

BLOCH-GÖMB SZIMULÁTOR

KVANTUMINFORMATIKAI ALKALMAZÁSOK FÉLÉVES FELADAT

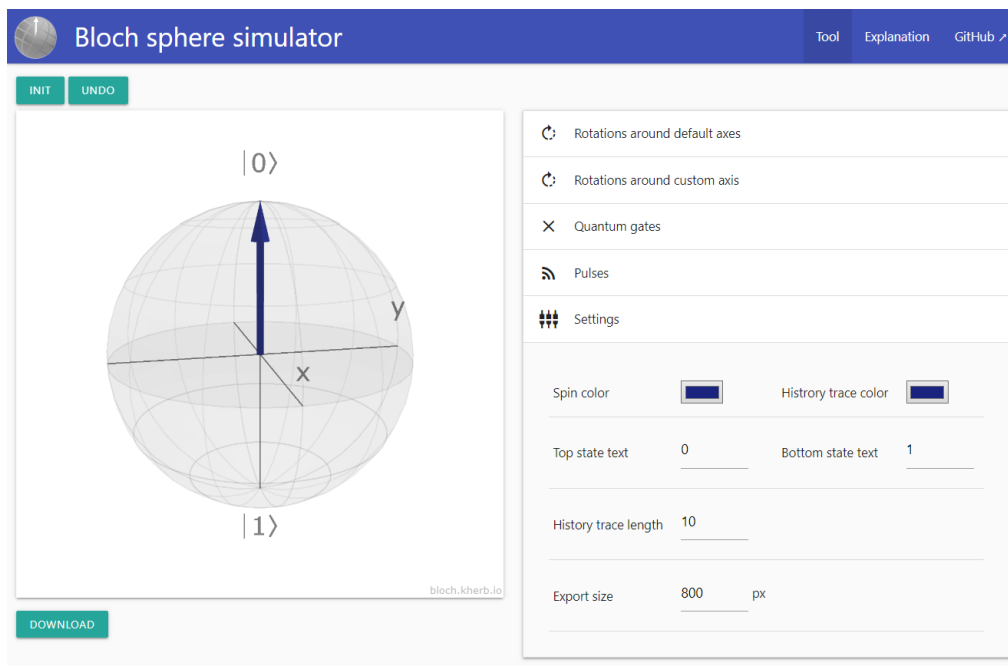
KOVÁCS NIMRÓD ÁNYOS (CZ4WH5)
TÓTH MÁTÉ (XBVVO6)

Meglévő implementációk értékelése

Az első feladat a már megvalósított szimulátorok elemzése. Ehhez a Google kereső segítségével kiválasztottuk az 5 legnépszerűbb és számunkra legszimpatikusabb online elérhető programot. A szemrevételezés alatt az alábbi szempontokat vettük elsősorban figyelembe:

- ☞ megvalósított funkciók (kapuk, szabadon választott állapotok megjelenítése)
- ☞ felhasználói felület kezelhetősége, egyértelműsége
- ☞ a 3D-s megjelenítés minősége

Kherb.io

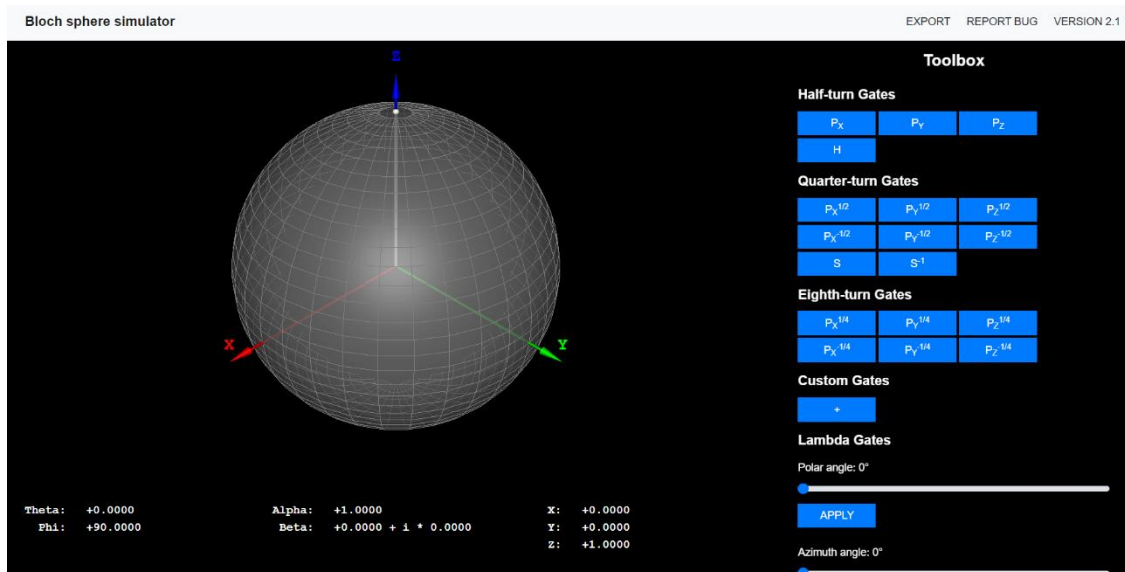


Link: <https://bloch.kherb.io/>

Egy egyszerű, letisztult, sokféle műveletre alkalmas szimulátor. Az első találatok között van, nem véletlenül. Az egyszerű kvantumkapukon kívül tetszőleges forgatást is lehetővé tesz, ám egyedi kezdőállapot beállítására nincs lehetőség.

A felület egyszerű, könnyen kezelhető, még személyre szabható is. Plusz pont az elvégzett műveletek nyomonkövetése a gömbön. Ezentúl a felület gyors és szép. A legtöbb felhasználó számára tökéletes, viszont egy-két speciálisabb funkciót nem tartalmaz. Összeségében egy igen szolid választás.

Bits and Electrons



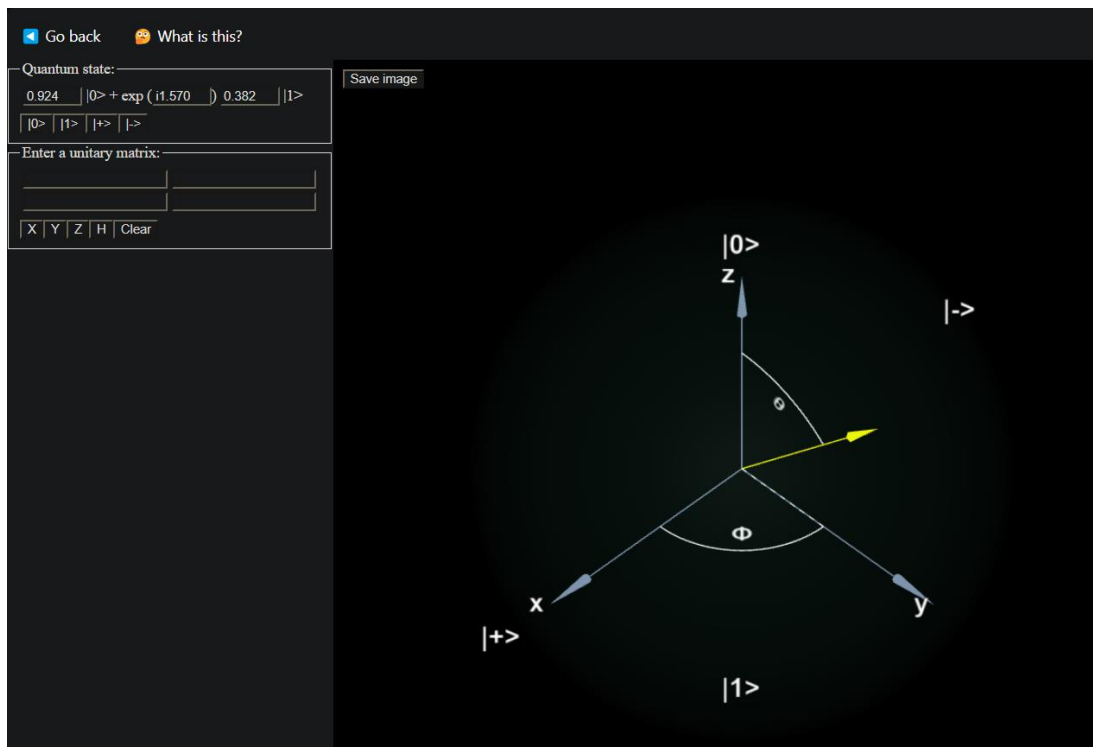
Link: <https://bits-and-electrons.github.io/bloch-sphere-simulator>

Egy gyors, rendkívül funkciódús és kifinomult program. Ez a szimulátor szintén az első találatok között helyezkedik el, és nem nagyon lehet rá panasz. Sokféle kaput valósít meg alapértelmezetten, emellett nem csak egyedi forgatást, hanem kaput is tudunk csinálni, ráadásul többet.

A 3D-s gömb szimulációja remek, viszont képminőségben hajszálnyival alább marad a többi hasonló eszközzel szemben (mintha annyit számítana). A kezelőfelület könnyen kezelhető. Plusz pont a kvantumbit adatainak feltüntetése a bal alsó sarokban, amely funkció ritka társai körében. Viszont meg kell említeni, hogy egyedi kezdőállapot beállítását ez az alkalmazás sem teszi lehetővé.

Ez az alkalmazás sokban hasonlít az előzőhöz, néhány bónuszfunkcióval kiegészülve. Ezáltal remek választás picivel komplexebb műveletek végzésére.

Kun Attila



Link: <https://attilakun.net/bloch/>

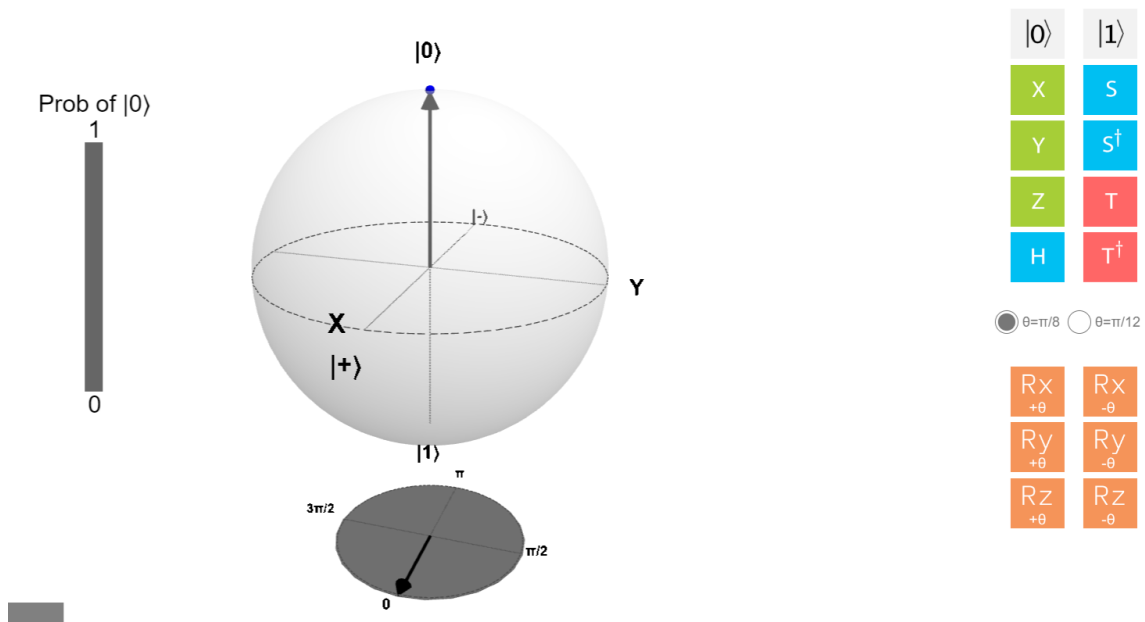
Ez a kicsi és nem túlbonyolított program nem ad sok funkciót a kezünkbe: viszont jól alkalmazza a „minőség a mennyiség fölött” elvet. Ugyanis nem csak egyedi kezdőállapotot lehet megadni, egérrel is kedvünkre állíthatjuk a kvantumbitünket.

Emellett ez a szimulátor is lehetőséget ad egyedi unitér mátrix definiálására, és láthatóvá teszi a kvantumbit „útját” a gömbön. Vagyis tenné, ha lenne gömb, de azt a program nem tartalmaz, csak a 3 koordinátatengelyt. Külön pozitívum a művelet forgástengelyének megjelenítése a transzformáció elvégzése után.

Ez egy egyedi megoldás a problémára, annak minden előnyével és hátrányával. Míg remek egyedi funkciókat nyújt az alkalmazás, addig megjelenítés és kezelői felület terén megszorításokkal találkozunk.

JavaFXpert

$$|\psi\rangle = \sqrt{1.00} |0\rangle + (\sqrt{0.00}) e^{i^0} |1\rangle$$



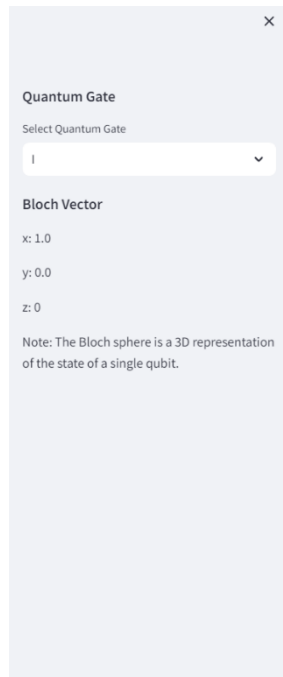
Link: <https://javafxpert.github.io/grok-bloch/>

Ez az elegáns program ötvözni próbálja az előző szimulátorok jó tulajdonságait: minőségi 3D-s megjelenítés, könnyen kezelhető és választékos gyorsgombokkal, akár egérrel a gömbön beállítható kezdőállapot.

Az alapvető kapukon kívül minden tengelyen tudunk előre definiált szögekkel forgatni. Felül a kvantumbit egyenletét láthatjuk, bal oldalt pedig az egyes állapotokhoz tartozó valószínűséget egy oszloppal ábrázolva.

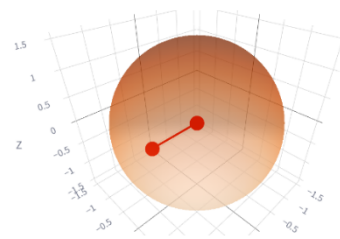
A sok remek tulajdonság mellett hiányosságokkal is szembesülünk: nem tudunk egyedi unitér transzformációt definiálni, és nyomon sem tudjuk követni az elvégzett műveleteket. Ezekről eltekintve viszont egy egyszerű felhasználóbarát program, ami sokféle igényt kiszolgál. Összesítve egy korrekt szimulátor.

WahidPanda



3D Bloch Sphere Simulator 🎲

Follow me on GitHub: <https://github.com/wahidpanda>



Gate Description

Identity Gate (No change): The Identity gate, denoted as I , does not alter the state of the qubit. It is effectively a 'do nothing' operation, leaving the qubit in its current state.

Link: <https://3d-bloch-sphere-simulator-rrd6lrdouw8fmxemsxsmfe.streamlit.app/>

Egy apró és talán már túl egyszerű szimulátor alapvető kvantumkapuk működésének szimulálására.

Nem kínál nagy fegyvertárat, az összes állítási lehetőség a kapuk kiválasztásában rejlik. Emellett a működés helyessége is megkérdőjelezhető bizonyos esetekben.

Viszont remek adalék a kapuk magyarázata és alatta az áramkör vázlata. Míg a többi említett szimulátornál általában alulmarad, addig grafikusán és a kapuk leírásában kiemelkedik. Csak nagyon alapvető szemléltetésre javasolt.

Toplista

1. BitsAndElectrons
2. Kherb.io
3. Kun Attila
4. JavaFXpert
5. WahidPanda

Specifikáció

Az fentebb említett szimulátorok alapos tanulmányozása után kigyűjtöttük a véleményünk szerint hasznos funkciókat, amiket az alábbiakban részletezünk, majd ezek alapján felállítjuk a specifikációt.

Hasznos funkciók/jó ötletek

- ☞ 3D-s gömb
- ☞ Egyszerű kvantumkapuk (Pauli, Hadamard, fázis) és állapotok gyorsgombbal való elérése
- ☞ Egyedi mátrix definiálásának lehetősége
- ☞ Állapotinformációk kijelzése
- ☞ Esztétikus, intuitív, felhasználóbarát kezelőfelület

Ezek alapján lássuk a program specifikációját.

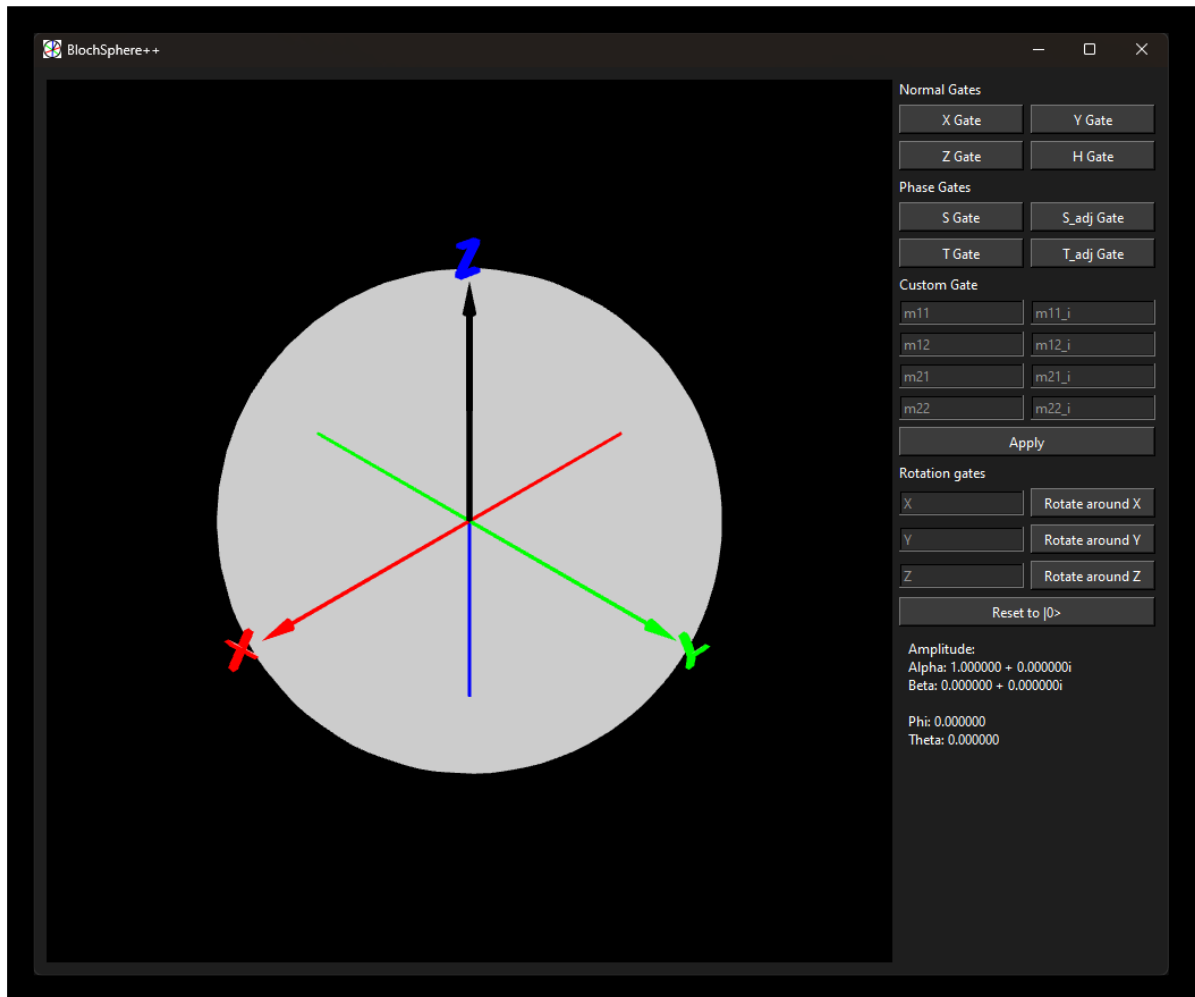
A program egy 3D-s gömböt állít elő, és ezen a gömbön egy kvantumbitet ábrázol. A kvantumbit módosítható, mind alapállapota, mind kapuk végrehajtásával, ezt a program dinamikusan leköveti. Alapvető kvantumkapukra gyorsgombot tartalmaz, egyedi kapu megadására lehetőséget biztosít.

Alapállapot visszaállítására is tartalmaz gyorsgombot, ezenkívül tetszőleges forgatást tesz lehetővé a 3 koordinátatengely körül. Az egyedi állapot/kapu beállításnál a paraméterek helyességét ellenőrzi. A program a kvantumbit állapotát kvantumosan és polárkoordinátákkal is kijelzi.

A program Qt Widgets 6.8 (LTS) keretrendszerrel készül. A Qt egyik előnye, hogy beépített 3D megjelenítőt tartalmaz, és C++ alapú, ami robosztus és nagyteljesítményű kódot tesz lehetővé.

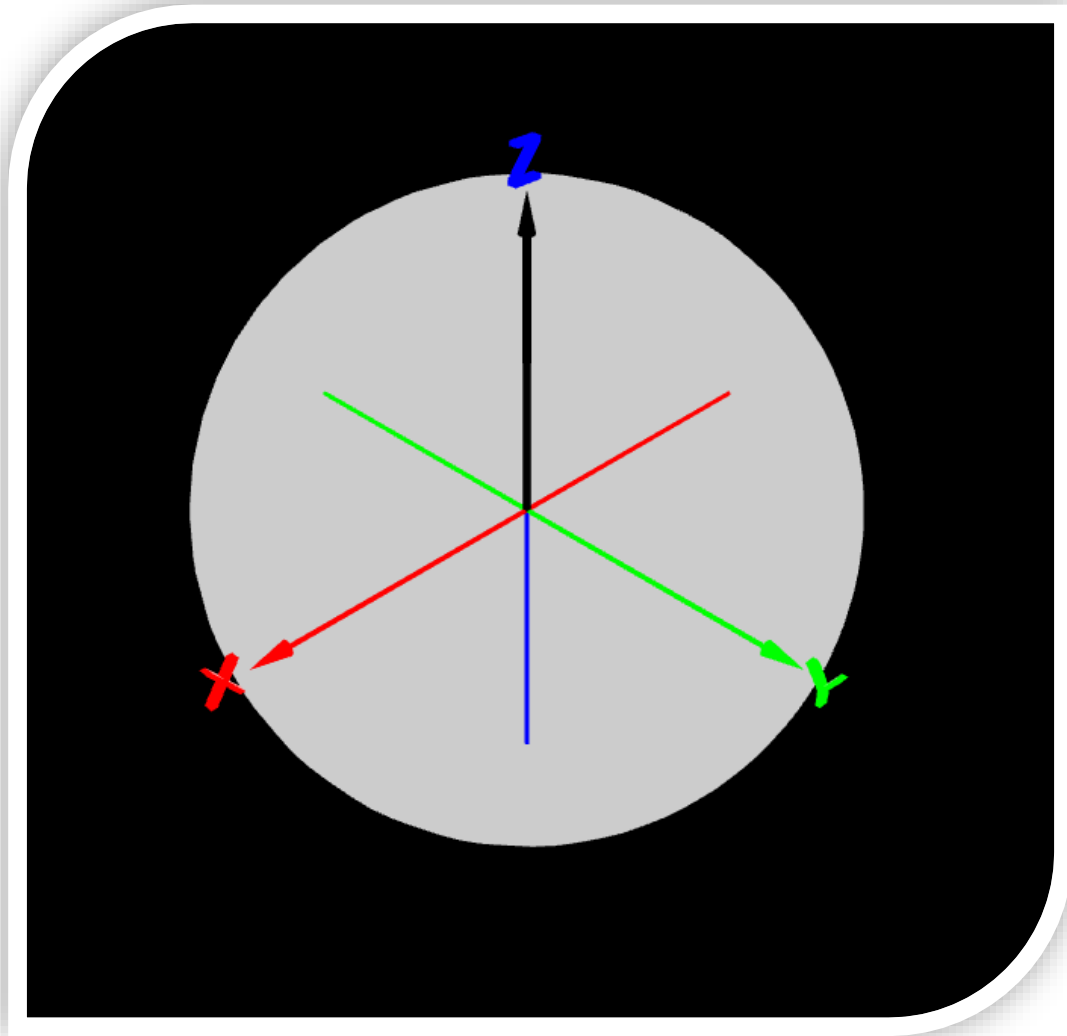
Dokumentáció

A program



A program megnyitása után a fent látható kép fogadja (jó esetben) a felhasználót, ami két fő részre van tagolva, a 3D-s megjelenítőre, és a kezelősáv. A kezelőfelület tervezése során rendkívül fontos szempont volt az ergonómia, intuitivitás és az esztétikusság. A hosszú tervezési fázis alatt jól felmért felhasználói igények miatt választott keretrendszer rendkívül reszponzív programot eredményezett. A C++ nyelv által biztosított nyelvi eszközök és matematikai könyvtárak segítségével sikerült tömör, de hatékony kódot létrehoznunk. Ennek eredménye, hogy minimális hardverigénnyel régebbi, illetve kisebb teljesítményű hardveren is tökéletesen fut.

3D-s gömb



A kijelző ezen részén jelenik meg a szimuláció. Ez a rendkívül nagyfelbontású megjelenítő magasszintű értelmezést tesz lehetővé, ezzel is segítve a felhasználókat.

A különböző színekkel és betűkkel jelölt tengelyek gyorsan azonosíthatóvá teszi a megjelenített állapotot. A kvantumbit vektora fekete színnel van jelölve, mivel a világosszürke háttérrel ez jól látható.

Vezérlősáv

The control panel is divided into several sections:

- Normal Gates:** Contains buttons for X Gate, Y Gate, Z Gate, and H Gate.
- Phase Gates:** Contains buttons for S Gate, S_adj Gate, T Gate, and T_adj Gate.
- Custom Gate:** Contains input fields for matrix elements m11, m12, m21, m22 and their imaginary parts m11_i, m12_i, m21_i, m22_i, followed by an Apply button.
- Rotation gates:** Contains input fields for rotation angles X, Y, Z and buttons for Rotate around X, Rotate around Y, and Rotate around Z.
- Reset:** A button labeled "Reset to $|0\rangle$ ".
- Amplitude:** Displays Alpha: $1.000000 + 0.000000i$ and Beta: $0.000000 + 0.000000i$.
- Phase:** Displays Phi: 0.000000 and Theta: 0.000000 .

A bal (programban jobb) oldalon látható sáv tartalmazza a szimulációt befolyásoló vezérlőket. Ez a nagyméretű eszköztár rengeteg funkcióval ruházta fel programunkat.

A „Normal Gates” részben az egyszerű kvantumkapukat találjuk, egészen pontosan a Pauli-X, -Y -és Z kapukat és a Hadamard-kaput. A „Phase Gates” részben a fáziskapukat és adjungáltjukat találjuk.

A „Custom Gate” résznél 8 darab szövegbeviteli mezőt és egy gombot találunk. Ez szolgál egyedi mátrix megadására. Bal oldalt a valós, jobb oldalt a képzetes részt kell megadni. A „Rotation gates” tetszőleges elforgatást tesz lehetővé a megfelelő tengely körül.

A „Reset to $|0\rangle$ ” gomb az alapállapot visszaállítását teszi lehetővé, alatta pedig az aktuális állapothoz tartozó adatok tekinthetők meg.

A bemeneti mezőkön robosztus ellenőrzéseket hajtunk végre, hogy a nem kívánt működések megakadályozzunk, ezzel egyidőben felugró ablakokkal segítjük a felhasználót visszatérni a helyes útra.