

SCENARIUSZ ZAAWANSOWANEGO E-MATERIAŁU

1. Metryczka materiału

Tytuł materiału	Grawitacja 3D
Numer materiału	II.3
Autor scenariusza	Krzysztof Rochowicz
Weryfikacja WCAG	Zespół ekspertów ds. WCAG (Dominika Gaponiuk, Agnieszka Brodowska, Urszula Grygier, Łukasz Mroziński)
Weryfikacja założeń techniczno-informatycznych	Zespół informatyków ds. integrowania e-materiałów pod względem technologicznym (Paweł, Tomaszek, Katarzyna Gagan, Anna Magdziarz-Tomaszek, Grzegorz Kusztelak)
Weryfikacja językowa	Alicja Berbeka
Rodzaj multimedium	wirtualna symulacja
Wykorzystanie AR lub VR AR - rozszerzona rzeczywistość VR - wirtualna rzeczywistość	<input type="checkbox"/> standardowa 2D lub 3D <input type="checkbox"/> AR VR
Etap(y) edukacyjny(e), dla których przeznaczony jest materiał	II etap: SP IV-VIII III etap: Liceum / technikum zakres podstawowy Liceum / technikum zakres rozszerzony
Przedmiot(y), do nauki których przeznaczony jest materiał	fizyka

2. Opis materiału

Skrócony opis materiału (abstrakt)
<p>Aplikacja opracowana w celu lepszego zrozumienia oddziaływań grawitacyjnych i pojęć związanych z tą dziedziną. Omówienie podstawowych zjawisk - oddziaływań grawitacyjnych i ich skutków; użytkownik może manipulować masami oraz przykładami tak, by obserwować oddziaływanie grawitacyjne w różnych układach (przykłady z astronomii i astronautyki). Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości do ilustrowania praw i teorii oraz praktycznych zastosowań znajomości oddziaływań grawitacyjnych.</p> <p>Kilku użytkowników może badać i odkrywać zasady grawitacji poprzez eksperymenty. Abstrakcyjne pojęcia grawitacji (pole, siły, masy, środek masy, studnie potencjału) uzyskują konkretne formy namacalnych, interaktywnych obiektów. Uczestnik uczy się poprzez bezpośrednie manipulowanie obiektami fizycznymi i otrzymywanie informacji zwrotnych z otoczenia w czasie rzeczywistym. Zjawiska i obiekty, które trudno obserwować i doświadczyć bezpośrednio (np. symulacje przelotu sond kosmicznych w pobliżu różnych ciał Układu Słonecznego oraz w pobliżu czarnej dziury;</p>



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



symulacje fal grawitacyjnych) zostają przekształcone w środowisko interaktywne.

Cel ogólny materiału

Materiał ma na celu rozwinięcie wiedzy uczniów na temat prawa powszechnego ciążenia i oddziaływań grawitacyjnych poprzez prezentację teoretyczną, demonstracje praktyczne oraz przeprowadzenie serii eksperymentów. Prezentacja teoretyczna będzie opierała się na krótkich wykładach oraz dyskusji na temat poszczególnych zagadnień. Demonstracje praktyczne obejmować będą przykłady oddziaływań grawitacyjnych na Ziemi i w kosmosie. Eksperymenty pozwolą uczniom na samodzielne eksplorowanie zjawisk związanych z grawitacją i umożliwią im zrozumienie teorii poprzez praktyczne doświadczenie.

Cele z podstawy programowej kształcenia ogólnego możliwe do realizacji za pomocą materiału

Fizyka (szkoła podstawowa)

Uczeń:

- posługuje się prawem powszechnego ciążenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego; wskazuje siłę grawitacji jako przyczynę spadania ciał;
- wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową w ruchu po orbicie kołowej; oblicza wartość prędkości na orbicie kołowej o dowolnym promieniu; omawia ruch satelitów wokół Ziemi;
- opisuje stan nieważkości i stan przeciążenia oraz podaje warunki i przykłady jego występowania;
- opisuje budowę Układu Słonecznego i jego miejsce w Galaktyce; posługuje się pojęciami jednostki astronomicznej i roku świetlnego;

Fizyka (szkoła ponadpodstawowa, zakres podstawowy)

Uczeń:

- posługuje się prawem powszechnego ciążenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego; wskazuje siłę grawitacji jako przyczynę spadania ciał;
- wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową w ruchu po orbicie kołowej; oblicza wartość prędkości na orbicie kołowej o dowolnym promieniu; omawia ruch satelitów wokół Ziemi;
- opisuje stan nieważkości i stan przeciążenia oraz podaje warunki i przykłady jego występowania;
- opisuje budowę Układu Słonecznego i jego miejsce w Galaktyce;
- posługuje się pojęciami jednostki astronomicznej i roku świetlnego;
- opisuje Wielki Wybuch jako początek znanego nam Wszechświata;
- zna przybliżony wiek Wszechświata, opisuje rozszerzanie się Wszechświata (ucieczkę galaktyk).

Fizyka (szkoła ponadpodstawowa, zakres rozszerzony)

Uczeń:

- posługuje się prawem powszechnego ciążenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego;
- wskazuje siłę grawitacji jako przyczynę spadania ciał; stosuje do obliczeń związek między przyspieszeniem grawitacyjnym na powierzchni planety a jej masą i promieniem;
- analizuje jakościowo wpływ siły grawitacji Słońca na niejednostajny ruch planet po orbitach eliptycznych i siły grawitacji planet na ruch ich księżyców;
- wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową w ruchu po orbicie kołowej; oblicza wartość prędkości na orbicie kołowej o dowolnym promieniu; omawia ruch satelitów wokół Ziemi;
- interpretuje III prawo Keplera jako konsekwencję prawa powszechnego ciążenia; stosuje do obliczeń III prawo Keplera dla orbit kołowych;
- interpretuje II prawo Keplera jako konsekwencję zasady zachowania momentu pędu;
- oblicza zmiany energii potencjalnej grawitacji i stosuje zasadę zachowania energii do



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



ruchu orbitalnego; posługuje się pojęciem drugiej prędkości kosmicznej (prędkości ucieczki);

- opisuje stan nieważkości i stan przeciążenia oraz podaje warunki i przykłady jego występowania;
- opisuje budowę Układu Słonecznego i jego miejsce w Galaktyce; posługuje się pojęciami jednostki astronomicznej, roku świetlnego i parseka;
- opisuje Wielki Wybuch jako początek znanego nam Wszechświata; zna przybliżony wiek Wszechświata, opisuje rozszerzanie się Wszechświata (ucieczkę galaktyk); stosuje do obliczeń prawo Hubble'a.

3. Charakterystyka materiału

Opis zawartości merytorycznej materiału

Symulacja **Grawitacja 3D** pozwala uczniom eksplorować działanie sił grawitacyjnych oraz prawa Newtona dotyczące grawitacji w przestrzeni trójwymiarowej. Wirtualne laboratorium umożliwia wizualizację i eksperymentowanie z oddziaływaniami grawitacyjnymi między ciałami, z uwzględnieniem ich masy, odległości i ruchu orbitalnego.

Opis symulacji i czynności do wykonania przez ucznia

1. **Manipulowanie obiektami o różnej masie**
 - Uczeń może umieszczać obiekty o różnej masie i sprawdzać, jak zmieniają się siły grawitacyjne między nimi. Ma możliwość obserwowania przyciągania między dwoma obiektami i zmiany intensywności siły w zależności od odległości.
 - Ustawiając różne odległości i zmieniając masy obiektów, uczeń może badać zależność siły grawitacji od masy i odległości zgodnie z prawem grawitacji Newtona.
2. **Analiza siły grawitacyjnej i wektorów**
 - Symulacja wyświetla wektory sił działających na obiekty. Uczeń może mierzyć wartość siły działającej między ciałami oraz analizować zmiany wektorów przy zmianach masy lub odległości.
 - Możliwość dostosowywania wartości mas obiektów oraz przesuwania ich w przestrzeni pozwala na sprawdzenie zgodności wyników z teoretycznym wzorem Newtona na siłę grawitacyjną.
3. **Eksperymenty z układami wieloobiekowymi i orbitami**
 - Uczeń może ustawić większą liczbę obiektów w przestrzeni i badać, jak siły grawitacyjne wpływają na ich ruch. Pozwala to zrozumieć, jak obiekty wpływają na siebie nawzajem, tworząc skomplikowane układy.
 - Tworząc układy wieloobiekowe, uczeń może eksperymentować z ruchem orbitalnym i sprawdzać, jak różne masy i odległości wpływają na stabilność orbit.
4. **Symulacja ruchu orbitalnego i praw Keplera**
 - Uczeń może tworzyć układy planetarno-satelitarne i badać zasady ruchu planet wokół masy centralnej. Poprzez ustawienie mas obiektów i ich odległości uczeń może obserwować zasady rządzące ruchami orbitalnymi.
 - Symulacja pozwala na sprawdzenie, jak zmieniają się prędkość i okres orbitalny w zależności od odległości od masy centralnej, zgodnie z prawami Keplera.
5. **Eksperymenty z prędkością początkową i równowagą grawitacyjną**
 - Uczeń może nadawać obiektom prędkość początkową, aby badać, jak prędkość wpływa na trajektorię. Dzięki temu może sprawdzić, w jakich warunkach obiekt osiągnie stabilną orbitę, a kiedy ucieknie z układu lub zostanie przyciągnięty.
 - Ustalając różne wartości prędkości dla mniejszych ciał wokół większych mas,



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



uczeń analizuje, jak grawitacja tworzy układy stabilne i jak zmieniają się warunki równowagi grawitacyjnej.

6. Symulacja układów podwójnych i grupy ciał

- Uczeń może tworzyć układy podwójne i potrójne, gdzie dwa lub więcej obiektów oddziałują ze sobą nawzajem i razem tworzą system.
- Obserwując, jak układy te ewoluują w czasie, uczeń może badać, jak grawitacja wpływa na złożone układy oraz jakie konfiguracje mogą prowadzić do stabilnych orbit.

Dodatkowe narzędzia i funkcje edukacyjne

- **Narzędzie mierzenia sił i prędkości:** Uczeń może skorzystać z narzędzi do pomiaru siły, prędkości i odległości, aby lepiej zrozumieć zależności między masą, odległością i ruchem orbitalnym.
- **Podpowiedzi i wyjaśnienia:** Wirtualne laboratorium zawiera podpowiedzi i wyjaśnienia, które pomagają w zrozumieniu, jak obliczenia i wyniki są związane z teorią.
- **Symulacja ruchu i zapis danych:** Funkcja zapisu pozwala na odtworzenie ruchu obiektów i analizę ewolucji układów w czasie.

Kluczowe wymagania merytoryczne i dydaktyczne dla Wykonawcy materiału, które muszą zostać uwzględnione

- Zrozumienie tematu: Wykonawca powinien posiadać głęboką wiedzę na temat grawitacji, aby móc przekazać teorię w sposób klarowny i zrozumiały.
- Dostosowanie do grupy docelowej: Materiał powinien być dostosowany do poziomu i wieku uczniów, uwzględniając ich wcześniejsze doświadczenia i wiedzę w zakresie fizyki.
- Interaktywność: Materiał powinien być interaktywny, aby zapewnić aktywne uczestnictwo uczniów w procesie nauki. Wykorzystanie interaktywnych narzędzi, symulacji i eksperymentów wirtualnych może pomóc w lepszym zrozumieniu abstrakcyjnych koncepcji.
- Zrozumiałe wyjaśnienia: Wykonawca powinien przedstawić materiał w sposób zrozumiały i przystępny, unikając nadmiernego skomplikowania pojęć i terminologii.
- Różnorodność metod dydaktycznych: Materiał powinien wykorzystywać różnorodne metody dydaktyczne, takie jak wykłady multimedialne, symulacje, eksperymenty wirtualne, dyskusje grupowe, aby dostosować się do różnych stylów uczenia się uczniów.
- Praktyczne zastosowania: Wykonawca powinien pokazać praktyczne zastosowania omawianego zagadnienia, aby uczniowie mogli zobaczyć jego znaczenie w życiu codziennym oraz w różnych dziedzinach nauki i technologii.
- Weryfikacja zrozumienia: Materiał powinien zawierać elementy weryfikujące zrozumienie uczniów, takie jak quizy, zadania praktyczne czy dyskusje, aby sprawdzić, czy osiągnęli oni zamierzone cele edukacyjne.
- Wsparcie dla różnorodności uczniów: Materiał powinien uwzględniać różnorodność potrzeb uczniów, zapewniając wsparcie dla uczniów o różnym poziomie umiejętności oraz dostosowując się do ewentualnych potrzeb specjalnych.
- Motywacja do nauki: Wykonawca powinien zadbać o motywację uczniów poprzez interesującą i angażującą prezentację materiału oraz poprzez pokazanie jego znaczenia i praktycznych zastosowań.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Opis struktury materiału

Multimedialny moduł **Grawitacja 3D** to interaktywny system wizualizacji zaprojektowany, by pomóc użytkownikom lepiej zrozumieć zjawiska związane z grawitacją poprzez eksperymenty w trójwymiarowej przestrzeni. System ten umożliwia obserwowanie oddziaływań grawitacyjnych w czasie rzeczywistym, manipulowanie masami, odległościami oraz obserwowanie skutków tych oddziaływań w różnych układach. Użytkownik może eksperymentować z różnymi obiektami o zmiennej masie i obserwować, jak grawitacja wpływa na ich ruch. Interaktywne symulacje pomagają ilustrować podstawowe zasady grawitacji, takie jak prawo powszechnego ciążenia Newtona oraz konsekwencje teorii względności Einsteina. Użytkownicy mogą dowolnie ustawiać parametry symulacji, takie jak masa ciał, odległość między nimi oraz prędkości początkowe. Dzięki temu mają możliwość przeprowadzania eksperymentów symulujących zjawiska takie jak: orbitalne ruchy planet i księżyców; zderzenia galaktyk; loty sond kosmicznych z wykorzystaniem asysty grawitacyjnej; zjawiska związane z grawitacją w pobliżu czarnych dziur.

Moduł pozwala na symulowanie zjawisk, które w rzeczywistości są trudne do bezpośredniej obserwacji, takich jak:

- 1) Przeloty sond kosmicznych: Użytkownik może symulować trajektorie sond kosmicznych w pobliżu różnych planet, wykorzystując ich pole grawitacyjne do zmiany prędkości i kierunku lotu (tzw. manewr asysty grawitacyjnej).
- 2) Czarne dziury: Symulacja grawitacji w ekstremalnych warunkach, takich jak bliskość czarnych dziur, z efektem zniekształcenia przestrzeni i czasu.
- 3) Fale grawitacyjne: Ilustracja zakrzywienia czasoprzestrzeni i emisji fal grawitacyjnych przez masywne ciała, takie jak zderzające się czarne dziury lub gwiazdy neutronowe. Wykorzystanie VR przenosi użytkownika do realistycznego środowiska, w którym może bezpośrednio manipulować obiektami, co ułatwia intuicyjne zrozumienie skomplikowanych pojęć. W przestrzeni 3D użytkownicy mogą np. budować systemy planetarne, analizować wpływ różnych mas na układy grawitacyjne i odczuwać ich skutki wizualnie i fizycznie w wirtualnym otoczeniu.

Przykłady zastosowań:

- tworzenie i analizowanie układów planetarnych oraz sprawdzanie, jak masa planet i odległości między nimi wpływają na ich ruchy orbitalne.
- symulacje przelotów sond kosmicznych przez różne części Układu Słonecznego z użyciem grawitacji planet do zmiany trajektorii.
- badanie ekstremalnych zjawisk grawitacyjnych, takich jak zderzenia galaktyk lub czarne dziury i wizualizacja fal grawitacyjnych emitowanych przez te zdarzenia.

Symulacja **Grawitacja 3D** składa się z kilku **sekcji tematycznych**, które stopniowo wprowadzają ucznia w zagadnienia grawitacji, prawa Newtona oraz ruchu orbitalnego. Każda sekcja zawiera konkretne zadania i czynności, które umożliwiają uczniowi praktyczne zastosowanie teoretycznej wiedzy i zdobycie głębszego zrozumienia praw grawitacyjnych w przestrzeni trójwymiarowej.

Opis sekcji tematycznych:

1. Podstawy siły grawitacyjnej i zależności odległościowe



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



- **Cele:** Poznanie zależności siły grawitacyjnej od masy i odległości między ciałami. Wprowadzenie do prawa powszechnego ciążenia Newtona.
- **Zadania i czynności:**
 - Umieść dwa obiekty w przestrzeni i ustaw ich masy na różne wartości. Zmierz siłę grawitacyjną działającą między nimi.
 - Przesuń obiekty na różne odległości od siebie i obserwuj zmiany siły grawitacyjnej. Odpowiedz na pytania dotyczące wpływu odległości na siłę grawitacji.
 - Oblicz siłę teoretycznie, wykorzystując prawo Newtona, a następnie porównaj wynik z wartościami z symulacji.

2. Pojęcie pól grawitacyjnych i oddziaływań wieloobiektowych

- **Cele:** Zrozumienie koncepcji pola grawitacyjnego oraz zasady superpozycji w kontekście oddziaływań między wieloma obiektami.
- **Zadania i czynności:**
 - Umieść w przestrzeni kilka obiektów i zaobserwuj, jak ich pola grawitacyjne nakładają się na siebie. Sprawdź, jak ich siły działają na wybrany punkt testowy.
 - Eksperymentuj z masami różnych obiektów, aby zobaczyć, jak układ ciał wpływa na rozkład sił grawitacyjnych i pola wokół nich.
 - Umieść dwa obiekty o dużej masie i jeden o małej masie, a następnie zmierz siłę działającą na ten mniejszy obiekt w różnych miejscach, analizując wpływ większych mas.

3. Prawo powszechnego ciążenia Newtona i ruchy orbitalne

- **Cele:** Zrozumienie, jak siły grawitacyjne wpływają na ruch obiektów oraz jak powstają orbity. Poznanie zależności między prędkością orbitalną a odległością od masy centralnej.
- **Zadania i czynności:**
 - Umieść mały obiekt (np. satelitę) w pobliżu większego obiektu i nadaj mu prędkość początkową. Zobacz, jak zmienia się jego trajektoria w zależności od prędkości.
 - Przetestuj różne prędkości początkowe i sprawdź, kiedy obiekt uzyska stabilną orbitę, a kiedy ucieknie lub zostanie przyciągnięty do masy centralnej.
 - Oblicz prędkość orbitalną dla wybranej odległości od masy centralnej, porównując obliczenia z wynikami symulacji.

4. Prawa Keplera dla ruchu planetarnego

- **Cele:** Poznanie praw Keplera i ich zastosowania w opisie ruchu ciał wokół masy centralnej. Wprowadzenie do eliptycznych orbit i zależności okresu orbitalnego od odległości.
- **Zadania i czynności:**
 - Umieść kilka obiektów wokół dużej masy centralnej i obserwuj ich ruch orbitalny. Sprawdź, które z nich tworzą orbity kołowe, a które eliptyczne.
 - Przeanalizuj okresy orbitalne obiektów znajdujących się na różnych odległościach od masy centralnej. Potwierdź drugie prawo Keplera, badając, jak zmienia się prędkość orbitalna w różnych punktach orbity.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



- Zmierz czas potrzebny na wykonanie pełnej orbity dla kilku obiektów i zobacz, jak zależność okresu od odległości jest zgodna z trzecim prawem Keplera.

5. Równowaga i symulacja układów wielu ciał

- **Cele:** Zbadanie wpływu mas i odległości w bardziej złożonych układach, takich jak układy podwójne czy potrójne. Zrozumienie, jak grawitacja kształtuje stabilność takich systemów.
- **Zadania i czynności:**
 - Stwórz układ podwójny, gdzie dwa obiekty o podobnej masie orbitują wokół wspólnego środka masy. Obserwuj i zmierz okres orbitalny każdego z obiektów.
 - Dodaj mniejszy obiekt do układu podwójnego i zobacz, jak wpływają na niego oddziaływania grawitacyjne obu większych mas. Zidentyfikuj pozycje równowagi i obszary stabilne.
 - Sprawdź, co się dzieje, gdy zwiększysz masę jednego z ciał w układzie potrójnym. Analizuj trajektorie i stabilność orbit.

6. Energia potencjalna grawitacyjna i praca

- **Cele:** Zrozumienie energii potencjalnej grawitacyjnej i zależności jej od masy i odległości. Obliczanie pracy wykonanej przez grawitację przy zmianie pozycji obiektów.
- **Zadania i czynności:**
 - Umieść dwa obiekty o różnych masach i zmierz ich energię potencjalną grawitacyjną w różnych odległościach. Przesuń obiekty, aby zobaczyć, jak zmienia się energia potencjalna.
 - Oblicz wartość pracy wykonanej podczas przesuwania obiektu między dwoma punktami w polu grawitacyjnym większej masy. Zarejestruj wyniki i porównaj je z wyliczeniami teoretycznymi.
 - Stwórz symulację ruchu obiektu w polu grawitacyjnym i obserwuj, jak energia potencjalna przekształca się w kinetyczną w trakcie ruchu orbitalnego.

Dodatkowe narzędzia i funkcje edukacyjne

- **Interaktywne pomiary i wykresy:** Narzędzie umożliwiające pomiary mas, odległości i sił, z możliwością generowania wykresów zależności siły, energii i prędkości orbitalnej w funkcji odległości.
- **System odpowiedzi i analiz:** Każda sekcja oferuje wskazówki, które pomagają uczniowi zrozumieć wyniki, wyciągać wnioski oraz stosować prawo grawitacji w różnych sytuacjach.
- **Tryb zadań i wyzwań:** Każdy moduł zawiera specjalne zadania i pytania sprawdzające, które pozwalają uczniom pogłębić zrozumienie treści oraz sprawdzić swoją wiedzę.

Mechanika materiału

Aplikacja działa w dwóch trybach: **trybie VR** oraz **trybie standardowym** (obsługiwanym za pomocą ekranu, myszki i klawiatury). Oba tryby mają zapewnić użytkownikowi możliwość interaktywnego eksplorowania zawartości w dowolnym tempie, z uwzględnieniem wygody użytkownika.

Poruszanie się po symulacji: Użytkownik może przemieszczać się po wirtualnym modelu



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



kosmosu, używając myszki, klawiatury lub kontrolerów VR. Interfejs pozwala na wybór pomiędzy różnymi trybami eksploracji, np. „widok planetarny” lub „widok galaktyczny”.

Interakcje z obiektami grawitacyjnymi:

- Użytkownik może wybierać planety, gwiazdy, czarne dziury i inne obiekty poprzez kliknięcie na ich ikonę lub model. Po zaznaczeniu obiektu pojawiają się interaktywne opcje, takie jak analiza parametrów (masa, promień, grawitacja) lub symulacja ich ruchu w czasie.
- W trybie VR wybór i manipulacja obiektami odbywa się za pomocą kontrolerów. Przeciąganie i przybliżanie umożliwia manipulowanie rozmiarem i ustawieniem symulacji przestrzennej.

Symulacje i eksperymenty:

- **Modelowanie układu planetarnego:** Użytkownik może tworzyć własne układy planetarne, przeciągając obiekty na scenę. Parametry każdego ciała można ustawiać ręcznie, co pozwala na personalizację i obserwację wpływu grawitacji na cały układ.
- **Eksperymenty z czarnymi dziurami i falami grawitacyjnymi:** Użytkownik ma możliwość generowania czarnych dziur lub źródeł fal grawitacyjnych, a następnie obserwowania ich wpływu na otaczające obiekty. W trybie VR efekty są wzbogacone wizualnie, aby podkreślić siły i zniekształcenia w przestrzeni.

Zadania i wyzwania: Użytkownik może rozwiązywać interaktywne zagadki lub wykonywać zadania, takie jak „stworzenie stabilnego układu planetarnego” lub „obserwacja ruchu ciał niebieskich pod wpływem czarnej dziury”. Każde wyzwanie zawiera pomocne podpowiedzi oraz wskazówki kontekstowe, które ułatwiają osiągnięcie celu.

Obserwacja i zapis wyników: Użytkownik może w dowolnym momencie przełączyć się na widok ogólny lub obserwatora, gdzie widzi symulację z różnych perspektyw. Może również zapisywać wyniki i powracać do poprzednich sesji, co wspomaga długofalowe badania.

Przełączanie między trybem VR a komputerowym: Aplikacja umożliwia płynne przejście między trybem VR a komputerowym. Wersja standardowa zawiera interfejs zoptymalizowany pod myszkę i klawiaturę. Użytkownik może w dowolnym momencie przełączyć się na VR, korzystając z przycisku na ekranie głównym lub w menu głównym aplikacji.

Grafika

Interfejs:

- Cały interfejs będzie nowoczesny, przejrzysty i intuicyjny, aby ułatwić nawigację zarówno w trybie VR, jak i na komputerze. Elementy interaktywne będą wyróżnione jasnymi kolorami i czytelnymi czcionkami, co ułatwi poruszanie się po treści.
- Rozmieszczenie przycisków i ikon dostosowane do różnych trybów pracy (VR/standard), zapewni łatwy dostęp do funkcji, takich jak przełączanie widoków, włączanie podpowiedzi, czy powrót do menu głównego.

Wizualizacje:

- Wizualizacje 3D i animacje będą używane do przedstawiania abstrakcyjnych koncepcji, takich jak układy grawitacyjne czy ruchy ciał niebieskich, co umożliwi lepsze zrozumienie omawianych treści.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



- Kolorystyka i efekty świetlne będą wyważone – dynamiczne, ale subtelne – aby stworzyć realistyczne, ale jednocześnie przystępne wizualizacje naukowych zjawisk.

Symulacje Interaktywne:

- Symulacje będą wykorzystane jako kluczowy element edukacyjny, oferując grafikę 3D, która pozwoli użytkownikom na interakcje i obserwację w czasie rzeczywistym. Modele 3D planet, czarnych dziur i innych obiektów będą realistyczne, aby jak najlepiej odwzorować rzeczywistość.
- Ruchome elementy, takie jak trajektorie planet czy wizualizacje fal grawitacyjnych, będą dynamicznie animowane, zachęcając użytkowników do głębszej eksploracji.

Multimedia:

- Wideo wykłady będą uzupełnione animacjami i grafikami, które wizualnie przedstawiają omawiane tematy, np. ewolucję gwiazd lub zasady działania czarnych dziur.
- W trybie VR multimedia zostaną zaprojektowane w taki sposób, aby użytkownik mógł bezpośrednio oglądać kluczowe elementy w przestrzeni wokół siebie, co zwiększy immersję.

Testy wiedzy:

- W testach wiedzy pojawią się ilustracje i grafiki ułatwiające zrozumienie pytań oraz pomagające wizualnie rozwiązywać zagadnienia. Elementy graficzne zwiększą atrakcyjność i przejrzystość quizów, wspierając proces nauki.

Personalizacja:

- Grafika aplikacji będzie elastyczna i dostosowana do poziomu wiedzy użytkownika, co umożliwi efektywniejsze przyswajanie materiału osobom o różnym stopniu zaawansowania.
- Kolory, wyróżniki graficzne oraz ikonografia pomogą w rozpoznawaniu sekcji materiału oraz śledzeniu postępów użytkownika, co sprawi, że materiał będzie bardziej przejrzysty i łatwiejszy do przyswojenia.

Przykładowe inspiracje

Gravity Simulator (<https://gravitysimulator.org/>):

- Inspiracja: Model symulacji interakcji grawitacyjnych pomiędzy ciałami niebieskimi. Możemy zapożyczyć sposób wizualizacji sił oraz trajektorii obiektów, co idealnie pasuje do scenariusza dotyczącego grawitacji.
- Zastosowanie w naszym materiale: Tryb VR pozwoli na wizualizację planet i innych ciał w trójwymiarowej przestrzeni, co da uczniom możliwość obserwacji interakcji grawitacyjnych z perspektywy dowolnej, a tryb standardowy może symulować ruch obiektów na ekranie.
- Optymalizacja kosztu: Zastosowanie uproszczonej grafiki 3D i ograniczenie liczby obiektów w symulacji.

Effectuall Simulations (<https://effectuall.github.io/sims.html>):

- Inspiracja: Przystępny interfejs dla użytkownika z możliwością zmiany parametrów w czasie rzeczywistym i obserwacji wyników.
- Zastosowanie w naszym materiale: Możemy zaimplementować podobną funkcjonalność, w



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



której użytkownik (zarówno w trybie VR, jak i standardowym) może zmieniać parametry, np. masy ciał czy odległości między nimi, i obserwować zmiany ich ruchu.

- Optymalizacja kosztu: Efektywny kod i proste modele 3D z łatwo dostosowywanymi parametrami.

PhET Interactive Simulations (<https://phet.colorado.edu/>):

- Inspiracja: Prosty, intuicyjny design symulacji naukowych, który jest atrakcyjny i przyjazny dla użytkownika, z dużym naciskiem na wizualizację conceptów edukacyjnych.
- Zastosowanie w naszym materiale: Zainspirowani PhET, możemy uprościć interfejs i skoncentrować się na intuicyjnych kontrolkach oraz graficznych reprezentacjach, co ułatwi uczniom pracę zarówno w trybie VR, jak i standardowym.
- Optymalizacja kosztu: Zredukowanie liczby interakcji do najważniejszych elementów, bez zbędnego rozbudowywania grafiki, dzięki czemu uzyskamy atrakcyjne wizualizacje w rozsądnych kosztach.

4. Wymagania WCAG

Opis dostosowania materiału celem spełnienia standardu WCAG

Zaawansowany e-materiał musi uwzględniać założenia uniwersalnego projektowania w edukacji (UDL) oraz być zgodne ze standardami dostępności cyfrowej WCAG 2.2. na poziomie AA, standardem ATAG 2.0 i zapisami Ustawy o dostępności cyfrowej stron internetowych i aplikacji mobilnych podmiotów publicznych z dnia 4 kwietnia 2019 roku. Powinno też uwzględniać dobre praktyki, stosowane w celu zapewnienia wysokiej jakości dostępnych cyfrowo materiałów edukacyjnych.

Użytkownik ze szczególnymi potrzebami, korzystający z przygotowanego zaawansowanego e-materiału multimedialnego, powinien korzystać z mechaniki materiału (menu nawigacyjnego) w taki sam sposób, jak wszyscy użytkownicy. Należy przygotować menu, w którym wybiera on dostosowania materiału do swoich potrzeb. W ramach wybranych dostosowań multimedialnego materiału użytkownik powinien korzystać ze wszystkich zaprojektowanych funkcjonalności. Zaawansowany e-materiał powinien spełniać kryteria dostępu dla technologii dotykowych (np. ekranów dotykowych), dostępności z poziomu klawiatury czy za pomocą zewnętrznych urządzeń wejściowych (np. mysz powiększona), technologii asystujących (np. czytniki ekranu).

Zaawansowany e-materiał powinien spełniać następujące kryteria:

1. umożliwiać użytkownikowi z różnymi potrzebami korzystającemu z ułatwień dostępu na wszystkich poziomach i etapach materiału;
2. posiadać instrukcję dla użytkowników z różnymi potrzebami, zawierającą informacje o sposobie korzystania z ułatwień dostępu i mechanizmach poruszania się po menu;
3. posiadać rozwiązania z zakresu dostępności, które pozwalają uniknąć QTE lub działań związanych z łączeniem przycisków (uwzględnia ustawienie pozwalające je uprościć lub pominąć/wyłączyć);
4. umożliwiać korzystanie z wirtualnej klawiatury ekranowej, którą można sterować za pomocą myszy lub technologii wspomagających, takich jak wzrok lub



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



- przełącznik;
5. wszystkie treści w materiale powinny być przedstawione za pomocą tzw. prostego języka;
 6. użytkownik przed skorzystaniem z zaawansowanego e-materiału powinien zapoznać się tutorialiem objaśniającym, jak korzystać z ułatwień dostępu;
 7. mieć możliwość korzystania z pomocy w sytuacjach potencjalnie trudnych, związanych z poruszaniem się po materiale;
 8. mechanika zaawansowanego e-materiału powinna pozwalać na dostęp do wszystkich obszarów interfejsu użytkownika;
 9. zaawansowany e-materiał powinien być dostępny za pomocą technologii asystujących, m.in. czytników ekranu, oprogramowania asystującego w technologiach mobilnych.

Jeżeli w materiale będą występowały treści nieinterpretowalne, wykonawca zobowiązany jest zapewnić alternatywę wchodzącą w e-materiał i stanowiącą integralną całość zaawansowanego e-materiału. Bez konsultacji z ekspertami ORE nie dopuszcza się tworzenia alternatywnego (równoległego rozwiązania) dedykowanego osobom z różnymi potrzebami.

W przypadku specyficznego typu aplikacji jaką jest VR dopuszcza się możliwość zaproponowania alternatywnego rozwiązania, które nie wymaga zakładania okularów i uwzględnia wszystkie typy niepełnosprawności. Możliwe jest np. przygotowanie rozwiązania opartego o aplikację dźwiękową dla niewidomych, aplikację graficzną i dźwiękową dostosowaną dla słabowidzących lub inną uwzględniającą zaburzenia neurologiczne.

Zaawansowany e-materiał musi uwzględniać między innymi potrzeby osób:

- z ograniczeniami wzroku,
- z ograniczeniami słuchu,
- z ograniczeniami ruchu rąk i mobilności,
- z ograniczeniami możliwości poznawczych (związanymi z np. pamięcią, przetwarzaniem informacji, dysleksją),
- z zaburzeniami neurorozwojowymi i psychicznymi (np. spektrum autyzmu, ADHD, stanami lękowymi, epilepsją),
- z zaburzeniami mowy,
- korzystających z czytników ekranu.

Podczas projektowania e-materiału należy uwzględniać różne potrzeby i możliwości użytkowników ze względu na:

Ograniczenia wzroku:

- stosowanie dobrze kontrastujących kolorów, czytelnych rozmiarów i typów fontów, możliwość zmiany i indywidualnego dopasowania przez użytkownika tych elementów;
- stosowanie zawsze widocznego fokusa (przynajmniej częściowo);
- używanie kombinacji koloru, kształtów i tekstu, niestosowanie znaczenia tylko kolorem;
- umieszczanie przycisków i powiadomień w kontekście;
- stosowanie odpowiedniej wielkości, kolorów i rozmieszczenia elementów interfejsu;
- umożliwienie zmiany kolorów dla osób będących daltonistami;
- umożliwienie zmiany wielkości elementów interfejsu;
- używanie dźwięku przestrzennego i rozróżnialnych dźwięków, różnych w zależności od zdarzeń;



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



- umożliwienie wyboru wyglądu kursora/celownika, zmiany kształtu, wielkości, koloru, jeśli projektowana mapa interaktywna zakłada bardzo dużo obiektów;
- wyświetlanie istotnych informacji w centrum, na linii wzroku lub możliwość powiększania całości, poszczególnych elementów mapy interaktywnej;
- nawigacja i sterowanie za pomocą klawiatury;
- stosowanie tekstów alternatywnych lub audiodeskrypcji do grafik;
- elementy materiału powinny być duże i łatwe do odróżnienia oraz oddalone od siebie;
- dodanie opisów alternatywnych do obrazów i innych elementów wizualnych, które opisują treści lub funkcje;
- stosowanie dużego kontrastu między istotnymi elementami w materiale;
- użytkownicy niewidomi powinni móc skorzystać z każdej funkcjonalności materiału z poziomu klawiatury.

Ograniczenia słuchu:

- stosowanie prostego języka, niestosowanie figur stylistycznych i idiomów;
- zapewnienie alternatywy tekstowej każdej kluczowej informacji dźwiękowej;
- dodanie napisów i transkrypcji do treści audio i wideo;
- możliwość modyfikacji napisów, zmiana rozmiaru/koloru oraz ich włączania i wyłączania zanim pojawi się dźwięk;
- stosowanie napisów rozszerzonych informujących o dodatkowych dźwiękach i nastroju oraz postaci mówiących;
- stosowanie prostych logicznych i spójnych układów treści;
- zapewnienie możliwości osobnej regulacji dźwięku dla różnych elementów multimedialnych w mapie interaktywnej;
- zastosowanie przełącznika dźwięku mono/stereo w materiałach filmowych i audio (jeśli takie się pojawiają w zaawansowanym materiale).

Ograniczenia ruchu rąk i mobilności:

- umożliwienie w menu materiału ustawienia dużych obszarów klikalnych;
- projektowanie obsługi za pomocą klawiatury i mowy;
- unikanie tworzenia dynamicznych treści, wymagających dużego ruchu myszy;
- nieograniczanie czasu otwarcia okien, wykonania zadań;
- zapewnienie alternatywy dla akcji, wymagających równoczesnych czynności (np. klik zamiast przeciągnij i upuść);
- zapewnienie sterowania przy użyciu prostych kontrolerów.
- unikanie stosowania bardzo precyzyjnych ruchów.

Ograniczenia poznawcze oraz zaburzenia neurorozwojowe i psychiczne:

- używanie prostych, stonowanych barw;
- używanie prostego języka, bez stosowania figur stylistycznych i idiomów;
- używanie krótkich zdań i punktowania;
- używanie wyjaśnienia skrótów;
- tworzenie opisowych przycisków;
- budowanie prostych i spójnych układów treści;
- wyrównanie tekstów do lewej i zachowanie spójnego układu;
- niestosowanie dużych bloków ciężkiego tekstu;
- niestosowanie podkreślania słów, niepochylania tekstu i pisania wielkimi literami;



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



- umożliwienie zmiany kontrastu pomiędzy tłem a tekstem;
- niestosowanie ograniczenia czasowego na wykonanie zadania;
- niestosowanie presji czasowej lub związanej z możliwością wykonania tylko jednej próby wykonania zadania.

Ograniczenia związane z korzystaniem z czytników ekranów:

- opisywanie obrazów, stosownie transkrypcji, audiodeskrypcji;
- nieumieszczanie informacji tylko na obrazie lub wideo;
- nadawanie struktury treści i nieoznaczanie jej tylko rozmiarem i rozmieszczeniem tekstu;
- stosowanie liniowego logicznego układu;
- umożliwienie sterowania za pomocą klawiatury;
- tworzenie opisowych łączy.

Powyższe wytyczne są jedynie przykładami potrzeb, jakie powinny zostać spełnione przy projektowaniu zaawansowanego e-materiału. Beneficjent konkursowy powinien zapewnić możliwie największą dostępność dla osób z różnymi potrzebami. Rozwiązania związane z zapewnieniem dostępności osobom z różnymi potrzebami Beneficjent konkursowy powinien konsultować z ekspertami ORE na poszczególnych etapach realizacji projektu konkursowego.

5. Wymagania funkcjonalne i techniczne

Kluczowe warunki funkcjonalne dla Wykonawców

Aplikacja musi spełniać wymagania określone w dokumencie „Ogólne wymagania funkcjonalne i techniczne dla e-materiałów”.

1. Poruszanie się w przestrzeni VR:

- Użytkownik może przemieszczać się w VR na dwa sposoby:
 - teleportacja – pozwala na szybkie przemieszczanie się między punktami eksperymentu.
 - swobodne poruszanie (joystick) – zapewnia pełną eksplorację przestrzeni.
- W zależności od posiadanego wyposażenia, użytkownik może wybierać odpowiedzi w quizach za pomocą:
 - spojrzenia (przytrzymanie wzroku na opcji przez 2 sekundy)
 - kliknięcia kontrolerem VR.
 - w niektórych zadaniach interaktywnych użytkownik przeciąga obiekty i ustawia je zgodnie z poleceniem.

2. Realistyczna symulacja grawitacji i oddziaływań grawitacyjnych:

- **Interaktywne modele 3D:** Użytkownicy muszą mieć możliwość manipulowania masami oraz odległościami w przestrzeni 3D, aby obserwować efekty oddziaływań grawitacyjnych, takie jak siła przyciągania i formowanie orbit.
- **Wizualizacja pola i sił grawitacyjnych:** Symulacja powinna przedstawiać wektory sił oraz studnie potencjału grawitacyjnego, co umożliwia lepsze zrozumienie koncepcji pola grawitacyjnego.
- **Uczeń może regulować szybkość symulacji,** aby analizować długoterminowe zmiany w układach grawitacyjnych.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



3. **Nawigacja i eksploracja przestrzeni grawitacyjnej:**
 - **Symulacje układów planetarnych i zjawisk kosmicznych:** Aplikacja musi umożliwiać użytkownikom tworzenie oraz analizowanie układów planetarnych i obserwację trajektorii ciał niebieskich w polu grawitacyjnym.
 - **Symulacja zjawisk ekstremalnych:** Użytkownicy powinni mieć możliwość obserwacji takich zjawisk, jak zbliżanie się do czarnych dziur, asysta grawitacyjna, oraz ruch sond kosmicznych, aby lepiej zrozumieć działania ekstremalnych sił grawitacyjnych.
4. **System wsparcia i podpowiedzi:**
 - **System podpowiedzi i wskazówek:** Aplikacja powinna zawierać interaktywny system pomocy, który udostępnia wskazówki kontekstowe dostępne w formie przycisków lub gestów (w VR).
 - **Pomoc kontekstowa przy symulacjach:** W każdej symulacji mają być dostępne informacje wyjaśniające, jak używać różnych elementów i zmieniać parametry.
5. **System analizy działań i podpowiedzi:**

Aplikacja analizuje działania użytkownika i reaguje na błędne interakcje:

 - Jeśli użytkownik wykona błędne działanie dwukrotnie, pojawia się ogólna wskazówka.
 - Jeśli błąd powtarza się trzeci raz, wyświetla się szczegółowa podpowiedź sugerująca poprawny sposób działania.
 - System podpowiedzi można wyłączyć w opcjach, aby zwiększyć poziom trudności.
6. **Scenariusze edukacyjne i poziomy trudności:**
 - **Zróżnicowane scenariusze tematyczne:** Symulacje muszą obejmować scenariusze takie jak „Zjawisko spadku swobodnego,” „Ruch po orbicie kołowej,” „Oddziaływanie grawitacyjne między ciałami,” oraz „Grawitacja w teorii względności.”
 - **Dostosowywanie poziomu trudności:** Każdy scenariusz powinien oferować różne poziomy trudności, które można dostosować do wiedzy i umiejętności użytkownika. Nauczyciel powinien mieć możliwość wyboru poziomu dla uczniów oraz dostosowania parametrów do potrzeb edukacyjnych.
7. **Personalizacja przez nauczyciela:**
 - **Konfiguracja poziomu trudności i parametrów:** Nauczyciel powinien mieć możliwość konfigurowania poziomu trudności, czasu trwania symulacji oraz wartości parametrów, takich jak masa ciał i dystanse, aby dostosować symulację do poziomu grupy.
 - **Wybór scenariuszy i tworzenie ścieżek edukacyjnych:** Nauczyciel musi mieć możliwość wyboru lub układania sekwencji scenariuszy tematycznych, aby stworzyć spersonalizowane ścieżki edukacyjne dla uczniów.
 - **Nauczyciel może ograniczyć dostęp do zaawansowanych scenariuszy dla młodszych uczniów.**
 - **Nauczyciel może modyfikować parametry scenariuszy** oraz dostosowywać poziom trudności. W przyszłości może zostać dodana funkcja tworzenia własnych scenariuszy poprzez edytor ćwiczeń.
8. **Monitorowanie i obserwacja pracy ucznia:**
 - Aplikacja powinna umożliwiać nauczycielowi obserwację działań ucznia na monitorze, gdy uczeń pracuje w trybie VR. Widok na monitorze powinien odzwierciedlać działania ucznia, co pozwoli nauczycielowi wspierać i analizować postępy uczniów w nauce.



- Aplikacja powinna zawierać funkcję, która umożliwia nauczycielom bieżące monitorowanie postępów uczniów, szczególnie w zakresie wyników interakcji z symulacjami. Wyniki powinny być przechowywane i dostępne w formie raportów z podsumowaniem osiągnięć i zrealizowanych celów edukacyjnych.
9. **Przycisk przełączania trybu VR:**
- Aplikacja powinna umożliwiać użytkownikowi łatwe przejście między trybem standardowym a VR. Na ekranie startowym oraz w trakcie pracy powinien być dostępny przycisk przełączający tryb.
10. **Testy wiedzy i ocena postępów:**
- **Testy i zadania interaktywne:** Po zakończeniu symulacji lub na życzenie użytkownika, aplikacja powinna oferować zadania sprawdzające, które obejmują pytania dotyczące symulacji, zrozumienia wyników oraz wpływu różnych parametrów.
 - **Raporty z wynikami:** Użytkownik po zakończeniu rozgrywki powinien mieć możliwość zapoznania się z wynikami, a nauczyciel dostęp do raportów, które pozwalają na analizę osiągnięć ucznia. Raporty wyników mogą być eksportowane do plików CSV/PDF, umożliwiając nauczycielowi analizę postępów uczniów.
11. **Narracja i multimedia:**
- Aplikacja powinna zawierać opcję narracji audio, która opisuje przebieg symulacji i przedstawia kluczowe informacje edukacyjne. W filmach instruktażowych i narracyjnych mają być dostępne napisy.

Kluczowe warunki techniczne dla Wykonawców

Aplikacja musi spełniać wymagania określone w dokumencie „Ogólne wymagania funkcjonalne i techniczne dla e-materiałów”.

Raportowanie i analiza postępów:

- **Generowanie raportów dla nauczycieli:** Aplikacja powinna zawierać mechanizmy raportowania, umożliwiające nauczycielom analizę postępów i wyników uczniów.
- **Podsumowanie wyników dla użytkowników:** Po zakończeniu symulacji użytkownik powinien mieć możliwość przejrzenia swoich wyników, co wspiera proces nauki.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską

