

PONTSZERŰ TÖLTÉS MOZGÁSÁNAK SZÁMÍTÓGÉPES MODELLEZÉSE SZTATIKUS ELEKTROMOS ÉS MÁGNESES MEZŐBEN

Szkladányi András
Bajai III. Béla Gimnázium

A középiskolai emelt szintű fizikaoktatásban jelentős hangsúlyt kap a sztatikus elektromos és mágneses mező jellemzése, illetve a bennük lévő pontszerű töltés mozgásának leírása. Jónéhány, a témához kapcsolódó alkalmazást, illetve természeti jelenséget is meg tudunk említeni, amelyekkel felkelthetjük a diákok érdeklődését: elemi részecskék mozgása részecskegyorsítókban, ködkamrában, TOKAMAK-típusú fúziós reaktorokban, napszél részecskék mozgása a Föld mágneses terében, vagy a Van Allen-övezet. Ugyanakkor az ilyen jelenségek bemutatása komoly akadályokba ütközik. Igaz, egy-egy animációt le tudunk tölteni az internetről, a részecskék mozgásának, vagy a kialakuló pályák bemutatásával azonban valószínűleg adósak maradunk. A most ismertetendő számítógépes szimuláció ezt a hiányt igyekszik pótolni. A

program különféle szerkezetű sztatikus elektromos és mágneses mezők jelenlétében, a 3 dimenziós térben képes szemléltetni egy pontszerű elektromos töltés mozgását. Arra törekedtem, hogy a program használata egyszerű, mégis látványos, figyelmet felkeltő legyen, így a tanárok az órákon vagy szakkörökön eredményesen alkalmazhatják. A tanulók otthon is könnyen használhatják, és ha rászánnak néhány órát a szimulációval való „kísérletezésre”, akkor hasznos tapasztalatokra tehetnek szert.

A szimulációról

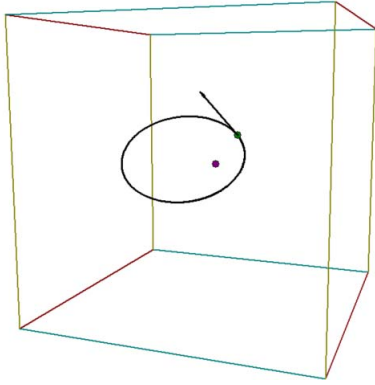
Vákuumban, homogén elektromos és/vagy mágneses mező jelenlétében \mathbf{v} sebességgel mozgó, q töltésű, m tömegű pontszerű töltésre ható erők eredője (a gravitációs mezőt elhanyagolva):

$$\mathbf{F}_e = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

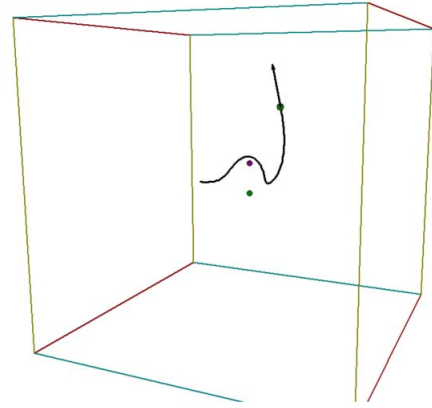
A programban többféle sztatikus mező közül lehet választani: homogén és centrális elektromos mező, elektromos dipólus által keltett mező, homogén mágneses mező, mágneses dipólus által keltett mező, hosszú, áramjárta egyenes vezető mágneses mezője, illetve áramjárta toroid tekercs által keltett mágneses



Szkladányi András 1982-ben végzett az ELTE matematika-fizika tanári szakán. 1990-ben egyetemi doktori címet szerzett, azóta a Bajai III. Béla Gimnáziumban tanít. 1995-től tagja a Mikola Sándor Országos Tehetségkutató Fizikaverseny feladatkitűző bizottságának. Tehetséggondozói munkája elismeréseként 2006-ban Vermes Miklós, 2009-ben Ericsson-díjban részesült. 2015-től kutatótanár. Több mint húsz éve készít fizikai jelenségeket modellező számítógépes szimulációkat középiskolásoknak.



1. ábra. Centrális elektromos mezőben ellipszis alakú pályán mozgó, pontszerű töltés.



2. ábra. Elektromos dipólus terében mozgó, pontszerű töltés.

mező. Egy-két kivételtől eltekintve a különböző mezők kombinálása is lehetséges, például toroid esetén további mező nem választható.

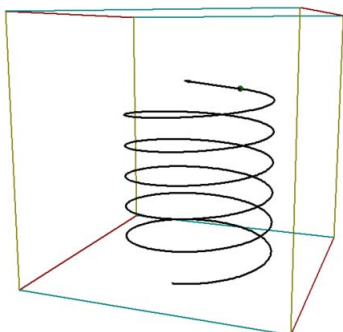
Ezek a mezőkön kívül megadható egy, a pontszerű töltés mozgását fékező erő is, amely négyféle típusú lehet: sebességgel fordítottan arányos, sebességtől független állandó, sebességgel egyenesen, vagy a sebesség négyzetével arányos.

A szimulációban számos paraméter változtatható: a pontszerű test fajlagos töltése, kezdőhelyzete és kezdősebessége, a homogén mezőket jellemző vektorok, a centrális mezőt keltő töltés nagysága, a dipólusok póluserőssége és a pólusok távolsága, az egyenes vezető áramerőssége, a mágneses indukció erőssége a toroid belsejében, a fékező erő típusa és mértéke.

A program meghatározza a próbatestre ható erők okozta gyorsulást és a mozgás leírásához negyedrendű Runge–Kutta-módszert alkalmaz. A modellt önkényes egységekkel számol, beleértve az univerzális állandókat is (például k , μ_0).

A szimuláció 3 dimenzióban jeleníti meg a mozgó töltést és pályáját, valamint a kiválasztott mezőkkel és a mozgással kapcsolatos vektorokat, illetve vektortereket (elektromos térerősség, mágneses indukció, a töltésre ható erők, sebesség, gyorsulás). A szimulációs tér forgatható, illetve nagyítható. Menteni lehet a kialakuló pályáról készült képet és a beállított paraméterértékeket. Ezek az adatok később bármikor beolvashatók. A program a kezdeti lépések megkönnyítése érdekében néhány mintapéldát is felkínál.

3. ábra. Homogén mágneses mezőben, csavarvonal alakú pályán egyenletesen mozgó, pontszerű töltés.



Példák

Az elektromos, illetve mágneses mezők szerkezetétől és a próbatöltés kezdősebességének irányától függően különböző típusú mozgások, illetve eltérő alakú pályák jöhetnek létre az egyenletestől a gyorsulóig, illetve az egyenes vonalútól a parabola és kör alakú pályán át egészen a csavarvonalúig.

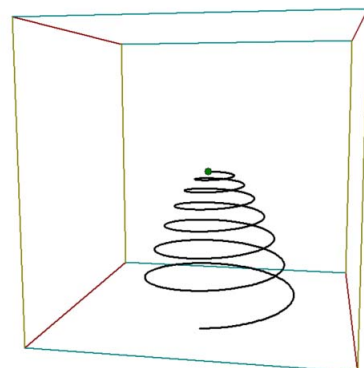
Centrális elektromos mezőben, ha az összenergia negatív, egy pontszerű töltés mozoghat például ellipszis pályán, akár csak a bolygók a Nap körül (1. ábra).

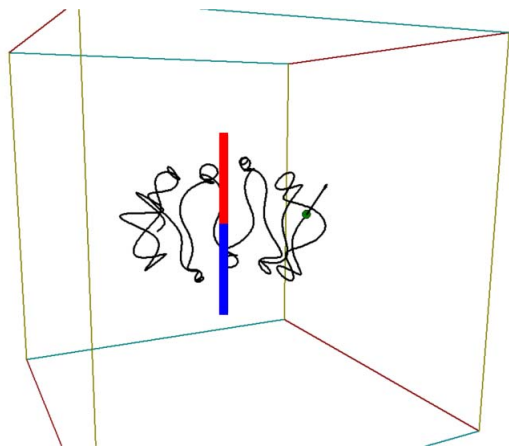
Elektromos dipólus terében szintén bonyolultan függ a kezdeti feltételektől a megvalósuló pálya alakja. Egy lehetőséget mutat a 2. ábra.

Mágneses mezőkben egészen más alakú pályák jönnek létre, mint elektromos mezőkben. Ennek oka az, hogy a Lorentz-erő merőleges a sebességvektorra. Nézzük először azt az esetet, amikor a pontszerű töltés homogén mágneses mezőben mozog és kezdősebessége se nem párhuzamos, se nem merőleges az indukcióvektorra. Ismeretes, hogy ilyenkor a pontszerű töltés csavarvonal alakú pályán halad, amelynek szimmetriatengelye párhuzamos az indukcióvonalakkal (3. ábra). Amennyiben a pontszerű töltésre például állandó nagyságú fékezőerő is hat, akkor a pálya sugara egyre kisebb lesz (4. ábra).

Dipólusmágnes vagy áramjárta toroid mágneses terében már bonyolultabb mozgás jöhet létre. A pont-

4. ábra. Homogén mágneses mezőben, szűkülő csavarvonal alakú pályán fékeződvé mozgó, pontszerű töltés.





5. ábra. Dipólus mágneses térben ide-oda mozgó, pontszerű töltés.

szzerű töltés, megfelelő kezdeti feltételek esetén, a két pólus között ide-oda mozogva körbejárhatja a dipólust. Ilyen mozgást végeznek, a Föld mágneses térnek hatására, a napszél elektromosan töltött részecskéi a Van Allen-övezetben (5. ábra).

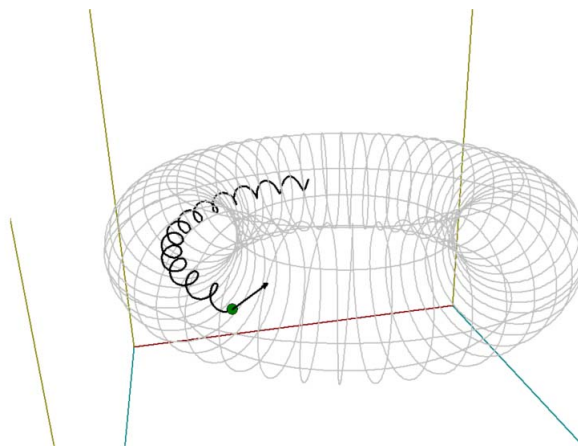
Toroid belsejében az indukcióvonalakat követve, azokat körülölelve, görbülő csavarvonal mentén haladnak a töltések, például a részecskegyorsítóknak vagy a kísérleti fúziós reaktorokban (6. ábra).

Végül tekintsünk egy elméleti jellegű példát. Egy igen hosszú, áramjárta egyenes vezetőtől bizonyos távolságban, a vezetékkel párhuzamos kezdősebességgel indítsunk el egy pontszerű töltést. (Ehhez hasonló probléma került kitűzésre a fizika OKTV egy régebbi fordulójában, csak ott a töltés kezdősebessége merőleges volt a vezetékre.) A kialakuló pályát a 7. ábra mutatja.

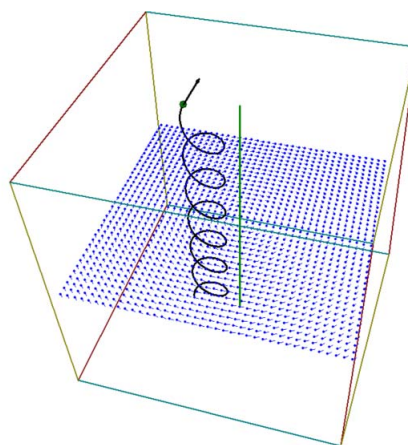
Megfelelő kísérletező kedvvel felvértezve a szimuláció segítségével könnyen létrehozhatunk további helyzeteket, a lehetőségek száma szinte kimeríthetetlen. A program letölthető a <http://szkladanyi.blog.hu> blogomról, ahol további fizikai szimulációk is találhatóak.

Összegzés

Egy olyan számítógépes szimulációt mutattam be, amellyel pontszerű töltés mozgása modellezhető különböző szerkezetű statikus elektromos és mágneses mezőkben. A program a középiskolai fizikaoktatásban jó lehetőséget nyújt a tananyag kiegészítésére, illetve a diákok tudásának elmélyítésére. Könnyen és



6. ábra. Toroid mágneses térben görbülő csavarvonal mentén mozgó, pontszerű töltés.



7. ábra. Áramjárta egyenes vezető mágneses térben mozgó, pontszerű töltés, ha a kezdősebesség párhuzamos az áramiránnyal.

eredményesen használható akár tanítási órán, akár szakköri keretek között, sőt, a diákok általi otthoni tanulmányozásra is.

Irodalom

1. Budó Ágoston: *Kísérleti fizika II*. Tankönyvkiadó, Szeged, 1972.
2. Zombory László: *Elektromágneses terek*. Műszaki Könyvkiadó Kft., Budapest, 2008. http://mkkonyvkiado.hu/wp-content/uploads/2015/04/Dr_Zombory_Laszlo_Elektromagneszes_terek.pdf
3. Van Allen-sugárzási öv, http://www.urvilag.hu/uridojaras/2016_0212_a_valtozatos_van_allenovok
4. Részecskegyorsító, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Részecskegyorsító>
5. Fúziós reaktor, https://hu.wikipedia.org/wiki/Fúziós_reaktor
6. Sarki fény, https://hu.wikipedia.org/wiki/Sarki_fény
7. Runge-Kutta-módszer, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Runge-Kutta-módszer>



**SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY
A FIZIKA BARÁTJA!**

**Támogasd adód 1%-ával az Eötvös Társulatot!
Adószámunk: 19815644-2-43**