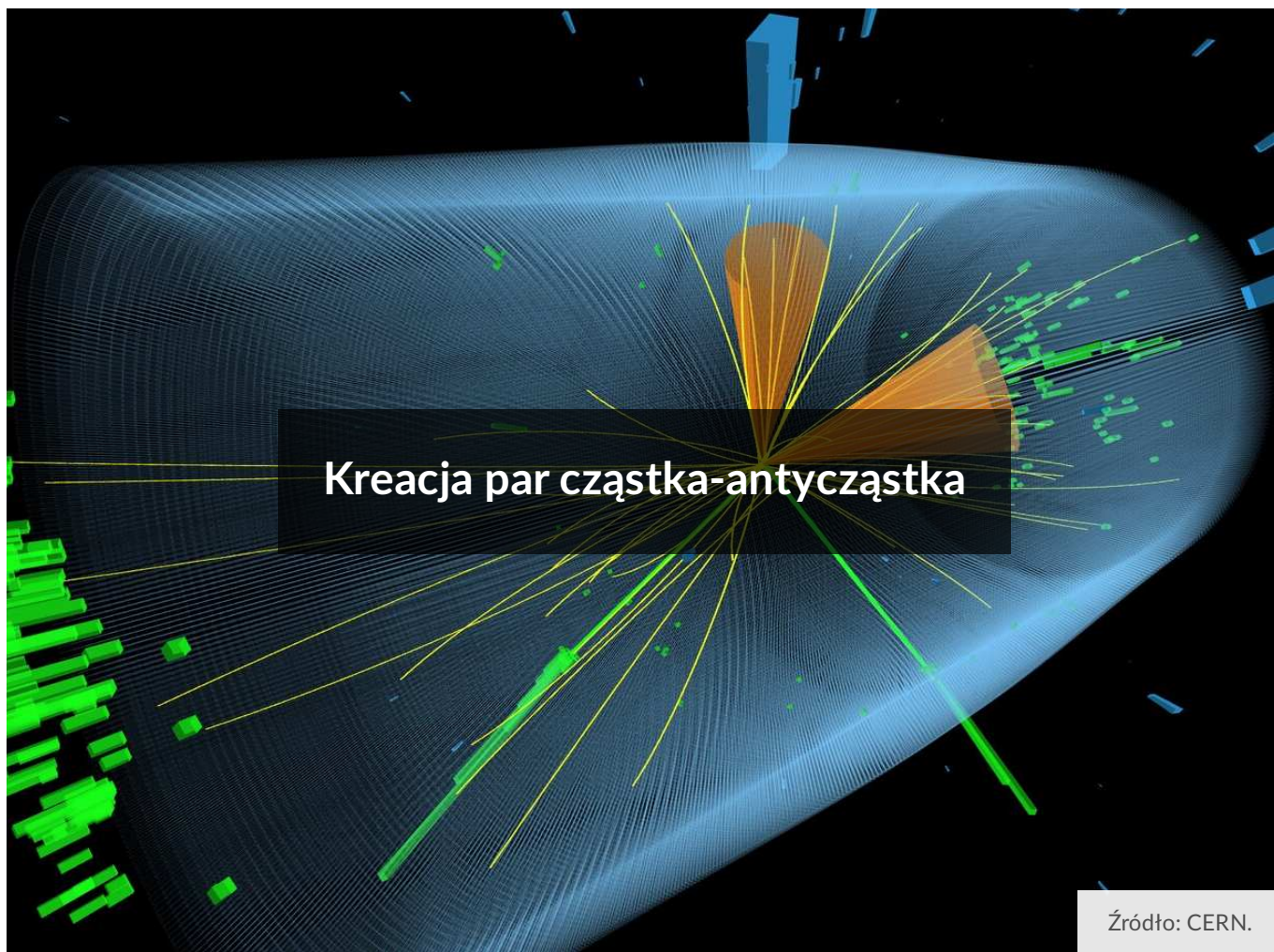


Kreacja par cząstka-antycząstka

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



Czy to nie ciekawe?

Najbardziej chyba znany wzór fizyczny to wzór Einsteina $E = mc^2$, który wyraża równowagę masy m i energii E . Oznacza to, że masa może zamienić się w energię, a energia w masę. Jeśli więc dysponujemy odpowiednio dużą energią, możemy spowodować kreację, czyli stworzenie materii. Przykładem takiej kreacji jest wynik zderzenia dwóch protonów rozpędzonych do ogromnych energii w zderzacz LHC. Na ilustracji (Rys. a.) widzimy wizualizację torów cząstek elementarnych, które powstały w tym zderzeniu. To ilustracja zamiany energii kinetycznej zderzających się protonów w masy nowopowstałych cząstek. Takie zdarzenia występują również wokół nas. W promieniowaniu kosmicznym docierającym do Ziemi znajdują się fotony o energii wystarczającej do utworzenia pary cząstek: elektronu i pozytonu. Więcej o kreacji par dowiesz się z tego e-materiału.



Rys. a. Wizualizacja torów cząstek elementarnych, które powstały w zderzeniu dwóch protonów rozpędzonych do ogromnych energii w zderzacz LHC.

Źródło: tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Twoje cele

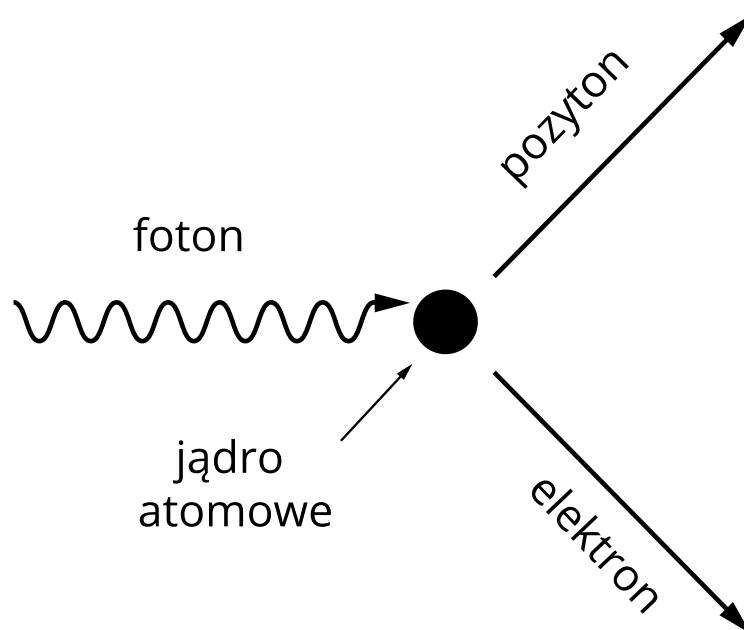
- dowiesz się czym jest antymateria,
- poznasz właściwości pozytonu,
- zrozumiesz, na czym polega proces kreacji par elektron – pozyton,
- przeanalizujesz zachowanie energii, pędu i ładunku w procesie kreacji par.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Gdy przez materię przechodzą fotony promieniowania gamma, może wydarzyć się zjawisko kreacji pary elektron – pozyton. Pozyton jest antycząstką elektronu. Posiada masę identyczną z masą elektronu. Ładunki elektronu i pozytonu mają taką samą wartość e (ładunek elementarny), są jednak przeciwnych znaków. Ładunek elektronu jest ujemny, $-e$, a pozytonu dodatni, $+e$.

Na czym polega proces kreacji par? Foton o wysokiej energii, przechodząc w pobliżu jądra atomowego, oddziałuje z polem elektrycznym jądra. W wyniku tego foton traci całą swą energię i jej kosztem powstaje para cząstek – elektron i pozyton. Jądro atomowe, które brało udział w tym procesie, nie ulega zmianie, odbiera tylko pewną część energii i pędu. A co stało się z fotonem? Skoro foton oddał całą energię, to po prostu znikł. Natomiast pojawiły się dwie nowe cząstki, które wcześniej nie istniały: elektron i pozyton. Oczywiście w tym procesie muszą zostać spełnione podstawowe zasady zachowania: zasada zachowania energii, pędu, a także ładunku. Kreacja pary elektron – pozyton przedstawiona jest schematycznie na Rys. 1.



Rys. 1. Kreacja pary elektron – pozyton

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

Łatwo wykazać, że **całkowity ładunek elektryczny jest zachowany**. Przed kreacją pary foton ma zerowy ładunek, podczas kreacji powstaje elektron o ładunku $-e$ i pozyton o ładunku $+e$. Suma ładunków powstałych cząstek wynosi zero.

Energia fotonu $E = h\nu$ zamienia się na energie spoczynkowe elektronu i pozytonu $2mc^2$, energię kinetyczną elektronu E_{ke} oraz pozytonu E_{kp} .

Zasadę zachowania energii możemy zapisać równaniem:

$$h\nu = 2mc^2 + E_{ke} + E_{kp}$$

W procesie tworzenia par energia kinetyczna, przekazana jądro, jest zanedbywalna, ponieważ jądro ma bardzo dużą masę, w porównaniu z elektronem i pozytonem.

Z powyższego równania można wyznaczyć minimalną energię fotonu, który spowoduje kreację pary elektron – pozyton. Energii musi wystarczyć na utworzenie elektronu i pozytonu o energiach spoczynkowych $2mc^2$. Energia spoczynkowa elektronu wynosi 0,51 MeV. W skrajnym przypadku energie kinetyczne utworzonych cząstek równe są zero. Graniczna energia fotonu wynosi więc:

$$E_{\min} = 2mc^2 = 1,02 \text{ MeV}$$

Fotony o energiach przekraczających tę wartość leżą w zakresie promieniowania gamma. Prawdopodobieństwo kreacji pary elektron – pozyton silnie rośnie wraz z energią fotonu, a także z **liczbą atomową** Z jądra. Jądro atomowe, zawierające dużą liczbę protonów, wytwarza silne pole elektryczne, co ułatwia powstanie pary elektron – pozyton w jego pobliżu.

Podczas kreacji pary elektron – pozyton musi być zachowany całkowity pęd układu. To dlatego zjawisko kreacji par nie zachodzi w próżni. W przemianie fotonu w parę cząstek nie mogłaby być zachowana jednocześnie energia i pęd bez udziału trzeciego ciała. Jądro atomowe odbiera część pędu fotonu.

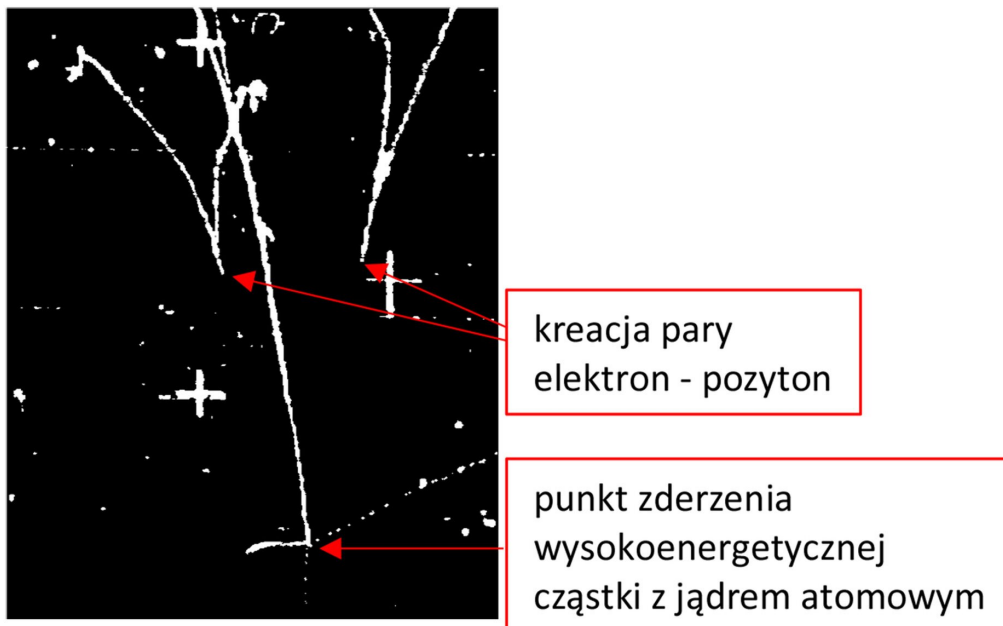
Zasadę zachowania pędu zapisujemy wektorowo:

$$\vec{p}_f = \vec{p}_e + \vec{p}_p + \vec{p}_j$$

gdzie \vec{p}_f to pęd fotonu, \vec{p}_e – pęd elektronu, \vec{p}_p – pęd pozytonu, \vec{p}_j – pęd jądra.

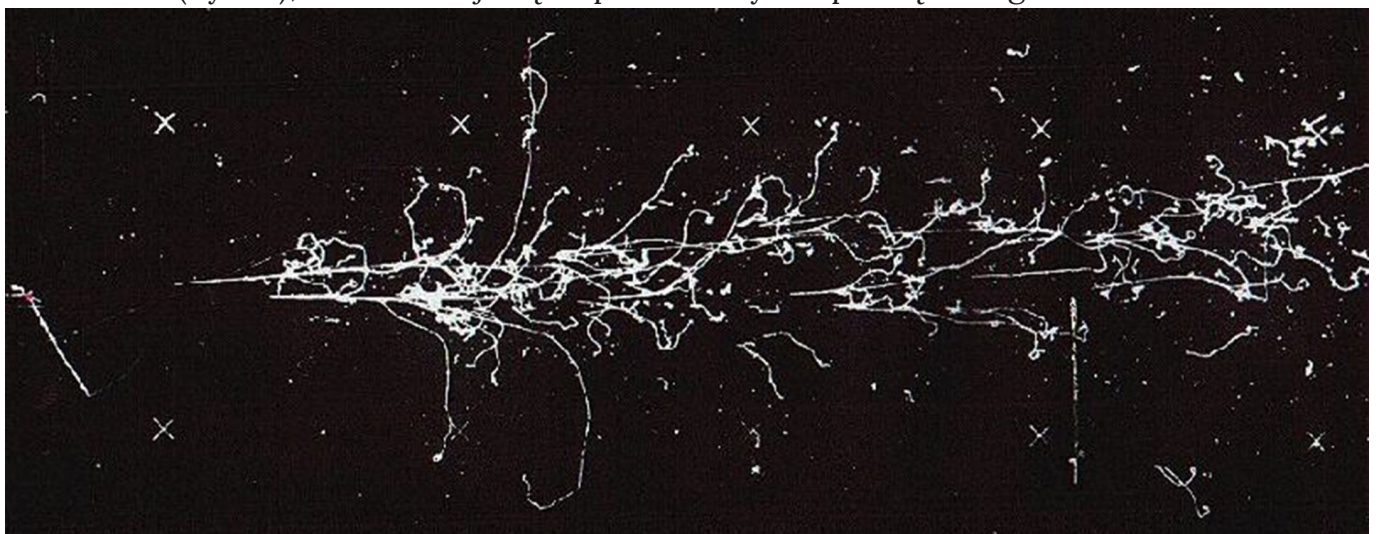
Zjawisko kreacji par zachodzi zawsze, gdy wysokoenergetyczne fotony gamma przechodzą przez materię. W przyrodzie pary elektron-pozyton wytwarzane są przez fotony promieniowania kosmicznego, a w laboratoriach przez fotony, pojawiające się podczas zderzeń cząstek przyspieszanych do wysokich energii w **akceleratorach**. Na zdjęciu (Rys. 2.) pokazano, zarejestrowane w **pęcherzykowej komorze ksenonowej**, ślady elektronów i pozytonów, które pojawiły się w wyniku kreacji par. Dwa fotony gamma wylatują z punktu zderzenia wysokoenergetycznej cząstki z jądrem atomowym. Nie zostawiają one śladów, gdyż nie mają ładunku i nie jonizują materii. Obecność fotonu wnioskujemy z pojawienia się

w jednym punkcie pary cząstek naładowanych, które za sprawą jonizacji zostawiają ślady. To właśnie powstałe podczas reakcji pary elektron i pozyton, które niosą całą energię fotonu pierwotnego.



Rys. 2. Zdjęcie z pęcherzykowej komory ksenonowej przedstawiające reakcję dwóch par elektron – pozyton
Źródło: tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Jeśli energia fotonu gamma jest rzędu kilkuset MeV lub większa, elektron i pozyton, które powstają w wyniku reakcji par, mają ogromne energie kinetyczne. Podczas hamowania w materii elektron i pozyton wysyłają promieniowanie hamowania w zakresie promieniowania gamma. Powstałe fotony gamma znów powodują powstanie par elektron – pozyton, które emitują fotony gamma i tak dalej. W ten sposób powstaje lawina elektronowo – fotonowa (Rys. 3.), która rozwija się dopóki nie wyczerpie się energia.



Rys. 3. Dwie lawiny elektronowo – fotonowe zarejestrowane na zdjęciu z pęcherzykowej komory ksenonowej
Źródło: tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Proces odwrotny do procesu reakcji par elektron – pozyton to anihilacja, która następuje, gdy elektron i pozyton spotkają się. Cząstka i antycząstka znikają, a pojawia się

promieniowanie w postaci fotonów gamma. W tym procesie masa zamienia się w energię. Więcej o anihilacji dowiesz się z e-materiału „Anihilacja par cząstka – antycząstka”.

Słowniczek

Elektronowolt (eV)

(ang.: *electronvolt*) – jednostka energii spoza układu SI używana w fizyce mikroświata. 1 eV to energia, jaką uzyskuje elektron przyspieszany w polu elektrycznym o różnicy potencjałów równej 1 wolt. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Liczba atomowa

(ang.: *atomic number*) – liczba protonów w jądrze atomowym.

Akcelerator

(ang.: *accelerator*) – urządzenie służące do przyspieszania cząstek elementarnych lub jonów do prędkości bliskich prędkości światła w próżni.

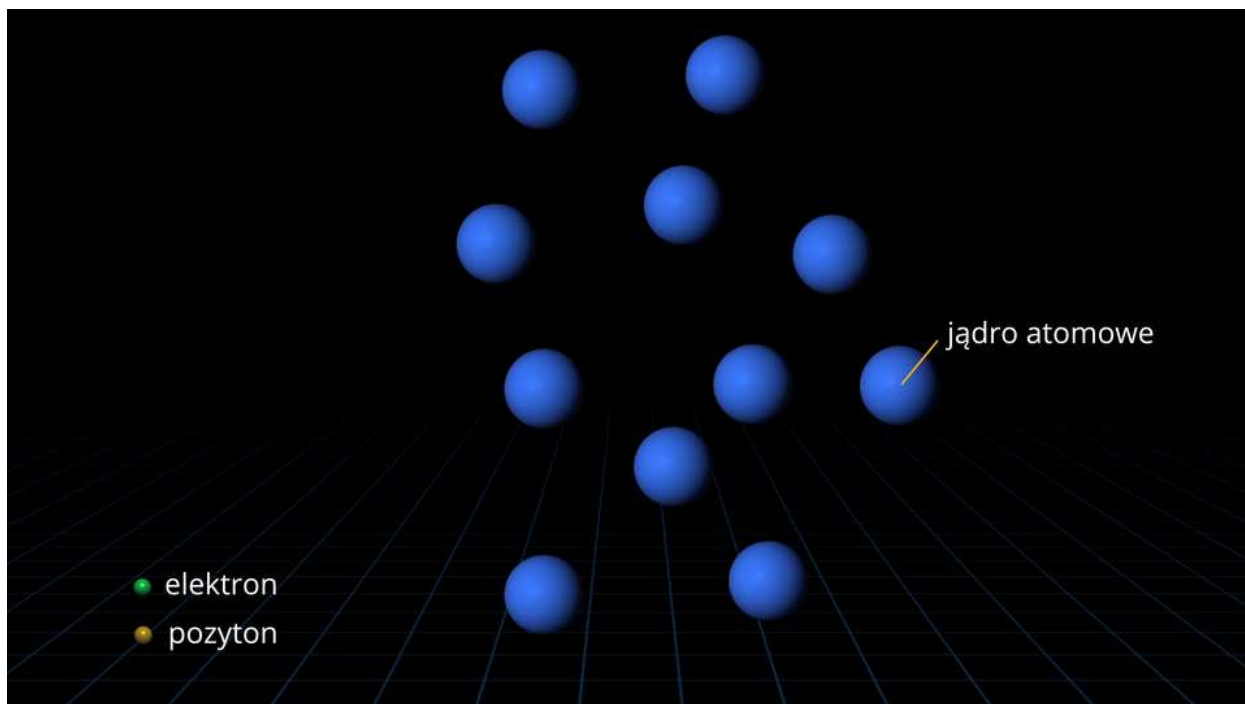
Pęcherzykowa komora ksenonowa

(ang.: *bubble xenon chamber*) – urządzenie służące do obserwacji śladów naładowanych cząstek elementarnych. Komora wypełniona jest przegrzanym ksenonem w stanie ciekłym. Cząstka jonizująca przechodząca przez komorę zostawia ślad w postaci pęcherzyków pary ksenonu.

Animacja

Kreacja par cząstka - antycząstka

Obejrzyj animację ilustrującą zjawisko kreacji par elektron-pozyton i wykonaj polecenia.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R18gdHfRj7hRd>

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

Wysłuchaj uważnie ścieżki lektorskiej i zapoznaj się z opisem animacji.

Polecenie 1

Założmy, że elektron i pozyton zostały utworzone w procesie kreacji z jednakowymi energiami kinetycznymi. Czy po oddaleniu się od jądra, w pobliżu którego powstały, nadal mają jednakowe energie kinetyczne? Odpowiedź uzasadnij.

Polecenie 2

Czy pozyton po kreacji może przemieszczać się w materii na dowolną odległość?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



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

Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



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

Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Do Ziemi dochodzą błyski gamma zawierające fotony o energiach od 200 do 1000 MeV. Źródła tych błysków znajdują się miliardy lat świetlnych od Ziemi. Wiemy, że prawdopodobieństwo kreacji pary elektron – pozyton silnie rośnie wraz z energią kwantu gamma. Wyjaśnij, dlaczego fotony o tak ogromnych energiach, podróżujące przez Wszechświat miliardy lat, nie spowodowały po drodze kreacji pary elektron – pozyton i dotarły do Ziemi.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Kreacja par cząstka - antycząstka
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne:</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</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>XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa. Uczeń:</p> <p>19) opisuje kreację lub anihilację par cząstka-antycząstka; stosuje zasady zachowania energii i pędu oraz zasadę zachowania ładunku do analizy kreacji lub anihilacji pary elektron-pozyton.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none">• 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:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. wyjaśni, czym jest antymateria, 2. omówi właściwości pozytonu, 3. wyjaśni, na czym polega proces kreacji par elektron – pozyton, 4. przeanalizuje zachowanie energii, pędu i ładunku w procesie kreacji par.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszerniowa (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiał: „Anihilacja par cząstka - antycząstka”, „Zastosowanie zasad zachowania energii i pędu oraz zasady zachowania ładunku do analizy kreacji lub anihilacji pary elektron - pozyton”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do wiedzy uczniów o promieniowaniu gamma.	
Faza realizacyjna:	
<p>Nauczyciel wprowadza pojęcie antymaterii, na przykładzie elektronu i pozytonu omawiając właściwości cząstki i jej antycząstki. Tłumaczy na czym polega kreacja pary elektron – pozyton, podkreślając, że muszą być przy tym spełnione podstawowe zasady zachowania. Uczniowie w grupach analizują zastosowanie zasady zachowania ładunku do procesu kreacji par. Następnie z pomocą nauczyciela konstruują równanie wyrażające zasadę zachowania energii, uwzględniając, że energia przekazana jądro jest pomijalnie mała. Uczniowie w grupach obliczają graniczną energię fotonu, który może spowodować kreację par. Nauczyciel tłumaczy, że spełnienie zasady zachowania energii i pędu wymaga, aby w procesie kreacji brało udział trzecie ciało (jądro atomowe), które odbiera część pędu.</p> <p>Uczniowie oglądają animację i rozwiązują w grupach połączone z nią polecenia.</p>	
Faza podsumowująca:	

Uczniowie w grupach rozwiązują zadanie 6 i 8 z zestawu ćwiczeń i następnie dyskutują wyniki na forum klasy. Poprzez analizę wypowiedzi uczniów nauczyciel określa w jakim stopniu osiągnięte zostały wyznaczone cele.

Praca domowa:

W celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości o kreacji par cząstka-antycząstka uczniowie rozwiązują zadania: 1- 3 obowiązkowo i do wyboru jedno z pozostałych zadań z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium:**

Animacja może też być wykorzystana przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.