

Sustav za učenje o kemijskim reakcijama temeljen na virtualnoj stvarnosti

Martinović, Lorena

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:085792>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 435

**SUSTAV ZA UČENJE O KEMIJSKIM REAKCIJAMA
TEMELJEN NA VIRTUALNOJ STVARNOSTI**

Lorena Martinović

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 435

**SUSTAV ZA UČENJE O KEMIJSKIM REAKCIJAMA
TEMELJEN NA VIRTUALNOJ STVARNOSTI**

Lorena Martinović

Zagreb, lipanj 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 435

Pristupnica: **Lorena Martinović (0036527388)**
Studij: Računarstvo
Profil: Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi
Mentor: prof. dr. sc. Ivica Botički

Zadatak: **Sustav za učenje o kemijskim reakcijama temeljen na virtualnoj stvarnosti**

Opis zadatka:

U okviru diplomskog rada potrebno je razviti sustav za učenje o kemijskim reakcijama temeljen na virtualnoj stvarnosti koji je prilagođen učenicima osnovne škole. Sustav učenicima omogućuje interaktivno iskustvo učenja kroz eksperimentiranje s različitim kemijskim reakcijama. Virtualna stvarnost pruža imerzivno iskustvo u kojem učenici mogu promatrati, eksperimentirati i razumjeti različite kemijske reakcije na dinamičan način. Kroz ovu simulaciju u virtualnom svijetu, učenici će moći pratiti promjene agregatnih stanja tvari, promatrati kemijske reakcije u realnom vremenu te istraživati utjecaj različitih čimbenika na rezultate reakcija. Kroz interaktivne zadatke i izazove, učenici će steći dublje razumijevanje kemijskih pojmova i procesa. Uz implementaciju sustava temeljenog na virtualnoj stvarnosti, važno je voditi računa o pedagoškim principima kako bi se osiguralo obrazovnu vrijednost i potaklo aktivno učenje.

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2024.

Sadržaj

1. Uvod	3
2. Teorijski okvir	4
2.1. Virtualna stvarnost u obrazovanju	4
2.2. Prednosti VR-a u učenju	4
2.3. Kemijske reakcije u obrazovnom kontekstu	8
3. Alati i tehnologije	10
3.1. Unity alat	10
3.2. Hardverski zahtjevi	12
3.3. Softverski zahtjevi	14
4. Dizajn	16
4.1. Specifikacija sustava	16
4.1.1. Funkcionalni zahtjevi	16
4.1.2. Nefunkcionalni zahtjevi	16
4.2. Korisničko iskustvo	17
4.3. Pedagoški principi	17
5. Implementacija	19
5.1. Razvoj u Unityju	19
5.2. Integracija kemijskih reakcija	20
6. Rezultati	22
6.1. Glavni izbornik	22
6.2. Igra <i>pH Scale</i>	23
6.2.1. Opis	23

6.2.2. Cilj	24
6.2.3. Funkcionalnosti	25
6.3. Igra <i>Reactions</i>	30
6.3.1. Opis	30
6.3.2. Cilj	32
6.3.3. Funkcionalnosti	32
6.4. Igra <i>Atom Structure</i>	39
6.4.1. Opis	39
6.4.2. Cilj	39
6.4.3. Funkcionalnosti	40
7. Zaključak	48
Literatura	50
Sažetak	53
Abstract	54

1. Uvod

Virtualna stvarnost (VR) predstavlja jednu od najsuvremenijih tehnologija koja omogućuje stvaranje imerzivnih, trodimenzionalnih okruženja. Ova tehnologija se sve više primjenjuje u različitim područjima, uključujući obrazovanje, gdje pruža nove mogućnosti za interaktivno i iskustveno učenje. VR omogućuje korisnicima da na dinamičan i angažiran način istražuju složene koncepte, čineći učenje zanimljivijim i učinkovitijim.

U okviru ovog diplomskog rada, cilj je razviti sustav za učenje o kemijskim reakcijama temeljen na virtualnoj stvarnosti, prilagođen učenicima osnovne škole. Ovaj sustav omogućit će učenicima interaktivno iskustvo učenja kroz eksperimentiranje s različitim kemijskim reakcijama. Virtualna stvarnost pruža imerzivno iskustvo u kojem učenici mogu promatrati, eksperimentirati i razumjeti različite kemijske promjene na dinamičan način.

Glavni izbornik sustava omogućava korisnicima odabir između tri različite igre koje se fokusiraju na različite aspekte kemije: *pH Scale*, *Reactions* i *Atom Structure*. Svaka od ovih igara pruža specifične funkcionalnosti i interaktivne elemente koji pomažu učenicima u učenju kroz igru i eksperimentiranje. Svaka igra dizajnirana je da kombinira zabavu i edukaciju, čineći proces učenja pristupačnijim i zanimljivijim za mlađe učenike.

Razvoj ovog VR sustava obuhvaća nekoliko ključnih faza: specifikaciju i dizajn sustava, razvoj u Unity alatu, te integraciju kemijskih reakcija i interaktivnih elemenata. Kroz detaljno planiranje i implementaciju, cilj je stvoriti edukativni alat koji će učenicima omogućiti bolje razumijevanje kemijskih reakcija kroz interaktivno i iskustveno učenje.

2. Teorijski okvir

2.1. Virtualna stvarnost u obrazovanju

Virtualna stvarnost (VR) kao tehnologija razvija se od sredine 20. stoljeća, no svoj pravi zamah doživljava tek posljednjih nekoliko desetljeća. Prvi koncepti VR-a pojavili su se 1960-ih godina s uređajima poput Sensorama, koji je pružao simulirano iskustvo vožnje motocikla, i Head-Mounted Display (HMD) sustavima kao što je uređaj koji je razvio Ivan Sutherland 1968. godine. Ovi rani uređaji bili su prilično primitivni u usporedbi s današnjim standardima, no postavili su temelje za budući razvoj VR tehnologije.

Razvoj VR-a u obrazovnim okruženjima počinje krajem 20. stoljeća s prvim primjenama u simulacijama i treninzima, posebno u području vojne i medicinske obuke. S razvojem računalne grafike i smanjenjem troškova hardvera, VR tehnologija postaje pristupačnija i šire se njezine primjene. Početkom 2000-tih, VR se počinje koristiti u učionicama za različite obrazovne svrhe, od znanstvenih simulacija do povijesnih rekonstrukcija. Danas, VR u obrazovanju obuhvaća širok spektar primjena, od osnovnoškolskog obrazovanja do visokog obrazovanja i specijaliziranih treninga. Napredak u tehnologijama poput Unity alata omogućuje razvoj složenih, interaktivnih VR aplikacija koje mogu značajno poboljšati način na koji učenici uče i razumiju složene koncepte [1].

2.2. Prednosti VR-a u učenju

Korištenje virtualne stvarnosti (VR) u obrazovanju predstavlja revolucionarni pomak u načinu na koji pristupamo učenju i poučavanju. Ova tehnologija nudi brojne prednosti u odnosu na tradicionalne metode, čineći proces učenja dinamičnijim, pristupačnijim i prilagodljivijim individualnim potrebama učenika.



Slika 2.1. VR u obrazovanju

Virtualna stvarnost stvara potpuno imerzivno okruženje koje može učenike duboko angažirati. Ova razina angažmana nadilazi tradicionalne metode poučavanja, omogućujući učenicima da se osjećaju kao da su dio materijala koji uče. VR hvata njihovu pažnju stavljajući ih u središte akcije. Na primjer, umjesto da samo čitaju o povijesnom događaju, učenici ga mogu "doživjeti" iz prvog lica, što dramatično povećava njihovu zainteresiranost i angažiranost [2].

Motivacija je ključna za uspjeh u učenju, a VR može motivirati učenike pretvarajući učenje u igru. Kroz gamifikaciju i interaktivne elemente, VR može učiniti i najdosadnije teme uzbudljivim avanturama, potičući učenike da istražuju i uče više. Imerzivno iskustvo također može stvoriti emocionalnu povezanost s učenjem. Emocije igraju važnu ulogu u pamćenju i zadržavanju informacija, a VR može pobuditi snažne emocije koje pomažu učenicima da bolje zapamte što su naučili.

Jedna od najznačajnijih prednosti VR-a u obrazovanju je sposobnost omogućavanja interaktivnog učenja. Umjesto pasivnog slušanja predavanja, učenici mogu aktivno sudjelovati u procesu učenja. VR omogućuje sudjelovanje u simulacijama i virtualnim eksperimentima koji repliciraju stvarne situacije. Na primjer, studenti medicine mogu

vježbati kirurške zahvate u virtualnom okruženju, stječući praktične vještine bez rizika za pacijente 2.2. Učenici mogu manipulirati objektima u VR-u kako bi bolje razumjeli koncepte; učenici fizike mogu eksperimentirati s različitim silama i kretanjima kako bi vidjeli kako zakoni fizike djeluju u praksi. VR također može simulirati složene probleme koje učenici moraju riješiti u stvarnom vremenu, razvijajući njihove analitičke i kritičke vještine, što je posebno korisno u disciplinama kao što su inženjering i računalne znanosti [3].



Slika 2.2. Medicinski studenti koriste VR za kiruršku praksu

Virtualna stvarnost nudi moćne alate za vizualizaciju koji mogu pomoći učenicima da bolje razumiju složene i apstraktne koncepte 2.3. Vizualizacija u VR-u može biti ključna za područja koja zahtijevaju duboko razumijevanje složenih sustava i procesa. VR omogućuje stvaranje trodimenzionalnih modela koji učenicima pružaju novi uvid u apstraktne koncepte. Na primjer, studenti biologije mogu proučavati 3D modele ljudskog tijela ili stanica, što im omogućuje detaljno istraživanje i razumijevanje bioloških struktura [4]. VR može prikazati dinamične procese, kao što su kemijske reakcije ili kretanje tektonskih ploča, u realnom vremenu, omogućujući učenicima da vide kako se procesi odvijaju i kako različiti elementi međusobno djeluju [5]. U područjima kao što su povijest i arheologija, VR može rekonstruirati povijesne događaje ili mjesta, omogućujući učenicima da "prošetaju" kroz povijest i dožive prošle ere na način koji nije moguć kroz tradicionalne metode poučavanja [6].

Jedna od najvažnijih prednosti VR-a u obrazovanju je pružanje sigurnog okruženja za izvođenje eksperimenata i istraživanja. Ovo je posebno korisno u područjima gdje su eksperimenti u stvarnom svijetu skupi, opasni ili tehnički složeni. VR omogućuje izvođenje simulacija opasnih situacija bez ikakvog rizika. Na primjer, studenti kemije mogu eksperimentirati s opasnim kemikalijama u virtualnom laboratoriju, omogućujući učenje bez rizika od ozljeda ili štete. Mnogi stvarni eksperimenti zahtijevaju skupu opremu i resurse, a VR može replicirati ove eksperimente u virtualnom okruženju, smanjujući troškove i omogućujući pristup svim učenicima, bez obzira na financijske resurse škole ili fakulteta. VR također omogućuje izvođenje eksperimenata koji bi inače bili nedostupni zbog tehničkih ograničenja. Na primjer, studenti astronomije mogu istraživati svemir kroz virtualne teleskope, omogućujući im pristup iskustvima koja bi inače bila izvan njihovog dosega.

Personalizacija obrazovanja je jedan od ključnih trendova u modernom obrazovanju, a VR nudi izvanredne mogućnosti za prilagodljivo učenje koje je prilagođeno individualnim potrebama i preferencijama učenika. VR omogućuje učenicima da uče vlastitim tempom, pružajući priliku da ponove lekcije koliko god puta je potrebno dok ne postignu potpuno razumijevanje. Ovo je posebno korisno za učenike s različitim stilovima učenja i sposobnostima. VR aplikacije mogu pružiti trenutne povratne informacije o učenikovom napretku, omogućujući im da odmah isprave pogreške i usmjere se na područja koja zahtijevaju dodatnu pažnju. VR također može prilagoditi sadržaj prema potrebama svakog učenika. Na primjer, učenici s posebnim obrazovnim potrebama mogu imati koristi od VR sadržaja koji je dizajniran da odgovara njihovim specifičnim potrebama, čineći učenje pristupačnijim i učinkovitijim.

Prednosti VR-a nisu ograničene samo na specifične predmete ili razine obrazovanja. Ova tehnologija može biti korisna u širokom spektru obrazovnih konteksta, od osnovne škole do visokog obrazovanja i profesionalne obuke. VR može biti izuzetno koristan alat za mlade učenike, pomažući im da razviju osnovne vještine i razumijevanja kroz igru i interaktivne priče. Na primjer, VR aplikacije mogu pomoći učenicima da uče o prirodnim znanostima kroz virtualne izlete u različite ekosustave. Na sveučilištima i fakultetima, VR može obogatiti kurikulum kroz napredne simulacije i eksperimente. Na primjer, studenti arhitekture mogu koristiti VR za virtualne ture kroz zgrade koje dizajniraju, što



Slika 2.3. 3D model solarnog sustava u VR-u

im omogućuje bolje razumijevanje prostornih odnosa i dizajnerskih koncepata. U profesionalnim okruženjima, VR može pružiti realistične simulacije za obuku zaposlenika u različitim industrijama. Na primjer, piloti mogu koristiti VR simulacije za obuku u uvjetima koji repliciraju stvarne letove, poboljšavajući njihove vještine i sigurnost bez rizika povezanih s pravim letovima.

Virtualna stvarnost u obrazovanju pruža širok spektar prednosti koje mogu značajno poboljšati iskustvo učenja za učenike svih uzrasta i obrazovnih razina. Od imerzivnog iskustva i interaktivnog učenja do sigurne i prilagodljive obuke, VR tehnologija ima potencijal da transformira obrazovanje i učini ga pristupačnijim, učinkovitijim i zanimljivijim za sve.

2.3. Kemijske reakcije u obrazovnom kontekstu

Razumijevanje kemijskih reakcija ključno je za osnovnoškolsko obrazovanje jer postavlja temelje za daljnje proučavanje kemije i drugih prirodnih znanosti. U osnovnoj školi učenici se upoznaju s osnovnim konceptima kemije, uključujući agregatna stanja tvari, osnovne kemijske spojeve i jednostavne reakcije.

Kroz učenje o kemijskim reakcijama, učenici stječu osnovno razumijevanje kemij-

skih pojmova kao što su reaktanti, produkti, katalizatori, egzotermne i endotermne reakcije. Ovi koncepti čine temelj za daljnje proučavanje kemije u višim razredima. Eksperimentiranje s kemijskim reakcijama potiče analitičko razmišljanje i rješavanje problema. Učenici uče kako postaviti hipotezu, provesti eksperiment, analizirati rezultate i izvesti zaključke [7].

Učenjem o kemijskim reakcijama, učenici razvijaju praktične laboratorijske vještine, uključujući sigurno rukovanje kemikalijama, mjerenje i miješanje tvari te bilježenje i analiziranje podataka. Razumijevanje kemijskih reakcija pomaže učenicima da prepoznaju i razumiju kemijske procese u svakodnevnom životu, poput kuhanja, čišćenja, korištenja lijekova i prirodnih fenomena.

Učenje kemije u osnovnoj školi može potaknuti interes za STEM (znanost, tehnologija, inženjerstvo i matematika) područja i karijere. Rana izloženost kemijskim konceptima može inspirirati učenike da nastave obrazovanje i karijeru u znanstvenim disciplinama. Integracija VR tehnologije u učenje kemijskih reakcija može značajno unaprijediti obrazovni proces, čineći ga dinamičnijim, interaktivnijim i učinkovitijim.

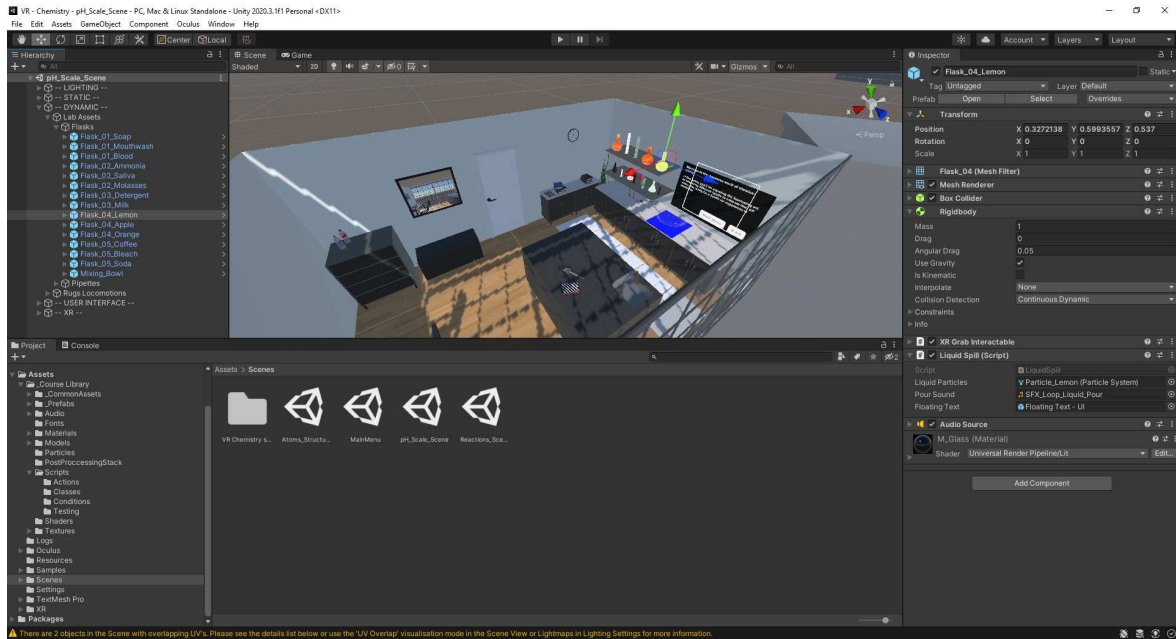
3. Alati i tehnologije

3.1. Unity alat

Unity je jedan od najpopularnijih alata za razvoj igara i interaktivnih 3D aplikacija, uključujući aplikacije za virtualnu stvarnost (VR). Zahvaljujući svojoj pristupačnosti i bogatstvu resursa, Unity omogućuje razvoj složenih, interaktivnih okruženja. Ovaj alat pruža sveobuhvatan set značajki koje podržavaju modularnost, fleksibilnost i široku platformsku kompatibilnost, čime se pozicionira kao nezaobilazan alat u razvoju VR aplikacija i igara. Neke od ključnih značajki Unity alata su:

- **Unity koristi komponentni sustav** gdje se funkcionalnosti dodaju objektima putem komponenti. Ovo omogućuje modularan i fleksibilan pristup razvoju. Svaki objekt može imati više komponenti koje određuju njegove karakteristike i ponašanje. Na primjer, objekt može imati komponentu za fizičko tijelo koja definira kako se kreće i sudara s drugim objektima, te komponentu za skripte koja dodaje prilagođene funkcionalnosti. Ovaj pristup omogućava jednostavno dodavanje, mijenjanje i ponovnu upotrebu koda, čime se olakšava razvoj kompleksnih sustava [6].
- **Unity podržava razvoj za različite platforme**, uključujući VR uređaje, što olakšava prijenos aplikacija između različitih sustava. Platforme kao što su PC, konzole, mobilni uređaji i VR naočale su podržane unutar jedne razvojne okoline. Ovo znači da se aplikacije mogu lako prilagoditi za različite uređaje bez potrebe za značajnim izmjenama koda. Ova višestruka platformska podrška je posebno korisna za developere koji žele dosegnuti široku publiku ili razvijati aplikacije koje će raditi na različitim vrstama uređaja [8].
- **Unity Editor** koji je prikazan na slici 3.1., pruža vizualno sučelje za uređivanje i testiranje aplikacija, što značajno olakšava razvojni proces. Editor omogućuje kre-

iranje i manipulaciju 3D modela, dodavanje tekstura i materijala, postavljanje svjetla i kamera, te integraciju skripti i drugih komponenata. Sve promjene se mogu odmah vidjeti u editoru, što omogućuje brze iteracije i olakšava testiranje aplikacija u stvarnom vremenu. Unity Editor također podržava debugiranje i profiling, što pomaže u identifikaciji i rješavanju problema u aplikacijama [9].



Slika 3.1. Unity Editor

- **Unity ima ugrađeni fizikalni sustav** koji omogućava realistične simulacije fizikalnih pojava. Fizikalni sustav omogućuje simulaciju gravitacije, sudara, sila i drugih fizikalnih interakcija, što je ključno za stvaranje uvjerljivih i interaktivnih okruženja. Na primjer, u edukativnim aplikacijama koje uključuju kemijske reakcije, fizikalni sustav može biti korišten za simulaciju pokreta molekula i interakcija među njima. Ovo ne samo da dodaje realizam aplikacijama, već također može poboljšati korisničko iskustvo čineći ga više intuitivnim i edukativnim [10].
- **Skripte u Unityju pišu se u C# jeziku**, koji je moćan i fleksibilan programski jezik pogodan za razvoj složenih aplikacija. C# omogućuje programerima da precizno kontroliraju ponašanje aplikacija, od osnovnih interakcija do složenih sustava umjetne inteligencije. Pisanje skripti u C# omogućuje dodavanje prilagođenih funkcionalnosti, integraciju s vanjskim API-ima, i upravljanje resursima na efikasan način. Osim toga, Unity-ova integracija s C# omogućuje korištenje širokog spektra biblioteka i alata koji su dostupni za ovaj jezik, čime se dodatno povećava

fleksibilnost i snaga platforme [11].

Tijekom učenja o Unityju, koristila sam njihove tečajeve kao što su *Create with Code* i *Create with VR*. Tečaj *Create with Code* me općenito naučio o korištenju Unityja, kreiranju komponenti i pisanju skripti. Kroz ovaj tečaj, stekla sam temeljno razumijevanje načina na koji Unity funkcionira, uključujući rad s objektima, komponentama i skriptama. Također sam naučila kako kreirati interaktivna iskustva koristeći alate poput fizičkog sustava i sustava animacije. Tečaj *Create with VR* mi je omogućio primjenu tog znanja na VR aplikacije, osposobivši me za integraciju VR funkcionalnosti u moj projekt. Kroz ovaj tečaj, naučila sam kako prilagoditi aplikacije za rad s VR uređajima, uključujući postavljanje kontrolera, praćenje pokreta i prilagodbu korisničkog sučelja za VR. Ovi tečajevi su mi pružili solidnu osnovu za rad u Unityju, omogućujući mi da učinkovito koristim ovu platformu za razvoj vlastitih VR aplikacija [12].

3.2. Hardverski zahtjevi

Za razvoj i testiranje VR sustava koristila sam Oculus Quest 2 VR naočale, 3.2. **Oculus Quest 2** je samostalni VR uređaj koji omogućuje visoku razinu imerzije i interakcije. Razvijen od strane Oculus VR, podružnice Meta Platforms (ranije poznate kao Facebook), ovaj uređaj je predstavljen javnosti 16. rujna 2020. godine. Oculus Quest 2 je dizajniran kako bi korisnicima pružio dostupnu, ali moćnu VR platformu koja ne zahtijeva vanjske senzore ili povezivanje s računalom za osnovno korištenje, što ga čini idealnim za široku primjenu, od zabave do profesionalnih aplikacija.



Slika 3.2. Oculus Quest 2

Kako bih ga mogla koristiti za testiranje i deployanje igara, povezala sam Oculus Quest 2 na računalo putem aplikacije **Meta Quest**. Ovaj postupak mi je omogućio izravno

testiranje aplikacija u stvarnom VR okruženju, što je ključno za osiguranje kvalitete i funkcionalnosti razvijenog sustava [13]. Povezivanje putem Meta Quest Link aplikacije omogućuje korištenje snage računala za pokretanje zahtjevnijih VR aplikacija, čime se poboljšava performansi i kvaliteta prikaza.

Dodatna oprema potrebna za ovaj proces uključuje moćno računalo s visokim performansama za razvoj i testiranje VR aplikacija, uređaje za interakciju s virtualnim okruženjem, poput kontrolera koji se isporučuju s VR naočalama, te link kabel ili sličan uređaj za povezivanje VR naočala s računalom. Ova veza omogućuje prijenos podataka i slike u stvarnom vremenu, čime se osigurava fluidna i realistična VR iskustva [14]. Oculus Quest 2 također nudi prilagodljive remene za udobno nošenje i dugotrajnu bateriju koja omogućuje duže sesije korištenja bez potrebe za čestim punjenjem.

Računalo koje sam koristila za ovaj projekt opremljeno je modernom matičnom pločom MSI B450-A PRO MAX (MS-7B86). Ova matična ploča pruža stabilnu osnovu za sustav, podržavajući napredne procesore i dovoljno memorijskih utora, što je ključno za izvođenje zahtjevnih zadataka povezanih s VR razvojem. Za pohranu podataka koristila sam KINGSTON SA400S37480G SSD kapaciteta 480 GB. Brzi SSD omogućava brzo učitavanje aplikacija i sustava, što je ključno za razvojne aktivnosti i testiranje. Memorija je također ključna komponenta, a moje računalo je opremljeno sa 16 GB DDR4 RAM-a, što omogućava fluidno izvođenje VR aplikacija i multitasking bez usporavanja performansi.

Računalo radi na Windows 10 Pro operativnom sustavu, verzija 22H2, koji pruža široku kompatibilnost s raznovrsnim VR softverom i razvojnih alata, čineći ga idealnim izborom za VR razvoj. Središnji dio mog sustava čini AMD Ryzen 5 3600 procesor sa 6 jezgri i 12 logičkih procesora, radnog takta 3600 MHz. Ovaj procesor je dovoljno snažan za pokretanje zahtjevnih VR aplikacija i razvojnih alata, osiguravajući stabilan i brz rad sustava.

Grafičku obradu preuzela je NVIDIA GeForce GTX 1660 grafička kartica. Ova kartica pruža glatke vizualne prikaze i brzu obradu grafičkih elemenata, što je ključno za ugodno i fluidno VR iskustvo. Kombinacija ovog procesora i grafičke kartice osigurava stabilan i brz rad sustava, što je nužno za učinkovito testiranje i razvoj VR aplikacija.

Ukupno, ovo računalo pruža izvanrednu platformu za VR razvoj i testiranje, omo-

gućujući optimalne performanse i pouzdanost. SSD pogon i dovoljna količina RAM-a dodatno doprinose brzom i responzivnom radu, dok matična ploča osigurava da sve komponente rade u harmoniji. Ovaj sustav omogućava neometan tijek rada i visokokvalitetne rezultate, što je ključno za uspješan razvoj VR aplikacija.

3.3. Softverski zahtjevi

Za razvoj VR sustava koristila sam razne softverske alate i biblioteke, uključujući besplatne i slobodno dostupne asete s Unity Asset Storea. Ovi assets uključuju modele, teksture, skripte i druge resurse koji su mi pomogli u brzom i učinkovitom razvoju aplikacija. Korištenje ovih resursa značajno je skratilo vrijeme razvoja i omogućilo mi fokusiranje na specifične aspekte dizajna i implementacije sustava [15]. Neki od ključnih softverskih alata i biblioteka koje sam koristila uključuju:

Unity Asset Store Platforma koja pruža širok spektar besplatnih i plaćenih asseta za razvoj igara i aplikacija. Unity Asset Store je neprocjenjiv resurs za programere, omogućujući im pristup tisućama besplatnih i plaćenih asseta. Ovi asseti uključuju sve od 3D modela i tekstura do audio zapisa i skripti koje se mogu integrirati u projekt. Korištenje ovih unaprijed pripremljenih resursa značajno smanjuje vrijeme potrebno za razvoj, pružajući programerima mogućnost da se fokusiraju na inovativne i kreativne aspekte svojih projekata [16].

Oculus Integration Integracija Oculus hardvera bila je također ključna za moj projekt. Korištenjem Oculus Integration paketa za Unity, uspjela sam integrirati Oculus Quest 2 VR naočale s mojim razvojnim okruženjem. Ovaj paket uključuje alate i skripte koje omogućuju razvoj i testiranje VR iskustava na Oculus platformi. Kroz Oculus Integration, mogla sam koristiti napredne funkcije poput praćenja pokreta i interakcije s rukama, što je obogatilo VR iskustvo i učinilo ga realističnijim [17].

Visual Studio Visual Studio je bio moj glavni alat za pisanje i uređivanje C# skripti u Unityju. Kao jedno od najmoćnijih razvojnih okruženja, Visual Studio pruža robustan set alata za kodiranje, debugiranje i testiranje aplikacija. Njegova integracija s Unityjem omogućuje brzo i učinkovito uređivanje skripti, što je ključno za razvoj složenih VR aplikacija. Visual Studio također podržava razne dodatke

i ekstenzije koje dodatno poboljšavaju funkcionalnost i olakšavaju rad na velikim projektima [18].

Korištenje ovih alata omogućilo mi je učinkovito razvijanje interaktivnog i edukativnog VR sustava za učenje kemijskih reakcija, osiguravajući pritom visoku kvalitetu i funkcionalnost konačnog proizvoda.

4. Dizajn

4.1. Specifikacija sustava

4.1.1. Funkcionalni zahtjevi

Prvi funkcionalni zahtjev je da sustav mora omogućiti učenicima izvođenje interaktivnih kemijskih eksperimenata. To znači da učenici trebaju imati mogućnost virtualno miješati kemikalije, pokretati reakcije i promatrati rezultate tih reakcija. Vizualizacija kemijskih reakcija je ključna komponenta sustava. Sustav mora prikazivati promjene agregatnih stanja, reakcijske produkte i procese u realnom vremenu, omogućujući učenicima da vide kako se tvari mijenjaju tijekom reakcije. Treći funkcionalni zahtjev je integracija igara. Sustav mora uključivati igre koje pokrivaju različite kemijske koncepte, kao što su *pH Scale*, *Reactions* i *Atom Structure*. Ove igre trebaju biti dizajnirane tako da učenicima omogućuju učenje kroz igru i eksperimentiranje. Sustav također mora pružiti trenutne povratne informacije o napretku učenika. To uključuje obavijesti o ispravnosti ili pogrešnosti njihovih postupaka i savjete za daljnje korake. Osim toga, sustav mora uključivati multimedijalne sadržaje, kao što su audio i video materijali, koji dodatno objašnjavaju kemijske koncepte i pomažu učenicima da bolje razumiju gradivo.

4.1.2. Nefunkcionalni zahtjevi

Performanse sustava moraju biti na visokoj razini, što znači da sustav mora raditi glatko i bez zastoja na ciljanom hardveru, poput Oculus Quest 2. Sustav mora imati jednostavno i intuitivno korisničko sučelje prilagođeno osnovnoškolcima, tako da ga mogu koristiti bez poteškoća. Skalabilnost je također važan nefunkcionalni zahtjev. Sustav mora biti dizajniran tako da omogućuje lako proširenje sadržaja i funkcionalnosti bez značajnih promjena u arhitekturi. Sigurnost je ključna, što znači da sustav mora osigurati sigurno

pohranjivanje podataka učenika i zaštitu njihove privatnosti. Pristupačnost je također važna, pa sustav mora biti dizajniran za širok spektar korisnika, uključujući one s posebnim obrazovnim potrebama.

4.2. Korisničko iskustvo

Korisničko sučelje mora biti jednostavno i intuitivno, s jasnim i razumljivim uputama koje pomažu učenicima da se lako snalaze u aplikaciji. Vizualna privlačnost je također važna. Dizajn treba koristiti svijetle boje, jednostavne grafike i animacije koje privlače pažnju djece i čine imerzivno okruženje zanimljivijim. Angažman i motivacija učenika mogu se postići uključivanjem elemenata igifikacije, kao što su bodovi, nagrade i izazovi, koji potiču učenike da aktivno sudjeluju i napreduju u učenju. Sadržaj i zadaci moraju biti prilagođeni uzrastu učenika, uzimajući u obzir njihove kognitivne sposobnosti. Povratne informacije su ključne za održavanje motivacije i pomaganje učenicima da razumiju svoje napretke i pogreške. Sustav treba omogućiti brze i jasne povratne informacije kroz zvučne i vizualne signale.

4.3. Pedagoški principi

Primjena konstruktivističkog pristupa znači da sustav mora omogućiti učenicima da kroz interaktivne aktivnosti i eksperimente izgrade svoje znanje o kemijskim reakcijama. Učenici trebaju moći istraživati, postavljati hipoteze, provoditi eksperimente i analizirati rezultate. Kolaborativno učenje je također važan pedagoški pristup. Sustav mora omogućiti grupno rješavanje zadataka i dijeljenje rezultata, što potiče učenike na suradnju i razmjenu ideja. Diferencirano učenje omogućava prilagodbu sadržaja prema individualnim potrebama učenika, omogućavajući im napredovanje vlastitim tempom i ponavljanje lekcija po potrebi. Refleksivno učenje uključuje zadatke koji potiču učenike na razmišljanje o onome što su naučili i kako mogu primijeniti to znanje. Aktivno učenje znači da učenici moraju biti aktivni sudionici učenja kroz izvođenje eksperimenata, postavljanje hipoteza i analizu rezultata.

Integracijom ovih principa i zahtjeva, VR sustav za učenje kemijskih reakcija pružit će dinamično, interaktivno i edukativno iskustvo koje potiče djecu na istraživanje i

razumijevanje složenih kemijskih koncepata na zabavan i angažirajući način.

5. Implementacija

5.1. Razvoj u Unityju

Instalacija i postavljanje Unityja Prvi korak u razvoju VR sustava bio je instalacija Unity alata. Preuzela sam i instalirala najnoviju verziju Unityja s njihove službene web stranice. Nakon instalacije, kreirala sam novi projekt i postavila ga za razvoj VR aplikacija. Odabrala sam 3D projekt kako bih mogla koristiti sve potrebne alate i resurse za VR razvoj.

Postavljanje VR okruženja Nakon kreiranja projekta, postavila sam VR okruženje. Dodala sam Oculus Integration paket iz Unity Asset Storea. Ovaj paket uključuje sve potrebne alate i skripte za integraciju Oculus VR uređaja s Unityjem. Nakon instalacije paketa, postavila sam projektne postavke kako bih omogućila VR podršku.

Izgradnja osnovne scene Kreirala sam osnovnu scenu koja će služiti kao početna točka VR iskustva. Dodala sam osnovne objekte kao što su tlo, zidovi i svjetlo. Postavila sam VR kameru u scenu kako bih omogućila pregledavanje iz perspektive korisnika. Dodala sam kontrole za kretanje i interakciju unutar VR okruženja.

Dodavanje kemijskih modela Preuzela sam i dodala modele kemijskih spojeva iz Unity Asset Storea ili ih kreirala sama. Učitala sam modele u scenu i postavila ih na odgovarajuća mjesta. Koristila sam Unityjev fizički sustav za simulaciju interakcija između modela.

Skriptiranje interakcija Koristila sam C# skriptiranje za razvoj interaktivnih elemenata. Kreirala sam skripte koje omogućuju korisnicima da manipuliraju kemijskim modelima, miješaju spojeve i pokreću kemijske reakcije. Koristila sam događaje i

kolizije za detekciju interakcija i reakcija.

Testiranje i optimizacija Redovito sam testirala VR sustav na ciljanom hardveru, kao što je Oculus Quest 2. Provjeravala sam performanse, stabilnost i korisničko iskustvo. Optimizirala sam sustav kako bi radio glatko i bez zastoja. Ispravila sam sve greške i probleme koji su se pojavili tijekom testiranja.

5.2. Integracija kemijskih reakcija

Prvo sam odabrala gradivo kemije koje bi bilo zanimljivo prikazati u VR sustavu. U ovom slučaju, odlučila sam se za kemijske reakcije jer pružaju dinamično i vizualno privlačno iskustvo koje može biti vrlo edukativno za učenike osnovne škole. Sljedeći korak bio je definiranje načina na koji će se ovo gradivo najbolje prikazati kroz igru. Osmislila sam scenarije u kojima učenici mogu eksperimentirati s kemijskim spojevima, promatrati reakcije i učiti kroz interakciju.

Za precizno modeliranje kemijskih reakcija, detaljno sam proučila materijale iz kemije i definirala sva pravila koja se primjenjuju pri svakoj reakciji. Ovo je uključivalo razumijevanje reaktanata, produkata, uvjeta reakcije (kao što su temperatura i tlak) i vizualnih indikatora reakcije kao što su promjene boje i oslobađanje plinova.

Unutar VR sustava, postavila sam osnovne komponente kao što su atomi, molekule i tekućine. Ovi objekti služe kao osnovni elementi s kojima učenici mogu eksperimentirati. Postavljanje je uključivalo dodavanje 3D modela i definiranje njihovih fizikalnih i kemijskih svojstava. Programiranje reakcija obavila sam razvijajući algoritme koji definiraju što se događa kada se određeni spojevi miješaju. Ovi algoritmi prepoznaju reaktante, simuliraju kemijske procese i prikazuju produkte reakcije. Skripte sam pisala u C# jeziku i integrirala ih u Unity kako bi omogućile dinamičku reakciju na korisničke akcije.

Vizualizacija kemijskih reakcija bila je ključna za razumijevanje procesa. Koristila sam animacije, čestice i specijalne efekte kako bih prikazala promjene koje se događaju tijekom reakcije. Na primjer, kada učenik doda reaktante, prikazivala sam promjene boje, oslobađanje plinova ili stvaranje novih tvari. Razvijeni su različiti interaktivni elementi i zadaci kako bi učenici mogli aktivno sudjelovati u učenju:

pH Scale Korisnik može odabrati tekućine s polica i dodavati ih u zdjelu za miješanje. pH vrijednost svake mješavine može se provjeriti s pomoću korisničkog sučelja koje prikazuje trenutne podatke. Korisnik može isprazniti zdjelu pritiskom na gumb "Empty Bowl" i resetirati igru pritiskom na gumb "Reset".

Reakcije Korisnik može uzeti molekulu s postolja reaktanata ili produkata te je smjestiti u odgovarajuću kutiju ispod korisničkog sučelja. Molekula se automatski identificira kada je postavljena u kutiju, a koeficijenti reakcije se ažuriraju na sučelju. Korisnik može smjestiti samo reaktante u kutiju za reaktante i samo produkte u kutiju za produkte. Nakon što se molekula postavi u kutiju, nova molekula se pojavljuje na postolju.

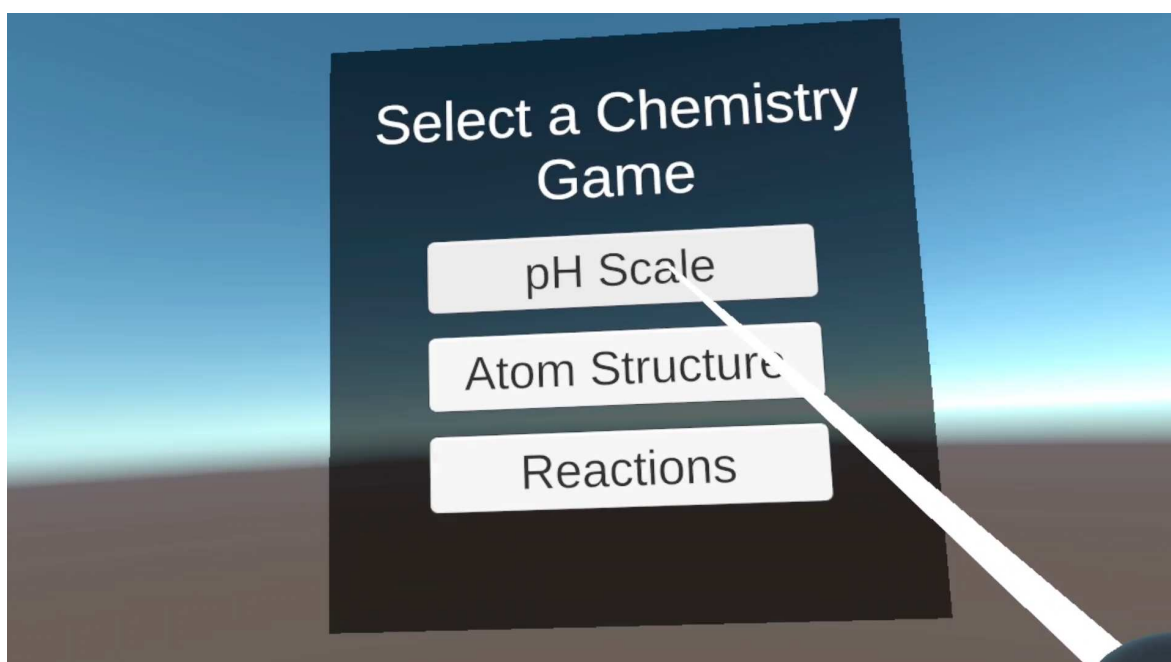
Atom Structure Korisnik može odabrati element s periodnog sustava i prikazati njegovu atomsku strukturu klikom na željeni element. Nakon prikaza strukture atoma, korisnik može koristiti launchere za ispaljivanje subatomske čestice (elektrona, protona, neutrona) kako bi mijenjao strukturu atoma. Svako ispaljivanje subatomske čestice automatski ažurira informacije o atomu na ekrana s desne strane, pružajući korisniku trenutne podatke o promijenjenoj strukturi atoma.

Implementacijom ovih koraka, VR sustav za učenje kemijskih reakcija postat će učinkovit, interaktivan i edukativan alat koji potiče učenike na aktivno učenje i istraživanje složenih kemijskih koncepata.

6. Rezultati

6.1. Glavni izbornik

Glavni izbornik pruža korisniku mogućnost odabira između tri različite igre iz područja kemije 6.1. Svaki gumb označava naziv jedne od igara. Klikom na odabrani gumb, korisnik ulazi u okolinu te odabrane igre. Nakon ulaska u bilo koju od igara, na glavnom početnom korisničkom sučelju igre nalazi se dodatni gumb "Main Menu". Klikom na taj gumb, korisnik se vraća u glavni izbornik, omogućavajući mu ponovni odabir između dostupnih igara.

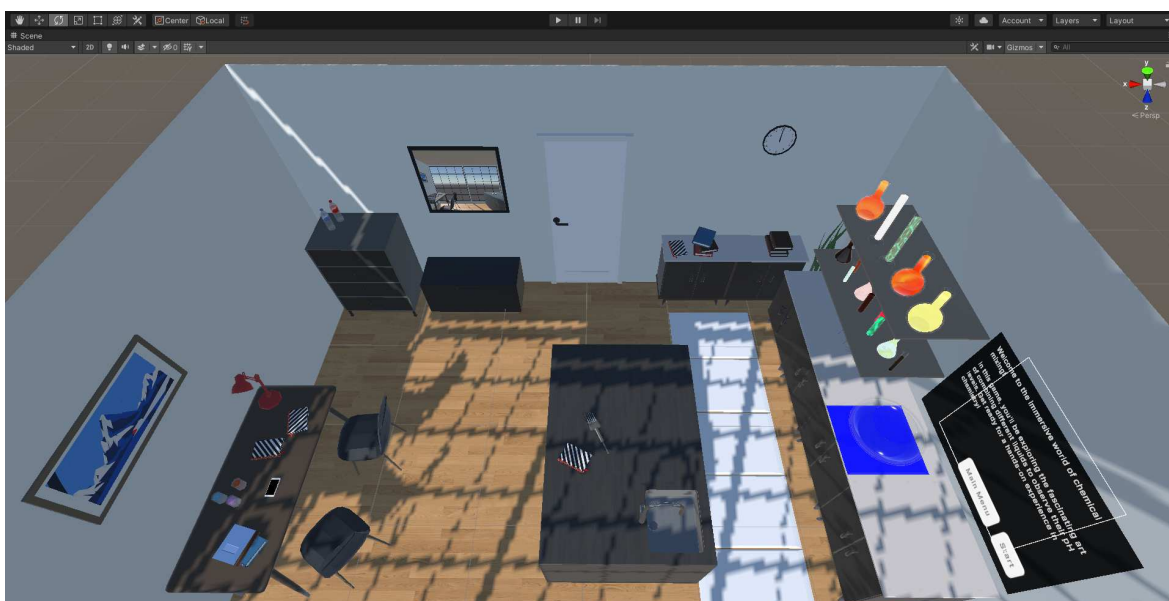


Slika 6.1. Main Menu

6.2. Igra *pH Scale*

6.2.1. Opis

Okolina igre *pH Scale* zamišljena je kao detaljno opremljen laboratorij, bogat interaktivnim elementima koji omogućuju korisnicima da se upute u istraživanje i razumijevanje kemijskih reakcija i pH vrijednosti različitih tvari. Laboratorij je dizajniran s velikom pažnjom na detalje kako bi se što vjernije dočarala atmosfera stvarnog znanstvenog okruženja 6.2.



Slika 6.2. Okolina igre *pH Scale*

Police su ispunjene raznovrsnim tekućinama koje korisnici mogu slobodno odabrati i koristiti. Svaka bočica je pažljivo označena i može sadržavati sve, od obične vode do različitih kiselina i lužina, pružajući širok raspon tvari za eksperimentiranje. Korisničko sučelje igre pruža jasne i precizne upute na engleskom jeziku koje vode korisnika kroz proces eksperimentiranja.

U centru ekrana nalazi se velika zdjela za miješanje tekućina, gdje korisnici mogu kombinirati odabrane tvari. Sučelje je intuitivno, omogućavajući lako dodavanje tekućina u zdjelu putem jednostavnog klika ili povlačenja. Korisnici imaju mogućnost provjeriti pH vrijednost svake mješavine koristeći alat za mjerenje pH vrijednosti integriran u korisničko sučelje. Mjerenje se može obaviti u realnom vremenu, odmah nakon što je mješavina stvorena, omogućavajući korisnicima da brzo i efikasno interpretiraju rezul-

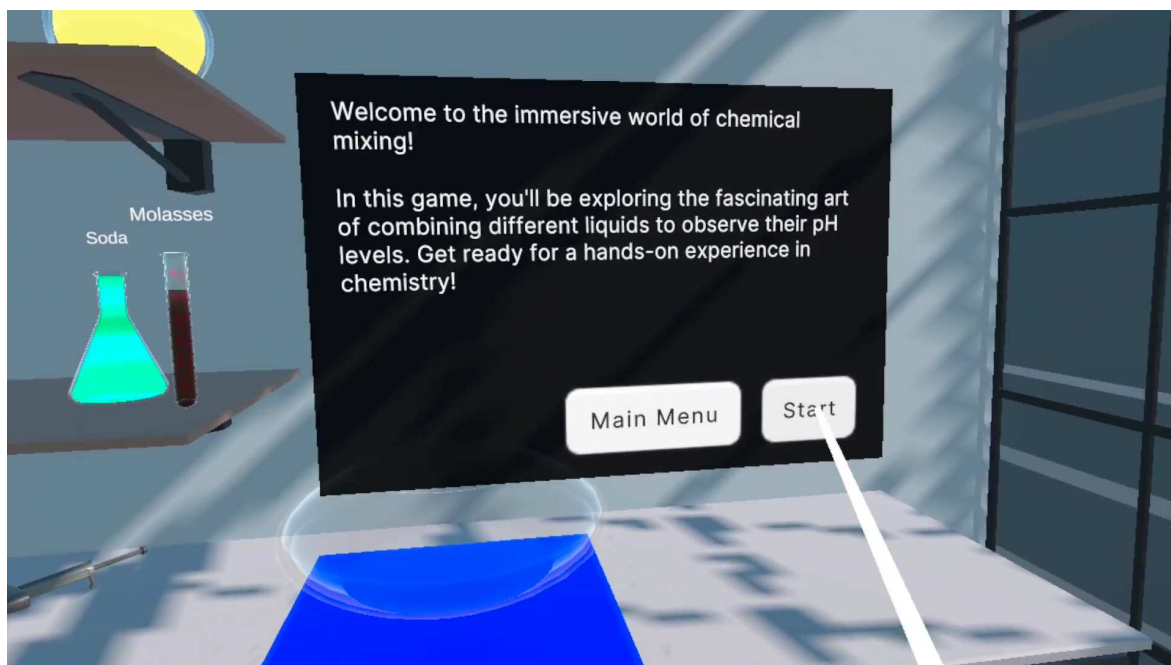
tate svojih eksperimenata.

Kada korisnici žele početi iznova ili isprazniti zdjelu za miješanje, jednostavno mogu koristiti gumb "Empty Bowl" koji trenutno uklanja sve tekućine iz zdjele. Ako žele resetirati cijelu igru i vratiti laboratorij u početno stanje, mogu pritisnuti gumb "Reset".

6.2.2. Cilj

pH skala je osnovni alat za mjerenje kiselosti ili lužnatosti vodene otopine. Ovo je logaritamska skala koja pokazuje koncentraciju vodikovih iona (H^+) u otopini, što pomaže u razumijevanju njenog kemijskog ponašanja. Skala se kreće od 0 do 14, pri čemu vrijednosti od 0 do 6 označavaju kiseline, vrijednosti iznad 7 označavaju baze, dok pH vrijednost 7 predstavlja neutralnu otopinu poput čiste vode.

Igra *pH Scale* ima za cilj educirati korisnike o utjecaju različitih tvari na pH vrijednost otopina. Kroz simulacije stvarnih kemijskih reakcija, korisnici mogu istraživati kako se pH vrijednosti mijenjaju kada se dodaju različite tvari. Ovo omogućava dublje razumijevanje pH skale i njenog raspona, te kako ove promjene utječu na okoliš i svakodnevne kemijske procese.



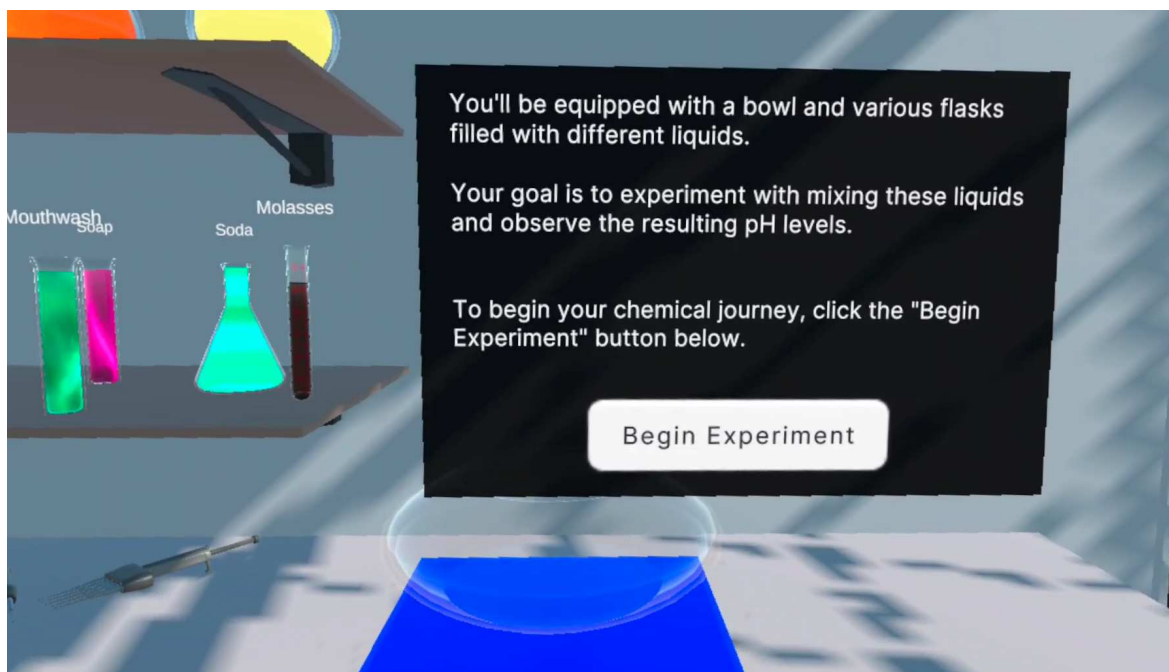
Slika 6.3. Welcome Screen

6.2.3. Funkcionalnosti

Mogućnost interakcije s korisničkim sučeljem

Igra *pH Scale* nudi intuitivno korisničko sučelje koje korisnicima pruža jasne upute i jednostavne kontrole. Sučelje je podijeljeno u četiri glavna stanja koja korisniku pomažu u navigaciji kroz igru:

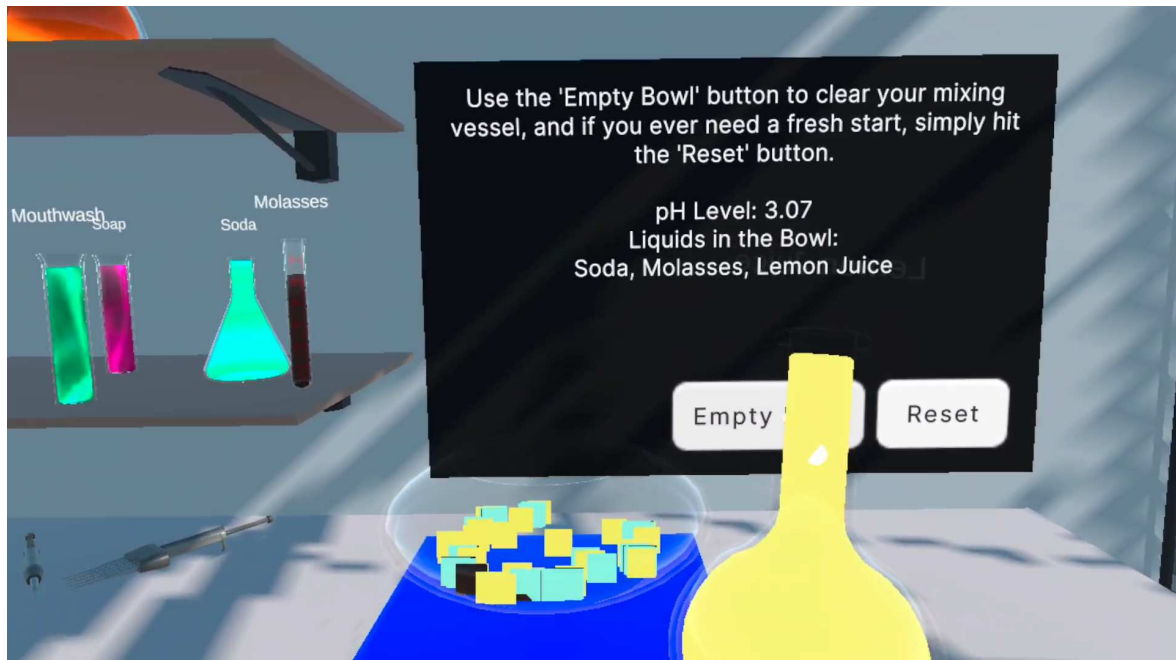
1. **Welcome Screen** - Prvo stanje sučelja prikazuje korisniku uvodni opis zadatka koji treba izvršiti 6.3. Ovo je početna točka gdje korisnik dobiva pregled onoga što će raditi. Klikom na gumb „Start“, korisnik prelazi na sljedeći ekran, spreman za detaljnije upute.
2. **Instructions Screen** - Na ovom ekranu korisnik može pročitati detaljne upute koje objašnjavaju kako koristiti alate za mjerenje pH vrijednosti i koje korake treba slijediti 6.4. Upute su jasne i precizne, osiguravajući da korisnik zna točno kako eksperimentirati s različitim tekućinama. Nakon što korisnik pročita upute, klikom na gumb „Begin Experiment“ prelazi na ekran gdje može započeti eksperiment.



Slika 6.4. Instructions Screen

3. **Experiment Screen** - Ovdje korisnik provodi stvarni eksperiment. Ekran dinamički prikazuje pH vrijednost mješavine u zdjeli, koja se ažurira u stvarnom vre-

menu kako korisnik dodaje tekućine 6.5. Sučelje uključuje i dva ključna gumba: „Empty Bowl“ za pražnjenje zdjele i „Reset“ za vraćanje igre na početno stanje. Ovo omogućuje korisniku da lako upravlja svojim eksperimentom i promatra promjene pH vrijednosti na ekranu.



Slika 6.5. Experiment Screen s prikazanom pH vrijednosti

Mogućnost teleportacije

Ako korisnik želi promijeniti svoj položaj kako bi lakše dohvatio posudu s tekućinom, on može jednostavno klikom na tepih na podu promijeniti svoju poziciju. Ova funkcionalnost omogućava brzu i efikasnu prilagodbu pozicije u laboratoriju, čineći radni proces lakšim i učinkovitijim. Važno je napomenuti da su tepisi ograničeni na određene dijelove laboratorija. Oni se nalaze samo u zonama gdje je dopušteno kretanje, što znači da korisnik ne može promijeniti svoju poziciju u bilo koji dio laboratorija, već samo unutar odobrenih područja. Ovo ograničenje je postavljeno radi sigurnosti i organizacije prostora.

Odabir različitih tekućina s polica

Korisnik može primijetiti širok spektar tekućina raspoređenih na policama unutar laboratorija. Svaka tekućina je jasno označena, omogućujući korisniku da prepozna i odabere željenu tekućinu 6.6. Ove tekućine variraju od uobičajenih tvari poput vode do različitih

kiselina i lužina 6.1.

Tablica 6.1. pH vrijednosti različitih tekućina

Broj	Tekućina	pH vrijednost
1.	Soda (<i>soda</i>)	2.5
2.	Bleach (<i>izbjeljivač</i>)	9
3.	Coffee (<i>kava</i>)	5
4.	Orange Juice (<i>sok od naranče</i>)	3.5
5.	Apple Juice (<i>sok od jabuke</i>)	3.7
6.	Lemon Juice (<i>sok od limuna</i>)	2.3
7.	Milk (<i>mljeko</i>)	6.5
8.	Detergent (<i>deterdžent</i>)	12
9.	Molasses (<i>melasa</i>)	5.8
10.	Saliva (<i>slina</i>)	6
11.	Ammonia (<i>amonijak</i>)	11
12.	Blood (<i>krv</i>)	7.4
13.	Mouthwash (<i>vodica za ispiranje usta</i>)	4.5
14.	Soap (<i>sapun</i>)	10

Svaka tekućina je prikazana sa što realnijom bojom kako bi se olakšalo prepoznavanje, a naziv tekućine je napisan iznad posude. Korisnik može slobodno uzeti bilo koju posudu s police i vratiti je na njezino mjesto ako želi odabrati drugu tvar. Ova funkcionalnost omogućuje fleksibilnost u eksperimentiranju i istraživanju različitih kemijskih reakcija. Modeli korištenih posuda su iz Unity asseta "Free Laboratory Pack" od "Storm-Bringer Studios".



Slika 6.6. Polica s tekućinama

Mjerenje pH vrijednosti mješavine u zdjeli

Mjerenje pH vrijednosti mješavine u zdjeli uključuje nekoliko koraka i mehanizama koji osiguravaju precizno i dinamično praćenje pH vrijednosti dok se različite tekućine dodaju u zdjelu.

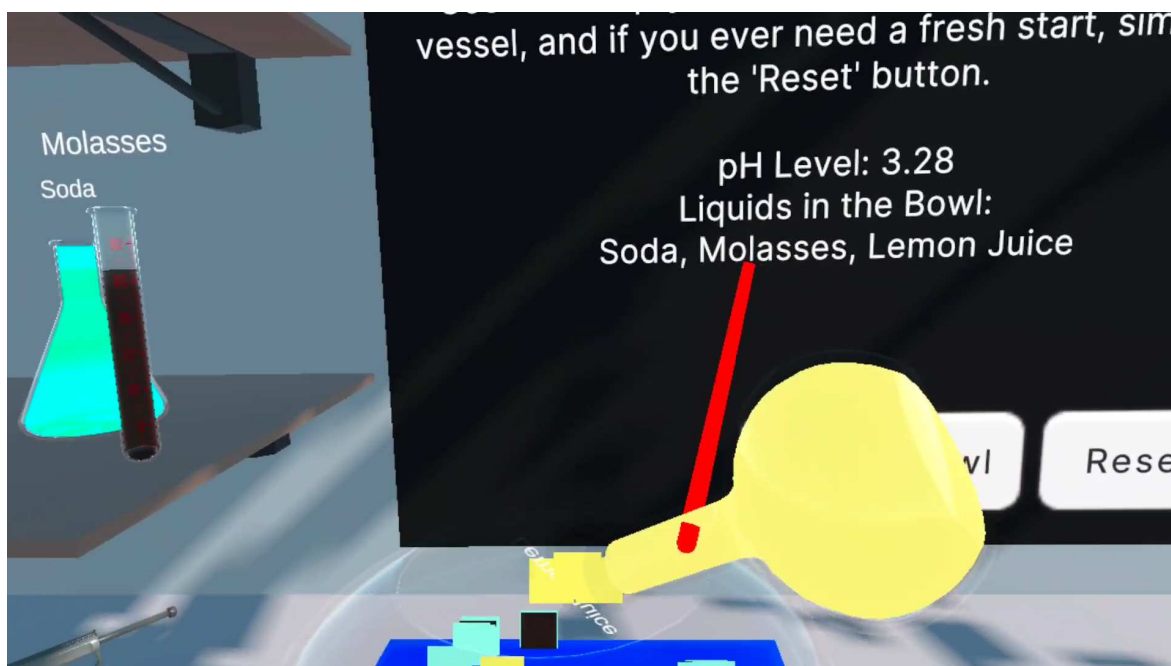
Sve počinje odabirom kemijske boce s određenom tekućinom. Kada korisnik odabere bocu, on može početi proces izlivanja tekućine u zdjelu za miješanje. Ovo izlivanje simulira se nagnjanjem boce. Kada se boca nagne, tekućina počinje teći prema otvoru boce i izljevati se u zdjelu:

```
if (isGrabbed)
{
    // Check the controller's rotation to determine if it is leaning
    // towards the floor
    Vector3 controllerRotation = grabInteractable.selectingInteractor.
        transform.rotation.eulerAngles;

    // Adjust the threshold as needed based on your setup
    if ((controllerRotation.x > 45f && controllerRotation.x < 315)
        || (controllerRotation.z > 45f && controllerRotation.z < 315))
    {
        // Trigger particles when leaning towards the floor
        if (!liquidParticles.isEmitting)
        {
            liquidParticles.Play();
            playerAudio.PlayOneShot(pourSound, 1.0f);
        }
    }
    else
    {
        // Stop particles if not leaning enough
        liquidParticles.Stop();
    }
}
```

Kako se boca nagnje nad zdjelom, tekućina počinje teći u obliku malih kvadratića koji simboliziraju pojedinačne čestice tekućine 6.7. Ove čestice ne samo da prikazuju

tok tekućine, već i olakšavaju mjerenja pH vrijednosti.



Slika 6.7. Proces ulijevanja tekućine u zdjelu za miješanje

Kako se više tekućina izlijeva u zdjelu, sustav u igri kontinuirano prati broj i vrstu dodanih čestica. Ovaj proces omogućava automatsko ažuriranje i prikaz prosječne pH vrijednosti mješavine u zdjeli.

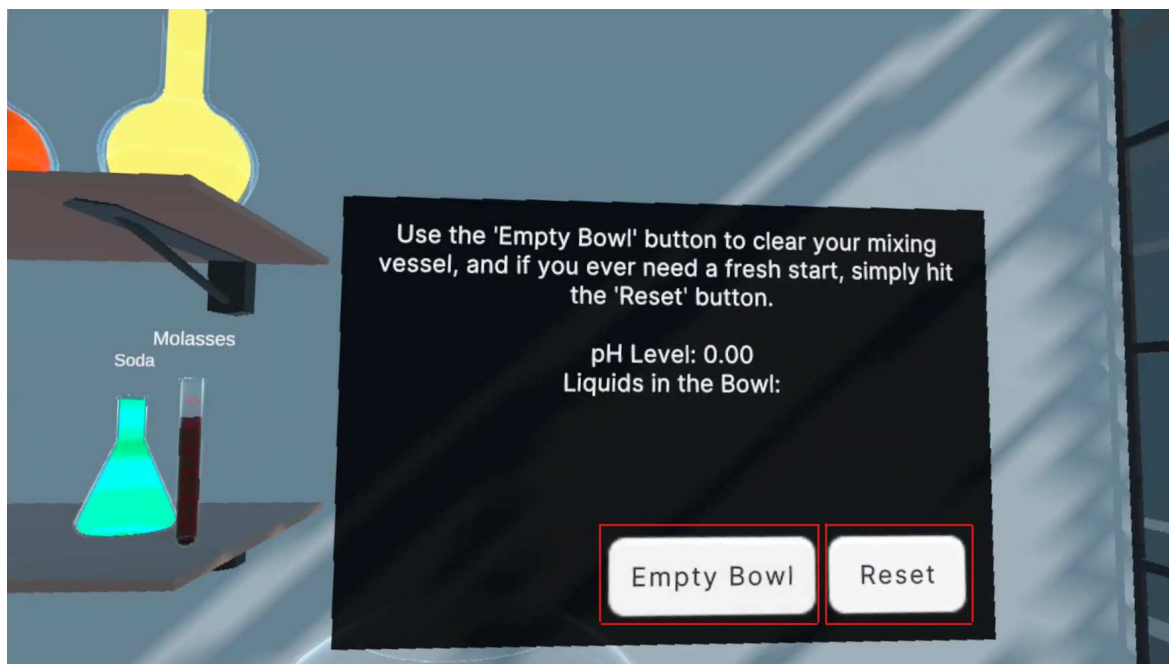
Na primjer, ako korisnik doda prvo tekućinu s kiselim pH vrijednostima, a zatim tekućinu s baznim pH vrijednostima, sustav će izračunati prosječnu pH vrijednost zdjele uzimajući u obzir sve dodane čestice. Ako je broj čestica jednak, prosječna pH vrijednost može se približiti neutralnoj pH vrijednosti (oko 7). No, ako se dodaje više čestica kiseline, pH će se nagnjati prema nižim vrijednostima, dok će dodavanje više lužnatih čestica povisiti pH.

Mogućnost isprazniti zdjelu za miješanje

Kada korisnik želi isprazniti zdjelu, može jednostavno odabrati gumb „Empty Bowl“ na korisničkom sučelju 6.8. Pritiskom na ovaj gumb, sadržaj zdjele se automatski prazni, vraćajući pH vrijednost na neutralnu točku, što je ekvivalentno resetiranju sadržaja zdjele na početak eksperimenta. Ovo omogućuje korisniku da započne novi eksperiment bez potrebe za ručnim čišćenjem zdjele.

Mogućnost resetiranja igre na početno stanje

Ako korisnik želi resetirati cijeli eksperiment i vratiti igru na početno stanje, može pritisnuti gumb „Reset“ na korisničkom sučelju 6.8. Ova funkcionalnost vraća sve postavke igre na početni ekran, brišući sve tekućine iz zdjele i resetirajući pH vrijednosti. Također vraća sve tekućine na svoje izvorne pozicije na policama, omogućujući korisniku da započne s potpuno novim eksperimentom od početka.

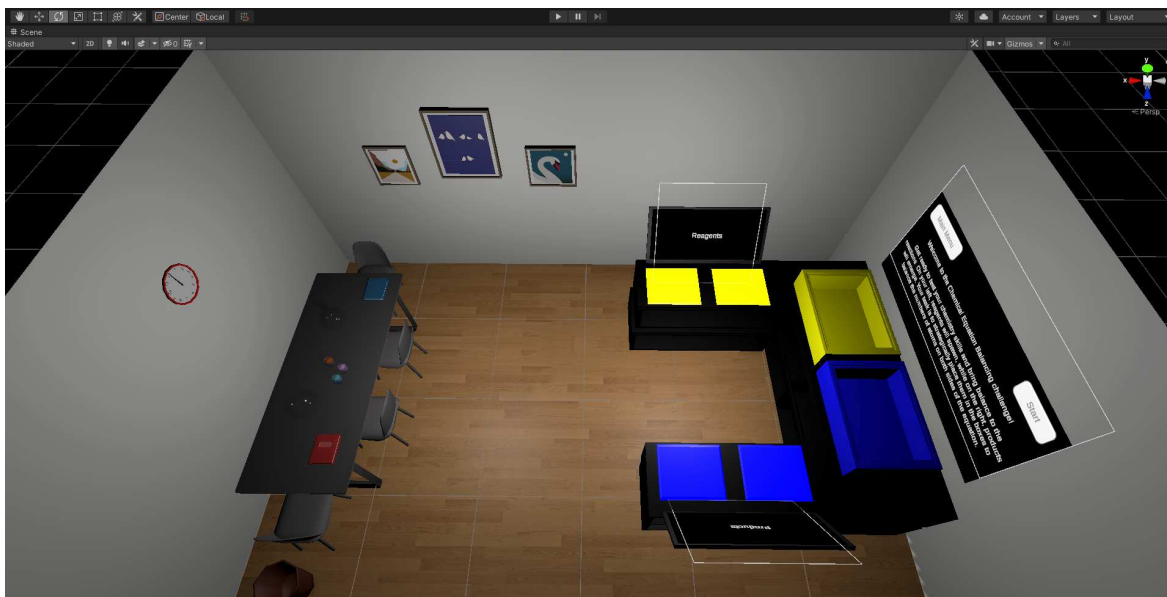


Slika 6.8. Gumbi za čišćenje zdjele i resetiranje na početno stanje igre

6.3. Igra *Reactions*

6.3.1. Opis

Okolina igre je zamišljena kao jednostavna učionica, s centralnim dijelom gdje se nalaze elementi za igru 6.9. U virtualnom laboratoriju, pred vama se otvara sučelje koje je intuitivno i jednostavno za upotrebu. Okruženje je omogućuje korisniku što lakše upravljanje i interakciju s elementima igre. Ekran je podijeljen u nekoliko funkcionalnih dijelova. U središnjem dijelu ekrana nalazi se korisnička ploča koja sadrži upute, gumbe i informacije koje pomažu korisniku u izvršavanju zadataka. U donjem dijelu ekrana prikazana je kemijska reakcija na kojoj korisnik radi. Ovaj dio ekrana vizualno je najistaknutiji kako bi korisnik uvijek imao jasan pregled nad trenutnim stanjem reakcije.



Slika 6.9. Okolina igre *Reactions*

Na lijevoj strani nalaze se postolja za reaktante, označeni žutom bojom. Ova postolja prikazuju sve molekule koje sudjeluju u reakciji kao reaktanti. Svaka molekula prikazana je u obliku kocke na kojoj je napisana njena kemijska formula, što korisniku omogućuje lako prepoznavanje i manipulaciju molekulama. S druge strane, na desnoj strani, nalaze se postolja za krajnje produkte reakcije, označeni plavom bojom. Ovdje su prikazane sve molekule koje nastaju kao rezultat kemijske reakcije.

Korisnik može kliknuti na molekulu (kocku) i podignuti je s postolja reaktanata ili produkata te je smjestiti u odgovarajuću kutiju ispod korisničkog sučelja. Kada korisnik postavi molekulu u kutiju, igra automatski identificira molekulu i ažurira koeficijente reakcije na sučelju. Ovaj proces olakšava korisniku praćenje promjena i prilagodbu koeficijenata dok radi na izjednačavanju reakcije. Važno je napomenuti da korisnik može smjestiti samo reaktante u kutiju za reaktante i samo produkte u kutiju za produkte, čime se osigurava točnost i pravilan tijek igre. Kada korisnik postavi molekulu u kutiju, automatski se pojavljuje nova molekula na postolju, spremna za daljnju upotrebu.

Igra sadrži pet razina (levela), pri čemu svaka razina predstavlja novu kemijsku reakciju koja je sve teža od prethodne. Kako korisnik napreduje kroz razine, složenost reakcija se povećava, zahtijevajući sve veću preciznost i razumijevanje kemijskih principa.

6.3.2. Cilj

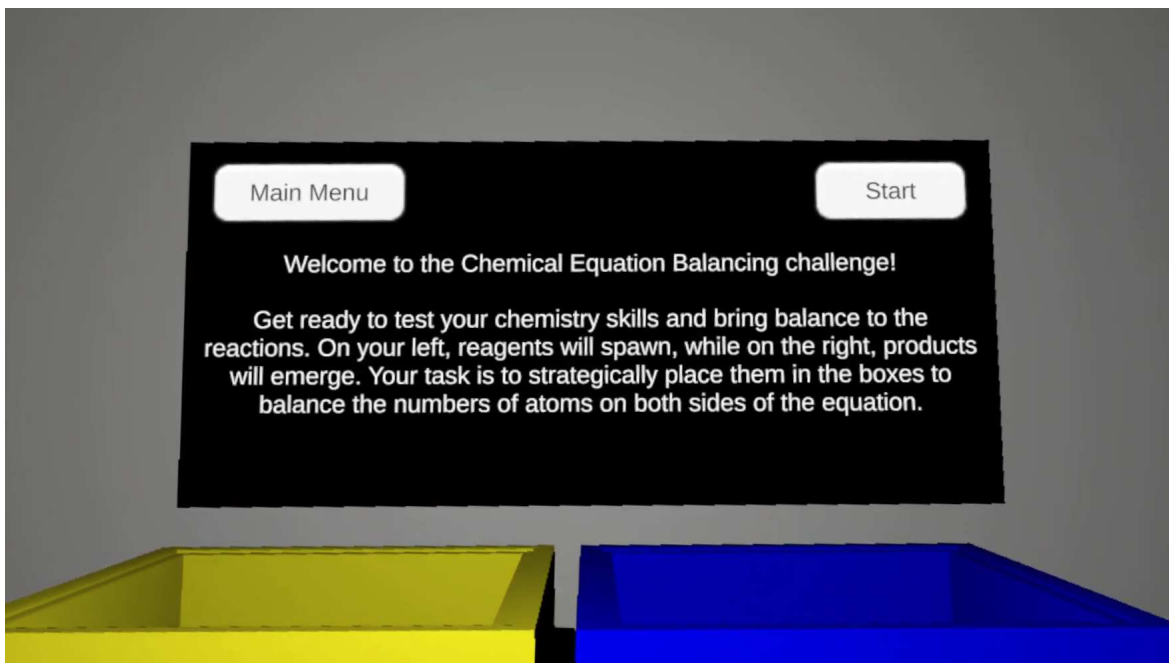
Cilj igre je izjednačiti kemijsku reakciju postavljanjem odgovarajućih koeficijenata ispred reaktanata i produkta. Korisnik mora pažljivo analizirati kemijsku reakciju i odrediti ispravne koeficijente kako bi broj atoma svakog elementa bio jednak na obje strane reakcije. Kroz ovaj proces, korisnik razvija razumijevanje principa izjednačavanja kemijskih reakcija, uči o zakonima očuvanja mase i broja atoma te poboljšava svoje analitičke i logičke vještine.

Cilj igre je postići točno izjednačenu kemijsku reakciju, čime korisnik demonstrira svoje znanje i vještine u području kemije. Svaka sljedeća razina donosi sve složenije reakcije, izazivajući korisnika da primijeni naučeno znanje i dodatno usavrši svoje vještine.

6.3.3. Funkcionalnosti

Mogućnost interakcije s korisničkim sučeljem

Igra *Reactions* nudi intuitivno korisničko sučelje koje korisnicima pruža jasne upute i jednostavne kontrole. Prvo stanje sučelja prikazuje korisniku uvodni opis zadatka koji treba izvršiti 6.10.



Slika 6.10. Welcome Screen

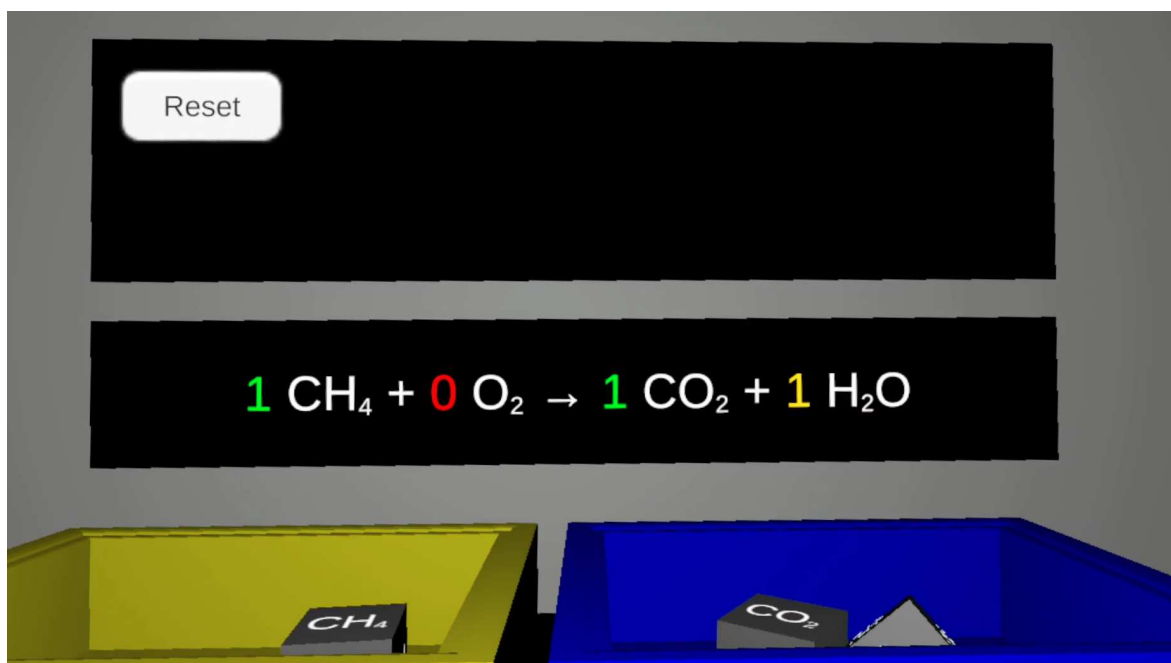
Ovo je početna točka gdje korisnik dobiva pregled onoga što će raditi. Klikom na

gumb „Start“, korisnik prelazi na sljedeći ekran, spreman za detaljnije upute. Zatim se sučelje dijeli na dva dijela:

1. Gornje sučelje se sastoji od gumba i poruka o uspješnosti zadatka. S ovim sučeljem korisnik može međudjelovati klikom na gumbe koje mu ponudi.
2. Donje sučelje prikazuje trenutnu kemijsku reakciju koju korisnik treba izjednačiti. Korisnik ne može mijenjati stanje ovog ekrana s pomoću gumba već se stanje mijenja prilikom dodavanja molekula u kutije ispred sučelja.

Prikaz kemijske reakcije

Na početku svake razine, igraču se prikazuje kemijska reakcija bez koeficijenata kako bi mogao započeti proces izjednačavanja. Reakcija se jasno prikazuje na sučelju 6.11., omogućavajući igraču da pažljivo analizira sastav reaktanata i produkata. Igra Reactions se sastoji od pet jednadžbi kemijskih reakcija, a sučelje na početku prikazuje reakciju bez koeficijenata, odnosno svi koeficijenti su postavljeni na nule. Igrač tada mora analizirati prikazanu jednadžbu, identificirati reaktante i produkte, te dodati odgovarajuće koeficijente kako bi izjednačio jednadžbu.



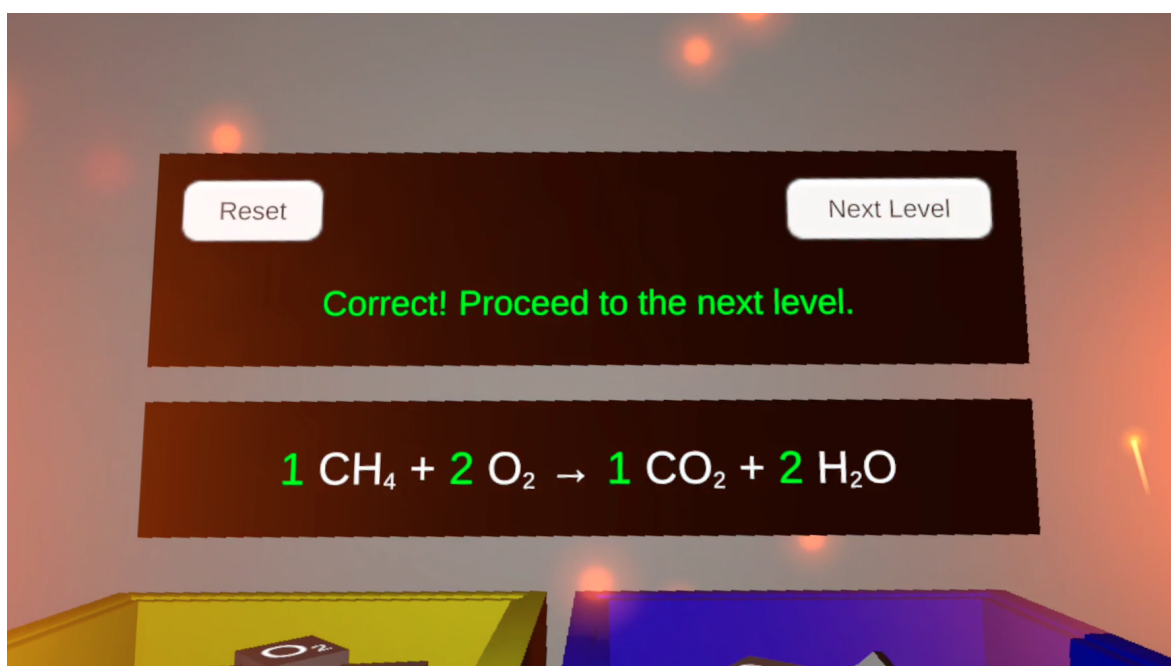
Slika 6.11. Kemijska reakcija

Provjera ispravnosti kemijske reakcije

Kada su koeficijenti ispravno postavljeni i reakcija je izjednačena, igraču se prikazuje poruka "Correct! Proceed to the next level.", a također mu se omogućuje prijelaz na sljedeću razinu 6.12. Ova provjera osigurava da igrač dobije povratnu informaciju o svom napretku i motivira ga da nastavi dalje.

Jednadžba kemijske reakcije smatra se izjednačenom kada je broj svakog pojedinog atoma s lijeve strane jednak broju tih istih atoma s desne strane. To znači da su masa i kemijski sastav tvari na početku i na kraju reakcije očuvani, što je temeljni zakon kemije poznat kao Zakon očuvanja mase.

Na primjer, u jednostavnoj reakciji kao što je sagorijevanje metana ($\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$), izjednačavanje zahtijeva da se osigura da imamo isti broj ugljikovih, kisikovih i vodikovih atoma na obje strane jednadžbe. Pravilno izjednačena reakcija garantira da su svi atomi u reagirajućim tvarima raspoređeni u proizvode bez gubitka ili stvaranja novih atoma.

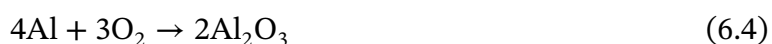


Slika 6.12. Uspješno izjednačena kemijska reakcija

Promjena razine

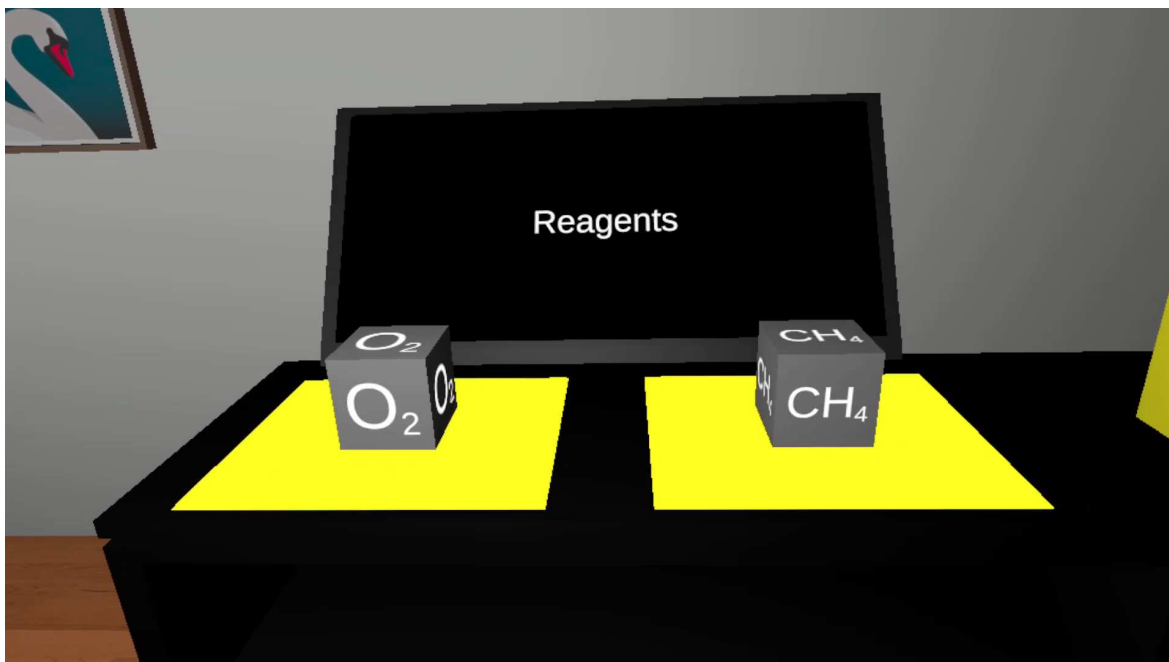
Kada igrač uspješno izjednači reakciju na trenutnoj razini, igra mu omogućuje prijelaz na sljedeću razinu s kompleksnijim kemijskim reakcijama. Gumb "Next Level" se nalazi

u gornjem desnom kutu korisničkog sučelja, a klikom na njega korisnik prelazi na višu razinu, odnosno na izjednačavanje teže kemijske reakcije. Ova funkcionalnost pruža igraču izazov i omogućuje mu da postepeno razvija svoje vještine izjednačavanja. Svaka nova razina uvodi složenije kemijske reakcije s većim brojem reaktanata i produkata, kao i složenijim molekularnim strukturama, što zahtijeva od igrača dublje razumijevanje kemijskih principa i preciznije analitičke vještine. Reakcije koje se pojavljuju u igri su:



Pojava molekula u obliku kocke

Molekule se prikazuju kao kocke s ispisanim formulama kako bi igrač jasno vidio sastav reaktanata i produkata. Ova vizualna reprezentacija olakšava igraču praćenje reakcije i donošenje informiranih odluka tijekom procesa izjednačavanja.



Slika 6.13. Postolje s reaktantima

Kocke su dizajnirane da budu vizualno prepoznatljive i jednostavne za razlikovanje,

a formule na kockama su jasno ispisane kako bi igrač mogao lako prepoznati svaku molekulu i njenu ulogu u reakciji. Ovaj vizualni element dodatno pomaže u razumijevanju kemijskih jednadžbi i olakšava proces učenja kroz igru.

U slučaju da kemijska reakcija još nije prikazana, ne nalazi se ništa na postolju za molekule. U trenutku kada se postavi jednadžba, svako postolje dobiva svoju molekulu iz reakcije. Postolja za reaktante dobivaju izraze molekula koji su na lijevoj strani jednadžbe, dok postolja za produkte dobivaju izraze molekula koje su na desnoj strani. Ako postolje ne detektira da se na njemu nalazi molekula, ono kreira novu instancu molekule u obliku kocke, postavlja joj izraz molekule na sve stranice u obliku teksta, postavlja *layer* isti kao i od postolja (koji glasi "Reagents" ili "Products") i kreira ju na sredini postolja:

```
if (IsEmpty() && moleculeFormula != null
    && !moleculeFormula.Equals(""))
{
    // Get the height of the mat
    float matHeight = transform.position.y
        + GetComponent<MeshRenderer>().bounds.size.y / 2f;

    // Calculate the spawn position directly on top of the mat with
    // offset
    Vector3 spawnPosition = new Vector3(transform.position.x,
        matHeight + spawnHeightOffset, transform.position.z);

    GameObject moleculeInstance = Instantiate(moleculePrefab,
        spawnPosition, Quaternion.identity);

    // Assign a unique ID to the molecule
    Molecule moleculeScript = moleculeInstance.GetComponent<Molecule
        >();
    moleculeScript.AssignID(nextMoleculeID++);

    // Set the layer of the spawned molecule to match the layer of the
    // mat
    moleculeInstance.layer = gameObject.layer;

    // Rotate the molecule on the y-axis for 180 degrees if it's
    // spawned with the "Reagents" layer
```



```

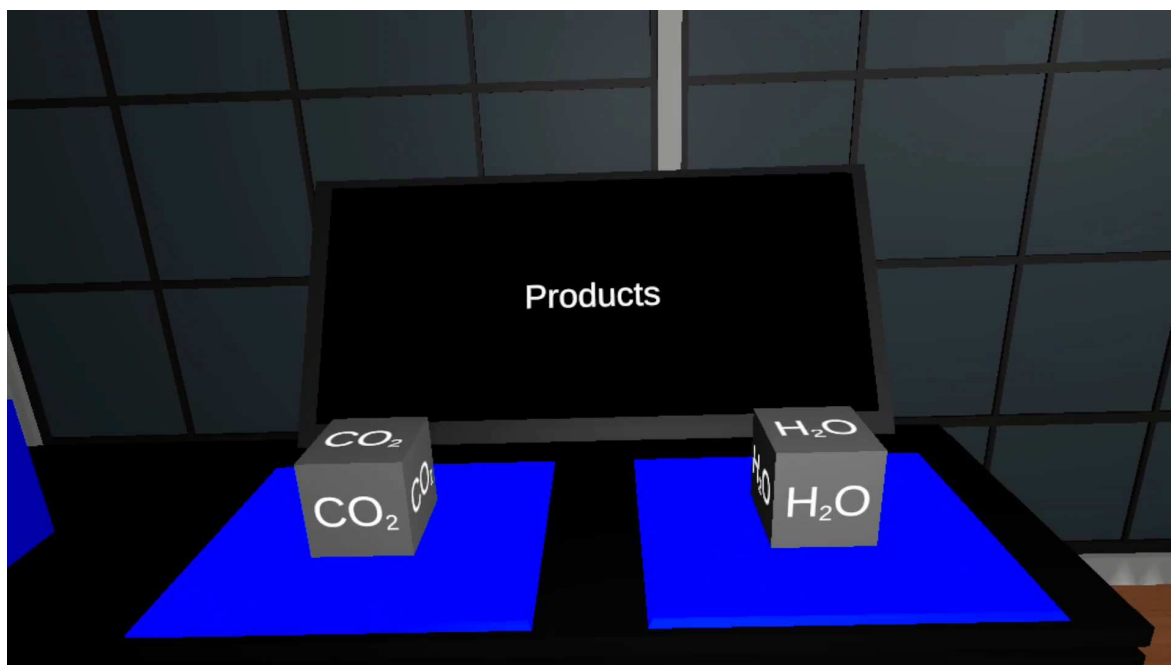
if (gameObject.layer == LayerMask.NameToLayer("Reagents"))
{
    moleculeInstance.transform.Rotate(0f, 180f, 0f);
}

// Add the new molecule to the array of spawned molecules
AddSpawnedMolecule(moleculeInstance);
// Pass the formula to ChangeText
ChangeText(moleculeInstance, moleculeFormula);
}

```

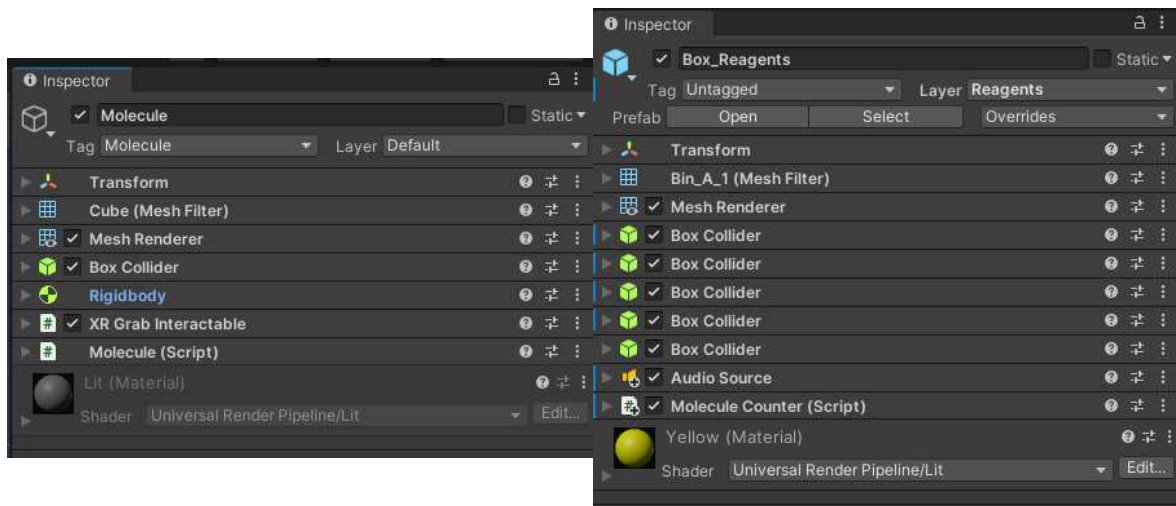
Ažuriranje koeficijenata

U igri *Reactions*, igrači imaju mogućnost aktivnog sudjelovanja u procesu izjednačavanja kemijskih reakcija. Ovaj proces se odvija interaktivno, gdje igrač preuzima molekulu, prikazanu kao kocka, s postolja reaktanata 6.13. ili produkata 6.14., i pažljivo je postavlja u odgovarajuću kutiju kako bi uravnotežio reakciju. Ova vrsta manipulacije omogućuje igračima da intuitivno eksperimentiraju s različitim postavkama i strategijama.



Slika 6.14. Postolje s produktima

Kada igrač smjesti molekulu na pravo mjesto, koeficijenti reakcije se automatski ažuriraju na sučelju igre. To omogućava igračima da odmah vide kako njihove akcije utječu na izjednačavanje reakcije. Sučelje koristi boje za prikaz trenutnog stanja koeficijenata:



Slika 6.15. Komponente pridružene modelima molekule i kutije za molekule

koeficijenti koji su pogrešno postavljeni označavaju se crvenom bojom, oni koji su točni postaju zeleni, a u situacijama kada koeficijent nije potpuno točan, ali nije ni pogrešan, prikazuje se žutom bojom 6.11.

Da bi molekula mogla pravilno komunicirati s drugim objektima u igri, ona mora sadržavati komponentu **Rigidbody**, koja joj daje masu i omogućava djelovanje gravitacijske sile. Rigidbody komponenta stavlja pokret objekta pod kontrolu Unity-jevog fizičkog sustava. Čak i bez dodatnog programiranja, objekt s ovom komponentom će biti povučen prema dolje zbog gravitacije i reagirat će na sudare s drugim objektima, pod uvjetom da su ispravno definirani *Colliders*.

Uz **Rigidbody**, molekula također sadrži komponentu **Box Collider** 6.15. Colliders definiraju oblik objekta za potrebe fizičkih sudara. Oni su nevidljivi i ne moraju biti točno iste forme kao vizualni prikaz objekta. Često se koristi približan oblik za efikasniju simulaciju, što u igrama može biti neprimjetno. Colliders se mogu dodati objektima bez Rigidbody komponente kako bi se stvorili statični elementi kao što su podovi ili zidovi, koji služe kao prepreke u sceni.

Kutije koje prihvaćaju određene vrste molekula detektiraju ih pri sudaru koristeći sistem slojeva (layers) i prepoznaju molekule s pomoću Rigidbody i Collider komponenti. Tako, sudari između objekata i molekula su simulirani u skladu s fizičkim zakonima, omogućujući preciznu i realističnu interakciju unutar igre.

Mogućnost resetiranja igre na početno stanje

U bilo kojem trenutku tijekom igre, igrač može resetirati igru pritiskom na gumb "Reset". Ova funkcionalnost omogućuje igraču da počne ispočetka ako želi promijeniti strategiju ili ispraviti eventualne pogreške.

6.4. Igra *Atom Structure*

6.4.1. Opis

Okolina igre je zamišljena kao jednostavna učionica, s centralnim dijelom gdje se nalaze elementi za igru nalik okolini igre *Reactions*. Korisniku se nudi korisničko sučelje s uputama i gumbom "Start". Nakon pokretanja, korisnik može odabrati element s lijeve strane periodnog sustava elemenata. Na glavnom ekranu se prikazuje struktura atoma, s elektronskim omotačem i jezgrom. Desno su informacije o atomu. Ispred korisnika su launcheri za ispaljivanje elektrona, protona i neutrona, koji mijenjaju strukturu atoma. Promjena strukture mijenja informacijski ekran.

Korisnik može odabrati element s periodnog sustava i prikazati njegovu atomsku strukturu klikom na željeni element. Nakon prikaza strukture atoma, korisnik može koristiti launchere za ispaljivanje subatomske čestice (elektrona, protona, neutrona) kako bi mijenjao strukturu atoma. Svako ispaljivanje subatomske čestice automatski ažurira informacije o atomu na desnoj strani ekrana, pružajući korisniku trenutne podatke o promijenjenoj strukturi atoma.

6.4.2. Cilj

Cilj igre je omogućiti korisnicima istraživanje i učenje strukture atoma kroz bogatu i interaktivnu simulaciju. Ova igra omogućava korisnicima da urone u svijet kemije na način koji je prilagođen njihovom uzrastu i razumijevanju. Struktura atoma, koja se sastoji od jezgre s protonima i neutronima te elektronskog omotača s elektronima, postaje opipljiva i razumljiva kroz dinamične vizualizacije i interakcije. Kroz igru, korisnici imaju priliku manipulirati brojem i rasporedom ovih subatomske čestice, što im omogućuje da vide kako te promjene utječu na svojstva atoma. Ova praktična primjena pomaže u stvaranju dubljeg razumijevanja atomske strukture i kako različite komponente unutar

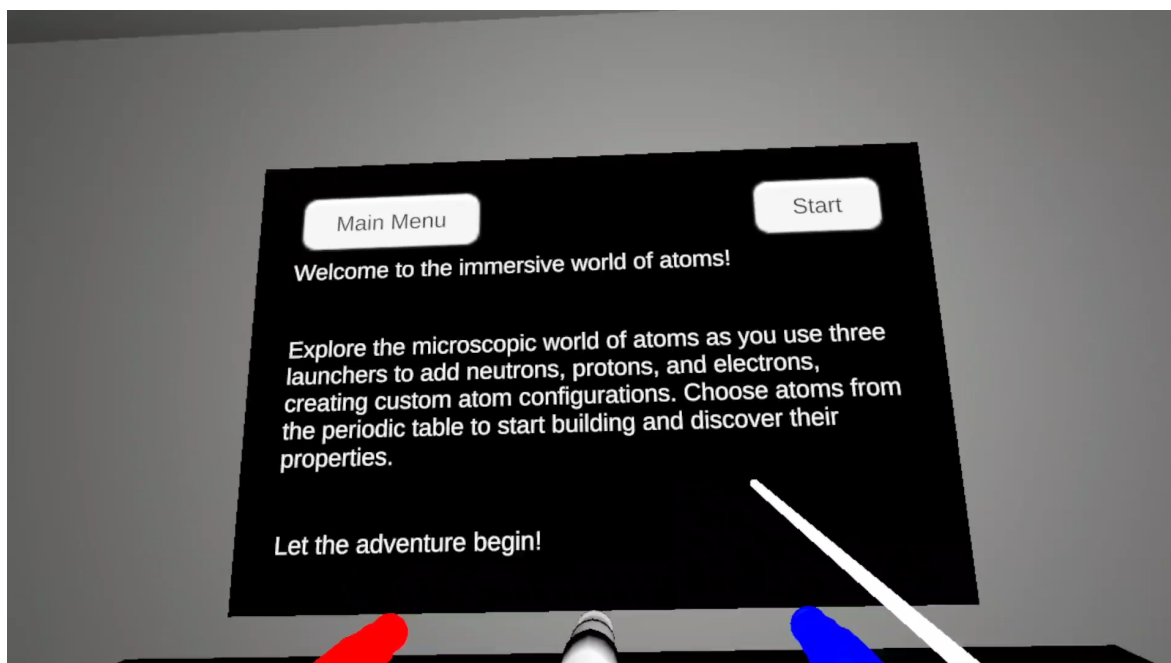
atoma doprinose njegovim karakteristikama.

Igra također pruža priliku za učenje o periodnom sustavu elemenata, koji je ključan za razumijevanje kemije, posebno za učenike osnovne škole. Periodni sustav nije samo suhoparna tablica, već je središnji alat koji pomaže u shvaćanju kako su elementi organizirani i kako njihova svojstva koreliraju s njihovim položajem u sustavu. Kroz igru, korisnici mogu istraživati razlike između elemenata i otkrivati što ih čini jedinstvenima. Na primjer, mogu saznati zašto su neki elementi izuzetno reaktivni, dok su drugi stabilniji, ili zašto metali, za razliku od nemetala, provode električnu struju.

6.4.3. Funkcionalnosti

Mogućnost interakcije s korisničkim sučeljem

Igra *Atom Structure* nudi intuitivno korisničko sučelje koje korisnicima pruža jasne upute i jednostavne kontrole. Prvo stanje sučelja prikazuje korisniku uvodni opis zadatka koji treba izvršiti 6.16. Ovo je početna točka gdje korisnik dobiva pregled onoga što će raditi. Klikom na gumb „Start“, korisnik prelazi na sljedeći ekran, spreman za prikaz strukture atoma.



Slika 6.16. Welcome Screen

Odabir elementa iz periodnog sustava

U ovoj interaktivnoj igri, korisnici mogu istraživati strukturu atoma klikom na željeni element unutar prikazanog periodnog sustava 6.17. Kad korisnik klikne na element, on se ističe, pružajući vizualnu potvrdu odabira i omogućujući detaljnije istraživanje njegove atomske strukture. Iako ovaj periodni sustav nije prava skala, već umanjena verzija, sastoji se od 18 osnovnih elemenata: vodika, helija, litija, berilija, bora, ugljika, dušika, kisika, fluora, neona, natrija, magnezija, aluminijsa, silicija, fosfora, sumpora, klora i argona.



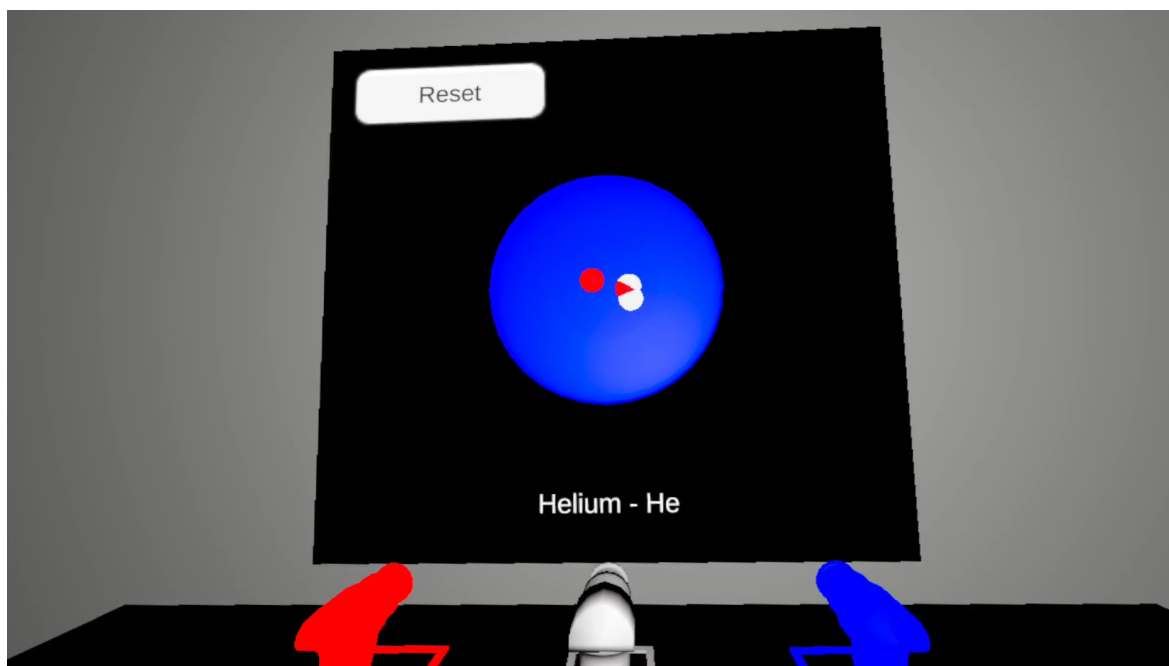
Slika 6.17. Periodni sustav elemenata

Svaki od ovih atoma je podijeljen i prikazan u različitim bojama kako bi se lakše prepoznali njihovi svojstva. Plavi kvadrati predstavljaju nemetale, zeleni kvadrati označavaju polumetale, dok su žuti kvadrati rezervirani za metale. Tako, korisnici mogu brzo i jednostavno identificirati kategoriju svakog elementa na prvi pogled.

Osim toga, boja teksta unutar kvadrata dodatno označava agregatno stanje elementa. Ako je tekst crvene boje, element se nalazi u plinovitom stanju, bijela boja teksta označava tekuće stanje, dok crni tekst ukazuje na to da je element u čvrstom stanju.

Prikaz strukture atoma

Kada korisnik odabere element na periodnom sustavu, na glavnom ekranu se prikazuje detaljna struktura atoma tog elementa 6.18. Ova vizualizacija jasno prikazuje elektronski omotač i jezgru atoma, omogućujući korisniku duboko razumijevanje atomske strukture.



Slika 6.18. Struktura atoma Helija

Jezgra atoma, koja se nalazi unutar elektronskog omotača, prikazana je kao proziran, bezbojan krug. Unutar jezgre, protoni i neutroni su raspoređeni na nasumične lokacije, dodajući sloj detalja i realnosti prikazu. Svaki proton je prikazan kao crvena kuglica, a svaki neutron kao bijela kuglica, čime se ističe njihova prisutnost unutar jezgre. Elektronski omotač, koji je prikazan kao velika plava kugla, obuhvaća jezgru atoma. Elektronski omotač može biti različitih veličina ovisno o broju elektrona koje sadrži.

Elektroni, zbog svog negativnog naboja, kruže oko jezgre atoma, ali se raspoređuju u specifične energetske ljuske ili slojeve kako bi se postigao povoljan energetski raspored. Trenutno se zna za sedam energetskih ljusaka: K, L, M, N, O, P i Q. Svaka od ovih ljuski može primiti određen broj elektrona prema formuli $2n^2$, gdje je n broj ljuske.

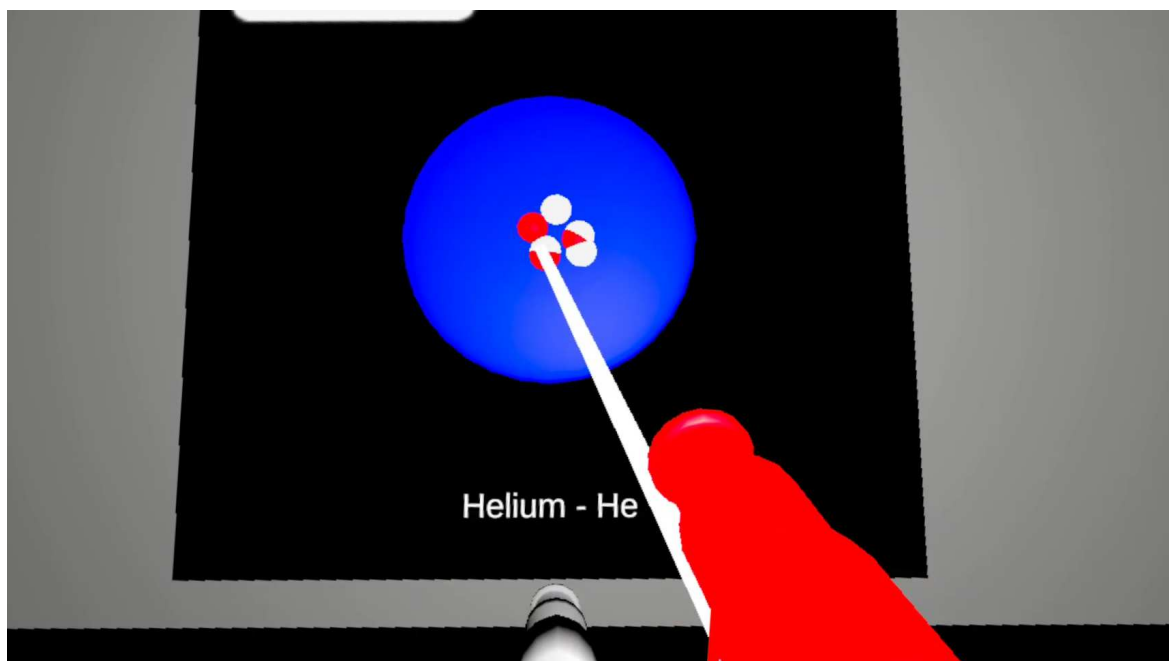
- Ljuska K može primiti do 2 elektrona, a ona se u prikazu strukture iskazuje tako da elektronski omotač ima radijus od 55.

- Ljuska L prima do 8 elektrona, a ona se u prikazu strukture iskazuje tako da elektronski omotač ima radijus od 65.
- Ljuska M može primiti do 18 elektrona, a ona se u prikazu strukture iskazuje tako da elektronski omotač ima radijus od 75.
- Nadalje, ljuske N, O, P i Q mogu primiti još više elektrona, sve do Q ljuske koja može primiti čak 98 elektrona.

Ispod svake prikazane strukture atoma nalazi se i ime tog elementa, što pomaže korisnicima da odmah prepoznaju o kojem se elementu radi. Ovaj intuitivan prikaz atomske strukture ne samo da vizualno obogaćuje iskustvo korisnika, već i omogućava dublje razumijevanje kako atomi funkcioniraju na temeljnim razinama.

Ispaljivanje subatomske čestice

Korisnici mogu koristiti launchere za ispaljivanje elektrona, protona i neutrona na atom kako bi mijenjali njegovu strukturu. Ovi launcheri omogućuju dinamičko i interaktivno dodavanje subatomske čestice, čime se stvara jedinstvena prilika za istraživanje i manipulaciju atomskom strukturom u stvarnom vremenu.



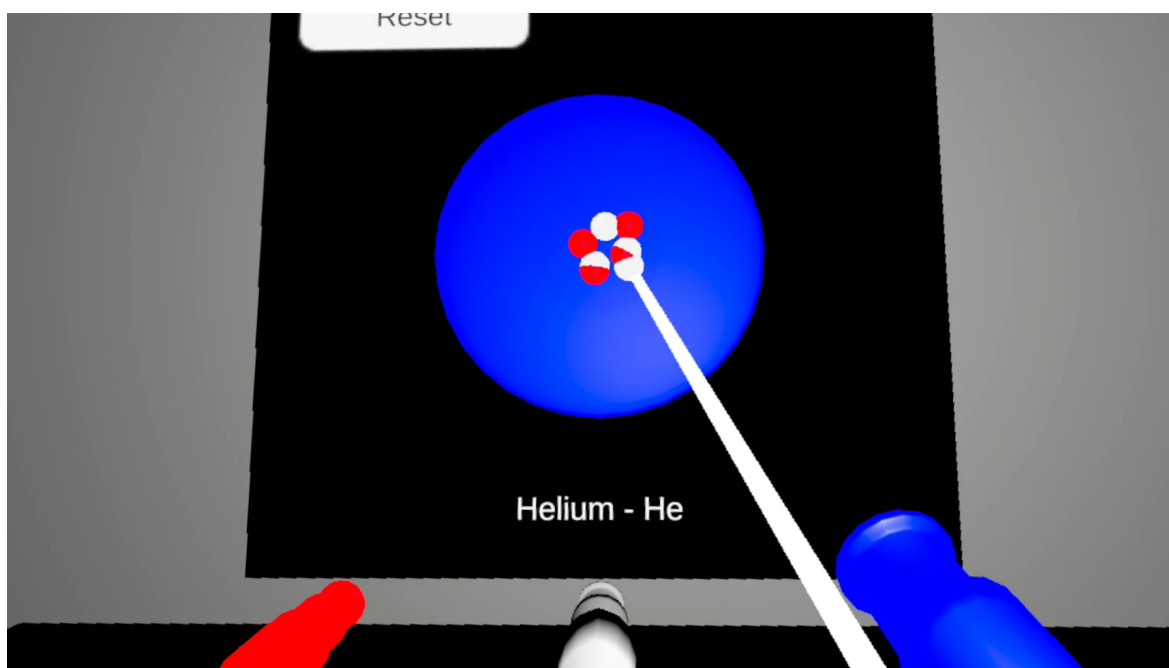
Slika 6.19. Dodavanje protona u jezgru Helija

Kada korisnik ispali elektron, proton ili neutron, te čestice se prikazuju na glavnom

ekranu i odmah počinju utjecati na strukturu atoma. Protoni i neutroni će biti prepoznati i integrirani samo ako se dodaju u jezgru, odnosno središnji dio atoma. Nakon što proton ili neutron uđe u jezgru, struktura atoma se prilagođava novom stanju, jasno prikazujući promjenu koja je nastala dodavanjem ovih čestica 6.19.

S druge strane, kada korisnik ispali novi elektron i taj elektron se prebaci na novu ljusku, dolazi do povećanja radijusa atoma. Ova promjena je vizualno prikazana na ekranu, omogućujući korisniku da vidi kako se atom širi u realnom vremenu 6.20. Povećanje radijusa jasno ilustrira utjecaj dodanog elektrona na strukturu atoma, što korisniku pruža bolji uvid u promjene koje se događaju na subatomske nivou.

Ovaj sustav omogućava korisnicima da kroz eksperimentiranje bolje razumiju kako se struktura atoma mijenja s dodavanjem različitih subatomske čestice. Vizualne promjene u strukturi i radijusu atoma pomažu u intuitivnom shvaćanju kompleksnih znanstvenih koncepta.



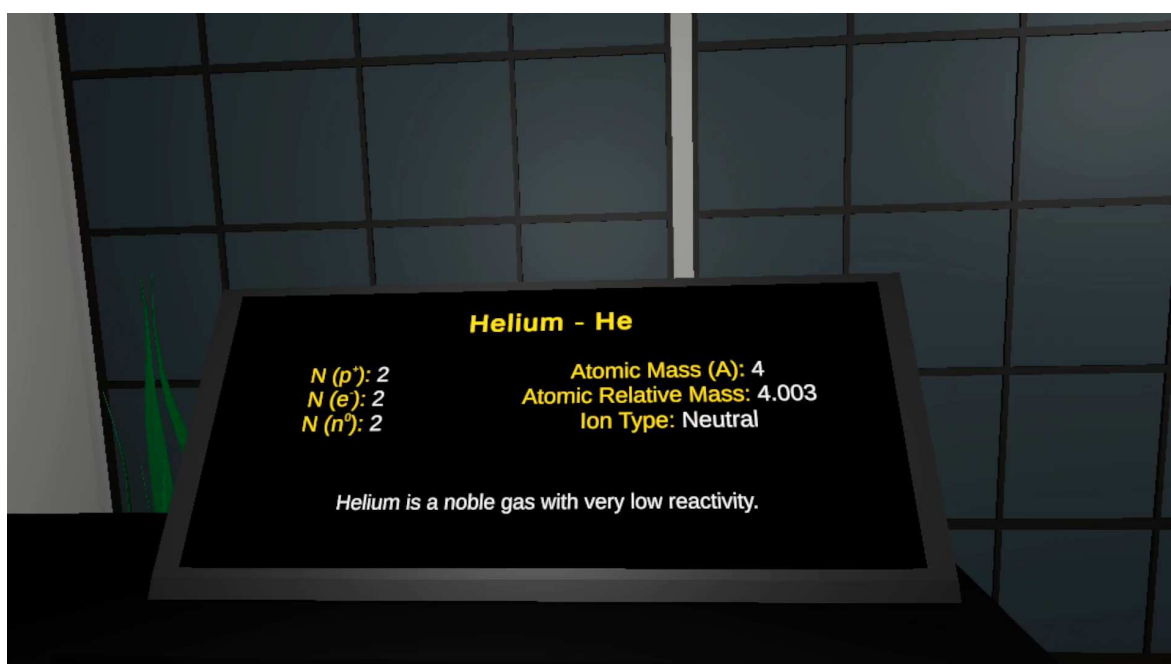
Slika 6.20. Dodavanje elektrona u omotač Helija te povećanje radijusa samog omotača

Prikaz informacija o atomu

Ekran s desne strane omogućuje korisniku da vidi detaljne informacije o trenutnom stanju atoma 6.21. Kada korisnik iz periodnog sustava s lijeve strane odabere određeni element, na desnom ekranu automatski se prikazuju sve relevantne informacije

o tom atomu. Informativni prikaz obuhvaća osnovne karakteristike, uključujući broj elektrona, protona i neutrona, što su ključni podaci za razumijevanje atomske strukture.

Također, korisniku su dostupne informacije o atomskoj masi i relativnoj atomskoj masi, što pomaže u procjeni težine atoma u usporedbi s drugim elementima. Osim toga, prikaz uključuje stanje iona, bilo da je atom u obliku kationa (pozitivno nabijen) ili aniona (negativno nabijen), što je važno za razumijevanje kemijskog ponašanja elementa u različitim reakcijama. Ovaj detaljni prikaz omogućuje korisnicima ne samo brzo pristupanje osnovnim podacima, već i dublje razumijevanje kompleksnosti kemijskih elemenata kroz jasno i intuitivno korisničko sučelje.



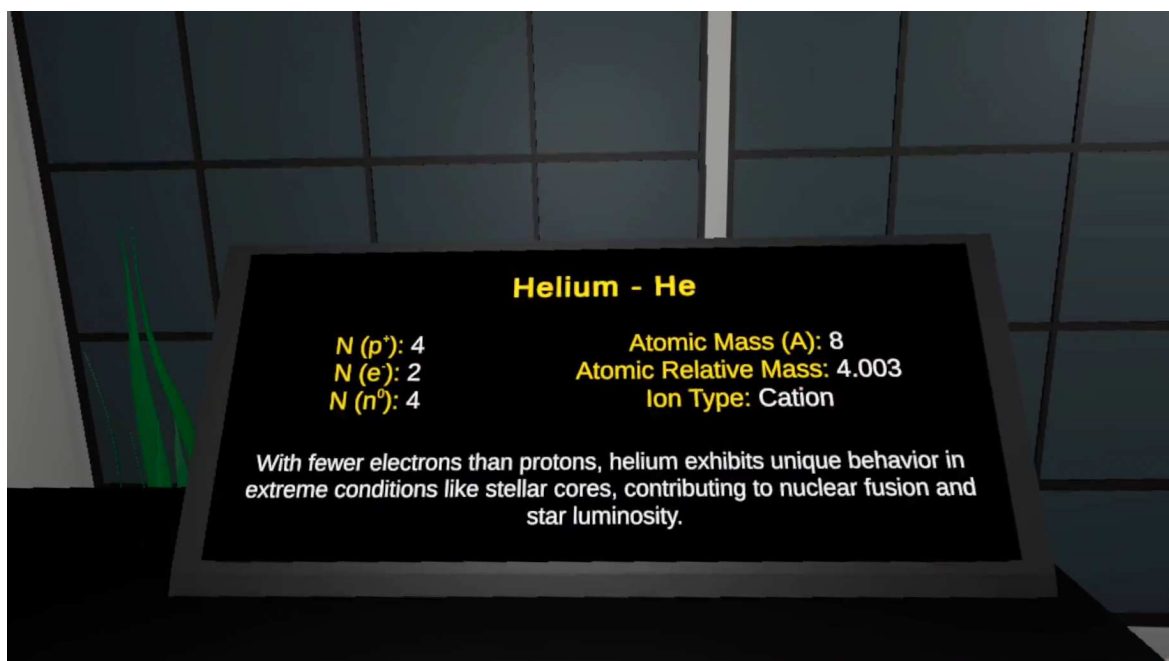
Slika 6.21. Prikaz informacija o Heliju

Ažuriranje informacija o atomu

Svaka promjena u strukturi atoma automatski ažurira relevantne informacije na ekranu s desne strane. Na ovom informativnom prikazu korisnik može vidjeti ažurirane podatke o broju elektrona, protona i neutrona, kao i masu atoma, relativnu atomsku masu, tip iona te dodatne relevantne informacije koje pomažu u boljem razumijevanju svojstava tog atoma.

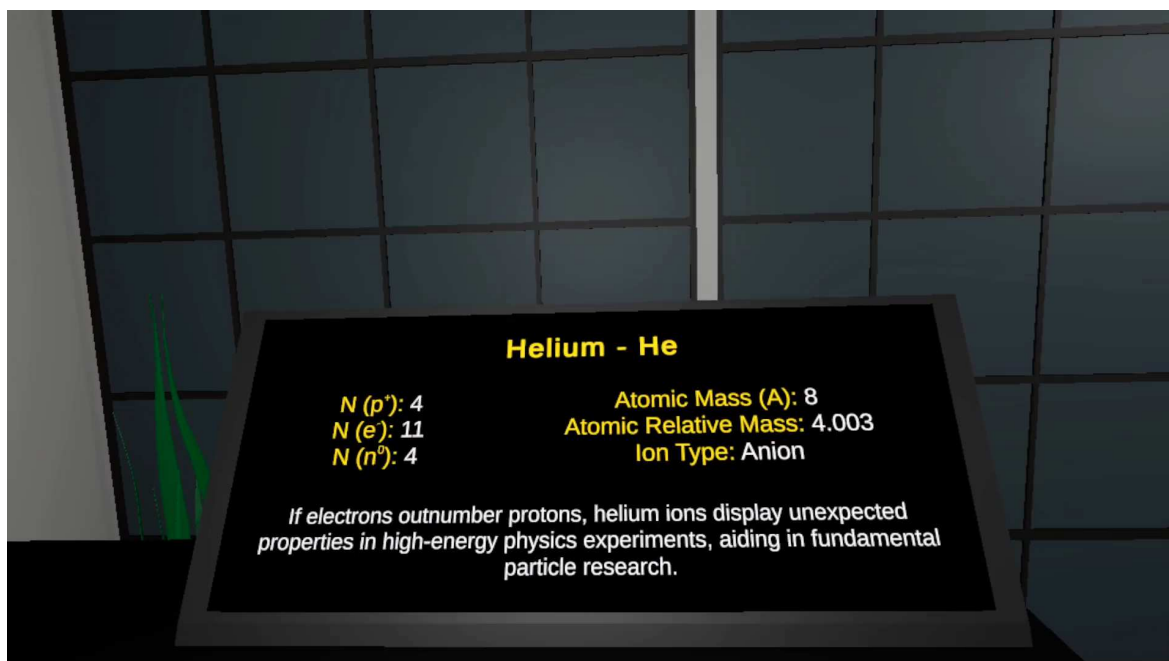
Kako se mijenja broj protona i neutrona u atomu, mijenja se i ukupna masa atoma. Proton i neutron svaki imaju približno istu masu, i njihova ukupna količina čini većinu

mase atoma. Kada se dodaju ili uklone protoni i neutroni, masa atoma se povećava ili smanjuje u skladu s tim. Na primjer, dodavanje neutrona povećava masu bez promjene kemijskih svojstava elementa, dok dodavanje protona ne samo da povećava masu, već može i promijeniti identitet elementa jer broj protona definira koji je element u pitanju. Međutim, relativna atomska masa elementa ostaje konstantna bez obzira na promjene u broju neutrona. Relativna atomska masa je prosječna masa atoma elemenata uzeta u obzir sve izotope koji postoje prirodno.



Slika 6.22. Prikaz informacija o Heliju pri promjeni u kationa

Ioni mogu nastati kroz kemijske ili fizičke procese ionizacije. Kemijski, neutralni atom može izgubiti jedan ili više elektrona, čime postaje pozitivno nabijen ili negativno nabijen. Ako atom sadrži više protona nego elektrona, on postaje pozitivno nabijen i naziva se kation 6.22. S druge strane, ako ima više elektrona nego protona, atom postaje negativno nabijen i naziva se anion 6.23. Ove promjene su jasno prikazane ne samo kroz vizualnu prezentaciju broja subatomskih čestica, već i kroz promjenu tekstualnih informacija na ekranu. Ion je, dakle, čestica koja može biti atom ili skupina atoma – kao što je molekula – i nosi električni naboj zbog neravnoteže između broja protona i elektrona.



Slika 6.23. Prikaz informacija o Heliju pri promjeni u aniona

Mogućnost resetiranja igre na početno stanje

U bilo kojem trenutku tijekom igre, igrač može resetirati igru pritiskom na gumb "Reset". Ova funkcionalnost omogućuje igraču da se vrati na početni ekran.

7. Zaključak

Primjena virtualne stvarnosti (VR) u obrazovanju nudi revolucionarne mogućnosti za stvaranje interaktivnih i imerzivnih okruženja za učenje. VR tehnologija omogućuje učenicima istraživanje i razumijevanje složenih koncepata na dinamičan i angažirajući način, značajno nadmašujući tradicionalne metode učenja. Korištenje VR-a u obrazovanju, kao što je primjer *Futuclass*-a, omogućava učenicima da se urone u trodimenzionalne simulacije i aktivno sudjeluju u svom obrazovnom procesu [19].

U ovom diplomskom radu razvijen je sustav za učenje o kemijskim reakcijama temeljen na virtualnoj stvarnosti, posebno prilagođen učenicima osnovne škole. Ovaj sustav pruža interaktivno iskustvo učenja kroz eksperimentiranje s različitim kemijskim reakcijama. VR omogućava učenicima da promatraju, eksperimentiraju i razumiju različite kemijske promjene na dinamičan način [20].

Simulacija u virtualnom svijetu omogućuje učenicima praćenje promjena agregatnih stanja tvari, promatranje kemijskih reakcija u realnom vremenu te istraživanje utjecaja različitih čimbenika na rezultate reakcija. Kroz interaktivne zadatke i izazove, učenici stječu dublje razumijevanje kemijskih pojmova i procesa. Implementacija sustava temeljenog na virtualnoj stvarnosti vođena je pedagoškim principima kako bi se osigurala obrazovna vrijednost i potaknulo aktivno učenje [21].

Glavni izbornik sustava omogućava korisnicima odabir između tri različite igre koje se fokusiraju na različite aspekte kemije: *pH Scale*, *Reactions*, i *Atom Structure*. Svaka od ovih igara pruža specifične funkcionalnosti i interaktivne elemente koji pomažu učenicima u učenju kroz igru i eksperimentiranje. Svaka igra je dizajnirana tako da kombinira zabavu i edukaciju, čineći proces učenja pristupačnijim i zanimljivijim za mlađe učenike [22].

Razvoj ovog VR sustava obuhvatio je nekoliko ključnih faza: specifikaciju i dizajn sustava, razvoj u Unity alatu te integraciju kemijskih reakcija i interaktivnih elemenata. Kroz detaljno planiranje i implementaciju, stvoren je edukativni alat koji učenicima omogućava bolje razumijevanje kemijskih reakcija kroz interaktivno i iskustveno učenje [23].

Primjena virtualne stvarnosti u obrazovanju donosi brojne prednosti, uključujući imerzivno iskustvo, interaktivno učenje, vizualizaciju složenih koncepata, sigurno okruženje za izvođenje eksperimenata te prilagodljivo učenje. Razumijevanje kemijskih reakcija ključno je za osnovnoškolsko obrazovanje jer postavlja temelje za daljnje proučavanje kemije i drugih prirodnih znanosti, potiče razvoj analitičkog razmišljanja i praktičnih vještina te priprema učenike za buduće STEM karijere [4]. Uvođenje VR tehnologije u obrazovni proces omogućilo je stvaranje dinamičnog, interaktivnog i edukativnog iskustva koje potiče učenike na istraživanje i razumijevanje složenih kemijskih koncepata na zabavan i angažirajući način. Ovaj diplomski rad pokazao je kako inovativne tehnologije mogu značajno unaprijediti obrazovni proces i pružiti učenicima vrijedna iskustva koja će im pomoći u daljnjem obrazovanju i razvoju [5].

Literatura

- [1] Tarjetahoy, <https://tarjetahoy.com/the-role-of-virtual-reality-in-modern-education-advancements-and-benefits/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [2] T. Bajarin, “VR’s Potential Impact on the Classroom”, <https://www.forbes.com/sites/timbajarin/2024/04/16/vrs-potential-impact-on-the-classroom/>, travanj 2024., [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [3] I. Botički, A. Drobnjak, i B. Boras, “Using Virtual Reality for Learning about Algorithms: The Importance of Institutional Support and Technology Skills”, Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, Croatia, 2024.
- [4] J. Radianti *et al.*, “A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda”, *Computers & Education*, sv. 147, str. 103778, 2020.
- [5] L. Jensen i F. Konradsen, “A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training”, *Education and Information Technologies*, sv. 23, br. 4, str. 1515–1529, 2018.
- [6] Unity Technologies, “Unity manual: Gameobjects and components”, <https://docs.unity3d.com/Manual/GameObjects.html>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [7] Technology Education Policy in China: Trends Issues - Vaia, <https://www.vaia.com/en-us/explanations/chinese/chinese-social-issues/technology-education-policy-in-china/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].

- [8] Unity Technologies, “Unity platform support”, <https://unity.com/platforms>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [9] —, “Unity editor overview”, <https://docs.unity3d.com/Manual/UnityEditor.html>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [10] —, “Unity physics”, <https://docs.unity3d.com/Manual/PhysicsSection.html>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [11] —, “Scripting in unity”, <https://docs.unity3d.com/Manual/ScriptingSection.html>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [12] —, “Create with code”, <https://learn.unity.com/course/create-with-code>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [13] Oculus, “Oculus quest 2”, <https://www.oculus.com/quest-2/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [14] —, “Meta quest link cable”, <https://www.meta.com/quest/accessories/meta-quest-link-cable/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [15] Unity Asset Store, “Unity asset store”, <https://assetstore.unity.com/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [16] —, “Free assets”, <https://assetstore.unity.com/top-assets/free>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [17] Oculus, “Oculus integration for unity”, <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-intro/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [18] Microsoft, “Visual studio”, <https://visualstudio.microsoft.com/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [19] X. Chen *et al.*, “Enhancing student learning of chemistry through virtual reality”, *Journal of Educational Technology & Society*, sv. 22, br. 1, str. 135–147, 2019.

- [20] L. Freina i M. Ott, “A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives”, *eLearning & Software for Education*, sv. 1, str. 133–141, 2015.
- [21] G. Makransky i L. Lilleholt, “A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education”, *Educational Technology Research and Development*, sv. 66, br. 5, str. 1141–1164, 2018.
- [22] Z. Merchant *et al.*, “Effectiveness of virtual reality-based instruction on students’ learning outcomes in k-12 and higher education: A meta-analysis”, *Computers & Education*, sv. 70, str. 29–40, 2014.
- [23] C. Fowler, “Virtual reality and learning: Where is the pedagogy?” *British Journal of Educational Technology*, sv. 46, br. 2, str. 412–422, 2015.

Sažetak

Sustav za učenje o kemijskim reakcijama temeljen na virtualnoj stvarnosti

Lorena Martinović

Virtualna stvarnost (VR) predstavlja jednu od najsuvremenijih tehnologija koja omogućuje stvaranje imerzivnih, trodimenzionalnih okruženja. Primjena VR-a u obrazovanju nudi revolucionarne mogućnosti za interaktivno i iskustveno učenje. Cilj ovog diplomskog rada bio je razviti VR sustav za učenje kemijskih reakcija, prilagođen učenicima osnovne škole. Sustav omogućuje učenicima da istražuju kemijske reakcije na dinamičan način kroz tri različite igre: *pH Scale*, *Reactions*, i *Atom Structure*. Razvoj sustava uključivao je faze specifikacije, dizajna, te implementacije u Unity alatu. VR omogućuje učenicima promatranje i eksperimentiranje s kemijskim reakcijama u simuliranom okruženju, čineći učenje zanimljivijim i učinkovitijim. Korištenjem VR-a, učenici mogu vizualizirati složene koncepte, sigurno eksperimentirati te prilagoditi tempo učenja svojim potrebama. Zaključno, implementacija VR tehnologije u obrazovanje donosi brojne prednosti, uključujući imerzivno iskustvo, interaktivno učenje i bolju vizualizaciju složenih koncepata. Ovaj rad pokazuje kako VR može značajno unaprijediti obrazovni proces, pružajući učenicima vrijedna iskustva koja potiču razumijevanje kemije i drugih prirodnih znanosti te ih pripremaju za buduće STEM karijere.

Ključne riječi: virtualna stvarnost; obrazovanje; kemijske reakcije; imerzivno učenje; interaktivne igre; osnovna škola; Unity alat; vizualizacija koncepata; STEM obrazovanje; iskustveno učenje; pH skala; atomska struktura; sigurno eksperimentiranje; prilagodljivo učenje; tehnologija u obrazovanju

Abstract

System for Learning about Chemical Reactions Based on Virtual Reality

Lorena Martinović

Virtual Reality (VR) is one of the most advanced technologies that enables the creation of immersive, three-dimensional environments. The application of VR in education offers revolutionary possibilities for interactive and experiential learning. This thesis aimed to develop a VR system for teaching chemical reactions, tailored to primary school students. The system allows students to explore chemical reactions dynamically through three different games: *pH Scale*, *Reactions*, and *Atom Structure*. The development process included phases of specification, design, and implementation using the Unity tool. VR enables students to observe and experiment with chemical reactions in a simulated environment, making learning more engaging and effective. By using VR, students can visualize complex concepts, safely experiment, and adjust the learning pace to their needs. In conclusion, the implementation of VR technology in education brings numerous benefits, including immersive experiences, interactive learning, and better visualization of complex concepts. This thesis demonstrates how VR can significantly enhance the educational process, providing students with valuable experiences that foster understanding of chemistry and other natural sciences, and prepare them for future STEM careers.

Keywords: virtual reality; education; chemical reactions; immersive learning; interactive games; primary school; Unity tool; concept visualization; STEM education; experiential learning; pH scale; atomic structure; safe experimentation; adaptive learning;

technology in education