

ELEKTRONIKUS ESZKÖZÖK
A GIMNÁZIUMI FIZIKA STATISZTIKUS JÁTÉKAIHOZ

Dr. Molnár Miklós - Dr. Papp Katalin

Módszertani bevezető

Az anyagi világ megszámlálhatatlanul sok részecskéből épül fel, amelyeknek a rendszertelen viselkedése /mozgás, ütközés, stb./ a statisztikus fizika módszereivel írható le. Ez lényegében a természetben előforduló sok atomra, molekulára alkalmazza a matematikai statisztika törvényeit. A középiskolai tanulóknak ilyen irányú matematikai ismereteik nincsenek, viszont a statisztikus törvények tendenciáit, következtetéseit szeretnénk a molekula-sokaság viselkedésének leírásához felhasználni, ezért van szükség a molekula-sokaság modellezésére /a végtelen szabadsági fokú rendszert végsé, kezelhetővé "dermesztjük"/, a véletlen szimulálására [1].

Az I. osztályos fizika tananyag egyik fő célja a *modellalkotásos gondolkodásmód* kialakítása. A tankönyvben a részecskéket korongokkal, körökkel, gombokkal, a véletlen ütközéseket kockadobással szemléltethetjük. Az így kialakított "anyagszerkezeti" modell természetesen nagyon egyszerű képe a valóságnak. Az "igazi" molekulák száma ugyanis nagyon nagy, nem számozhatók meg, a rendszertelen mozgást okozó ütközések száma végtelen, stb. [2, 3].

A statisztikus jelenségek törvényei leírásának egy másfajta megközelítésére jó lehetőséget nyújt a személyi számítógép, amelynek segítségével a "részecskeszámot" jelentősen megnövelhetjük, a véletlent pedig ún. véletlen-szám-generátorral szimuláljuk [6].

A következőkben olyan - a statisztikus jelenségek vizsgálatára alkalmas - viszonylag egyszerű kísérleti eszközo-

ket mutatunk be, amelyek jól felhasználhatók sok részecskéből álló rendszer modelljének megalkotásához, a statisztikus fizika tanításához. Ezek a "demonstrációs eszközök" nem helyettesítik sem a tanulók önálló munkáját /kockadobás/, sem a számítógépes szimulációt, hanem kiegészítésként használhatók a statisztikus jelenségek tanítására. Segítségükkel a Brown-mozgás, a diffúzió, az energia egyenletes eloszlása, stb. jelenségek modellezése más oldalról való megközelítéssel történik. A modell lényege, a levonható következtetés módszere és eredménye megegyezik a "kocka dobásos" módszernél alkalmazottal.

Az I. osztályos fizika tananyag tartalmából következik, hogy oktatási módszere nagymértékben támaszkodik a tanulók /manuális és szellemi/ aktivitására. A feldolgozás módszere gyakran lehet csoportmunka. A tanulók kis létszámú csoportokban kísérleteznek, végzik a megfigyeléseket, méréseket, becsléseket. Önálló munkájuk azonban nem teszi feleslegessé a tanári bemutatást, a demonstrációs kísérleteket. Gyakran az ésszerűség, a tananyag jellege, a tanulók életkori sajátosságai teszik szükségessé, hogy egyes jelenségeket tanári kísérlettel mutassunk be. A statisztikus modell-játékoknál természetesnek tűnik, hogy a tanulók a dobókockákkal, korongokkal manipuláljanak. Az általunk készített kísérleti eszközök tanári kísérletként való alkalmazása mellett mégis a következő szempontok szólnak.

1. Eszközeinknél a részecskéket modellező világító diódák vagy izzók, illetve az elektronikus dobókocka "oldalai" *minden tanuló számára egyszerre jól láthatók*, így biztosított az objektív megfigyelés lehetősége.

2. Mivel a kockadobást nyomógombos kapcsolókkal véghezvük, egy adott dobásszámot *rövidebb idő* alatt tudunk produkálni, a játék ütemét pedig nem a tanulók, hanem a tanár szabályozza a kívánt ritmusban. A heti "alig két órás" tárgynál ez az időnyereség nem elhanyagolható.

3. A modellezés, a modellalkotás szempontjai lényegében azonosak a kockadobásos modell-játéknál alkalmazottal, csak a kivitelezésben van eltérés. Ez a másfajta megközelítés *külső* a tanulók előtt *a modell lényegét*. Az ismertetendő eszközöket alkalmazva a valóságos részecskék talán nem kötődnek túlzottan a korongokhoz, golyókhoz, a véletlen szimulálása a dobókockához.

4. Ezek a kísérleti eszközök - a tapasztalatok szerint - *felkeltik a tanulók érdeklődését a fizika más területei iránt*, így az elektronikus kivitelezés a mechanikus modellek mellett motivációs lehetőséget is jelent.

Kísérleti eszközök és működésük

A statisztikus játékokhoz készített elektronikus eszközöknek az a feladatuk, hogy szimulálják mindazokat a folyamatokat, amelyekkel az I. osztályos fizika tananyagban található statisztikus játékok játszhatók, vagyis elektronikus uton - a kockadobáshoz és a pénzfeldobáshoz hasonló, - egyenlő gyakoriságú eseménysorozatot állítsanak elő.

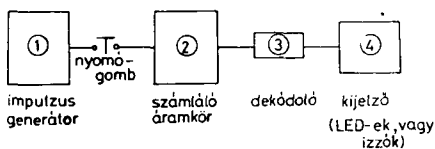
Az egyenlő gyakoriságú eseménysorozatnak - a "véletlen" szimulálásának - előállítására egy nagyfrekvenciás impulzusgenerátorral keltett impulzus-sorozat kínálkozik, amelyből csak véletlenszerűen választhatunk ki egy-egy impulzust. Ez biztosítja, hogy a kiragadott impulzusok, ill. a hozzátartozó, a kijelzőn megjelenített számok vagy pozíciók azonos gyakoriságúak. Az előzőekben általánosan megfogalmazott megoldást az egyes eszközöknél részletesebben, egy-egy blokkdiagramon is nyomonkísérhetjük.

a/ Az elektronikus dobókocka

Az egyszerű hatoldalú dobókocka egy elektronikus változata az 1. képen bemutatott eszköz. Működésének blokkdiagramját az 1. ábrán tüntettük fel.

A készülék működési elve a következő. Az 1-es funkcionális egység egy impulzusgenerátor, amely pl. egy 7400 jelű in-

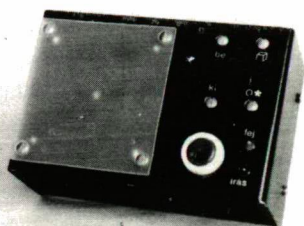
tegrált áramkörrel állítható elő [5]. Az IC-hez kapcsolt ellenállás és kapacitás értékeket úgy választjuk meg, hogy az egység által előállított négyszögrezgés frekvenciája elegendően nagy /néhányszor 10 kHz/ legyen. A jelsorozat, amelyet egy szabadonfutó astabil multivibrátorral állítunk elő, egy 7490-es jelű tízes számláló IC bemenetére kerül /2-es funkcionális egység/, ha a nyomógombot lenyomva tartjuk. A nyomógomb lenyomott állapotában az impulzus-sorozat hatására az IC négy



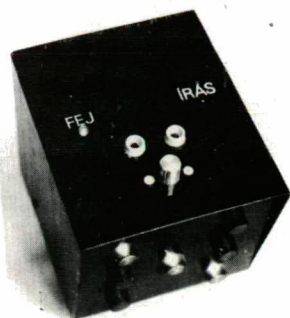
1. ábra: Az elektronikus dobókocka blokkdiagramja

kimenetének mindegyike statisztikusan aktív az impulzusgenerátor viszonylagosan nagy frekvenciája miatt. Ha a generátor és a számláló áramkör közötti kapcsolatot megszakítjuk, akkor a nagy frekvenciához viszonyított véletlenszerű megszakítás azt eredményezi, hogy a számláló négy kimenete közül statisztikusan azonos gyakorisággal lehet akár mind a négy, akár egy stb. aktív. Az aktív kimenetek száma természetesen attól függ, hogy a számláló a számlálásban a nyomógomb felengedésekor éppen hol tartott.

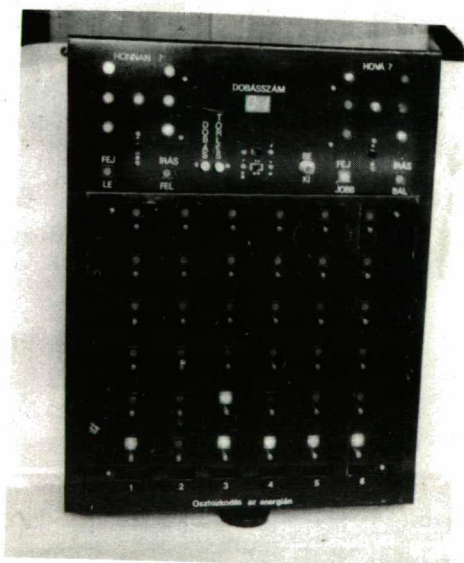
Ha a hatoldalú kockát akarjuk imitálni, biztosítanunk kell, hogy a számláló minden hat impulzus után alapállásba kerüljön, azaz 10-ről 6-ra kell dekódolni. /A 0 állapotot is kizárjuk./ Az impulzusgenerátorhoz felhasznált 7400 jelű IC még fel nem használt kapujaival és egy diódával elérhetjük,



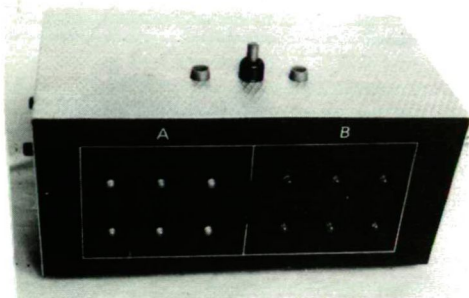
1.kép Az elektronikus
dobócocka



2.kép Az elektronikus
dobócocka izzós változata

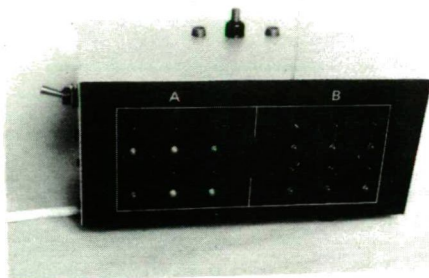


3.kép A kombinált tábla



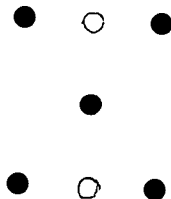
4.kép
A gázkiterjedést
modellező készülék
előlapja

5.kép
A gázkiterjedést
modellező készülék
hátlapja



6.kép
A bolyongást modellező
LED-soros készülék

hogy a közönséges dobókockának megfelelő pont-konfiguráció mutassa a "dobott" értéket. Ha ugyanis a számláló IC-hez és a dekódolóhoz megfelelő módon csatlakoztatunk hét darab világító diódát /LED-et/, akkor pl. ötös dobása esetén csak a 2. ábrán tömör körökkel jelölt LED-ek világítanak.



2. ábra. Az elektronikus dobókocka pont-konfigurációja

A megjelenített számok azonos gyakoriságát tehát az impulzusgenerátor nagy frekvenciája és a nyomógombnak /a nagy frekvenciához viszonyított/ véletlenszerű felengedőse biztosítja. Egyszerű nyomógomb alkalmazásánál a nyomógomb lenyomott állapotában - a nagy frekvencia miatt - minden LED egyszerre világít, jelezve, hogy a generátor "fut". Ha a tanulóknak az egymásutáni számlálást is be szeretnénk mutatni, akkor az oszcillátor lelassításával /pl. a kapacitás alkalmazásánál választott, elegendően nagy értékénél/ elérhetjük, hogy a LED-ek közül pontosan egy, kettő, három, ..., hat világítson a dobókocka pont-konfigurációjának megfelelő elrendezésben, mégpedig a számlálásnak megfelelő sorrendben.

Demonstrációs célokra alkalmasabb az elektronikus dobókockát szimuláló készülék 2. képen bemutatott változata, amelyen a LED-ek helyére kisfeszültségű izzókat teszünk. Természetesen előzőleg kapcsoló-tranzisztorokkal gondoskodunk arról, hogy az izzók a TTL-szintről is megfelelő áramerősséghez jussanak.

Mindkét dobókocka-változaton van lehetőség a "fej-írás" szimulálására is. Ez egy kapcsoló alkalmazásával megoldható

oly módon, hogy páratlan szám dobása esetén a középső LED vagy izzó helyett egy vele párhuzamosan kötött másik LED vagy izzó világítson, ami például a "fej"-nek felel meg. Ha páros számot dobunk, akkor a középső LED biztosan nem világít. Így az előző állapot negálásával az "írás"-hoz jutunk. Ez egyszerű feladat. Ha az egyes dobott számok relatív gyakorisága közel azonos, akkor a "fej" illetve "írás" gyakorisága is azonos lesz. Kis dobásszám esetén csak ez állítható!

b/ Kombinált tábla

Az I. osztályos fizika-tananyagban a tankönyvszerzők több statisztikus játékot javasolnak. Főként a tanárok munkáját segitendő, elkészítettünk egy olyan elektronikus eszközt - nevezzük ezt kombinált táblának -, amely tanári demonstrációra is alkalmas.

A kombinált táblát a 3. kép mutatja be. Fő részei: két, különböző színű izzókkal elkészített elektronikus dobókocka, valamint átkapcsoló segítségével kivilágítható további két-két különböző színű izzó, amelyek a "fej-írás" imitálására alkalmasak; egy nyomógomb, amely pergésmentesített, ami azt jelenti, hogy egy-egy lenyomás után csak egy impulzust juttat egy hétszegmenses kijelzővel összekötött számlálóegység bemenetére; 36 egyforma izzó, amelyek a statisztikai játékokban használt babszemeket, korongokat helyettesítik; uncserélhető maszkok, amelyeknek a készülékre való felhelyezésével a 36 izzóból annyit választunk ki, amennyi az adott játékhoz szükséges /pl. a "rend és rendetlenség" nevű játéknál két oszlopban 6-6 izzó, az "osztokodás az energián" nevű játéknál pedig 6 oszlopban kigyújtható 6-6 izzó, stb./.

A táblába beépített két elektronikus dobókocka az előzőekben ismertetett felépítésű. A nyomógomb helyett egy izosztátot /sorkapcsoló/ alkalmazunk. Ez lehetővé teszi, hogy lenyomásakor ne világítson a hét izzó közül egy sem, de az impulzusgenerátor fusson. A dobókockát alkotó hét izzó az izosztát lenyomásakor nem kap tápfeszültséget vagy földet, jóllehet a generátor "futása" miatt a számláló IC-nek mind a

négy kimenete aktiv. Ez a megoldás azért előnyös, mert a készülék az izzók világításakor a valódi dobás-értékeket mutatja, szemben az előző megoldásokkal, ahol a nyomógomb lenyomott állapota 7 LED, ill. izzó kigyulladását eredményezi, ami hamis dobásnak tűnhet a gyerekek szemében amíg a készülék működését, használatát el nem magyarázzuk.

Két tolókapcsolóval lehetővé válik, hogy vagy csak az egyik, vagy csak a másik, vagy mindkettő elektronikus dobókockát működtessük - attól függően, hogy az eljátszandó játékek hány dobókockát kíván.

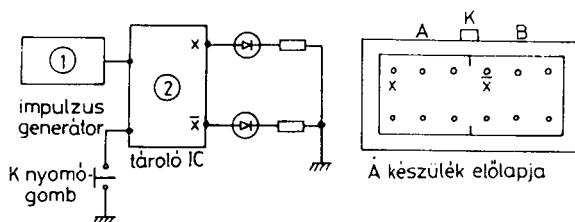
További egy-egy tolókapcsoló lehetővé teszi, hogy egy-egy dobókocka helyett egy-egy "fej-írás" játék legyen bekapcsolható. A készülék alkalmazását egy konkrét példával illusztráljuk. Ha "az osztozkodás az energián" című statisztikus játékot kívánjuk a tábla segítségével bemutatni, akkor a tolókapcsolókat úgy állítsuk be, hogy két dobókocka egyidejűleg, de egymástól függetlenül működjön. Helyezzük föl a készülékre a szóban forgó játékhoz tartozó maszkot, és a nullázó nyomógomb benyomásával a számlálót hozzuk alapállapotba /a hétszegnemeses kijelzők mindegyike 0-t mutat/. Az izzók alatti kapcsolók segítségével az egyes oszlopokban levő 6-6 izzó közül gyujtsunk fel annyit, amennyi szükséges, például az I. osztályos tankönyv feladatának megfelelően oszloponként egyet-egyet. Ez a kiinduló helyzet, azaz hat "golyónak" /oszlopok/ egy-egy energiaadagja legyen /az energiaadagokat tehát a világító izzók jelzik/. Az izosztát lenyomásával, majd felengedésével a dobókockák két véletlen-számot generálnak, miközben a számláló kijelzőjén az 1-es szám látszik, jelezvén, hogy egyszer dobtunk. Az egyik dobókockán megjelenő szám jelentse annak a "golyónak" /oszlopnak/ a sorszámát, amelyik energiát ad át, a másik dobókockán megjelenő pedig azét, amelyik az előzőtől átveszi az energiát. Az első számnak megfelelő oszlopban levő égőt oltjuk ki a kapcsoló segítségével, míg a másik számnak megfelelő oszlopban gyujtsunk ki egy további izzót. A kigyujtás-kioltás elvégzése után előállt egy újabb állapot. Ezt n-szer megisméteive,

n-dobás utáni állapotot rögzítenek az égő izzók, ugyanakkor a dobásszámot mutató kijelzőn éppen "n" áll.

A kombinált táblával - a maszkok változtatásával - játszhatjuk a "rend és rendetlenség", az "osztzkodás az energián", az "energia egyenletes eloszlása", az egy- és két dimenziós "bolyongás" nevű játékokat.

c/ *Elektronikus készülék a gázkiterjedés modellezéséhez*

Az I. gimnáziumi fizika anyag "rend és rendetlenség" című témakörének feldolgozása a munkafüzetben ajánlott módon /dobókockával, számozott korongokkal/ meglehetősen időigényes, különösen akkor, ha nagy dobásszámot dolgozunk fel, hogy értékelhető eredményt kapjunk. Időt nyerhetünk, ill. egy másik megvilágításba helyezhetjük a modell-játékot egy a gázok kiterjedését szimuláló elektronikus eszköz alkalmazásával. /4, 5. kép/ Az általunk összeállított készülék működését blokkdiagrammal vázoljuk /3. ábra/.



3. ábra. A gázkiterjedést modellező elektronikus készülék blokkdiagramja

Az 1-es blokk 7400 jelű IC-vel felépített asszimmetrikus astabil multivibrátor, melynek frekvenciája nagy, néhányszor 10 kHz. Az impulzusgenerátor jelsorozata a 7475 jelű IC-ből álló 2-es blokk bemenetére jut. Ezen IC egy tároló, amelynek X kimenetén a K nyomógomb lenyomásakor vagy van feszültség vagy nincs, attól függően, hogy a tároló engedélyező bemenete

és a jelsorozat együttesen mit eredményez. Ha az X kimenetre egy világító diódát /LED-et/ kötünk, az X állapotától függően vagy világít vagy nem. A tároló \bar{X} -al jelölt, az X állapot negáltjához tartozó kimeneten akkor és csak akkor van feszültség, ha X-en nincs, azaz a hozzá kapcsolt LED akkor és csak akkor világít, ha az X-hez kapcsolt LED nem világít, és megfordítva. Ha az X kimenetre kötött LED világít, akkor ez megfelel annak, hogy egy részecske az A térrészben van. Nyilván a B térrészben levő \bar{X} kimenetre kötött LED akkor világít, ha az X kimenetre kötött LED nem világít, ez pedig azt jelenti, hogy a részecske A-ból B-be átment. A generátor nagy frekvenciája és a nyomógomb ezen nagy frekvenciához viszonyított véletlen lenyomása biztosítja, hogy az A-beli és a B-beli "részecske" felvillanási gyakorisága azonos. Hat ilyen egység összekapcsolása adja a 6 részecskéből álló elektronikus "gázmodellt".

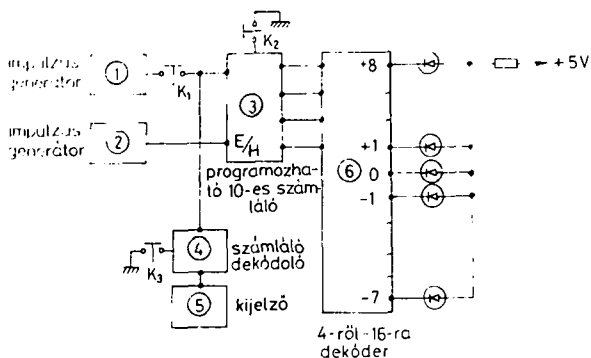
Ha a 7400 jelű IC-k nem kapnak földpotenciált, akkor a tároló X jelű kimenetei magas szinten vannak, tehát minden X jelű kimenetre kötött LED világít; ez felel meg a kiindulási állapotnak, amikor mind a 6 részecske az A térrészben van. /Ezt a helyzetet egy tolókapcsolóval állíthatjuk elő./

Ha a multivibrátort megvalósító IC-k megkapják a földpotenciált, akkor K szakaszos lenyomásával a 6 LED közül N számu $/N \leq 6/$ világít A-ban, illetve 6-N számu LED világít B-ben. Sok esetből hisztogramot szerkeszthetünk, amelyből meghatározható a legvalószínűbb eloszlás a két térrészben /4. kép/

A készülék hátoldalán /5. kép/ két gáz részecskéit, "golyóit" jelképező 6-6 /sárga és piros/ LED véletlenszerű felgyulladásra idézhető elő. Így két különböző gáz keveredése is modellezhető. Ha a K kapcsoló helyett egy relé záró érintkezőpárját alkalmazzuk, és a relét pl. egy négyzög alakú feszültséget szolgáltatató függvénygenerátor jelével tápláljuk, akkor külső beavatkozás nélkül is létrehozhatjuk a 6, ill. 12 részecske véletlenszerű eloszlását a két térrészben.

d/ LED-soros készülék az egy dimenziós "bolyongás" modellezéséhez

Az egy dimenziós "bolyongás" szemléltetésére készített kísérleti eszközünk, a LED-soros modell a gimnázium I. osztályos, még inkább a kísérleti IV. osztályos fizika tananyagának feldolgozásához nyújt segítséget /6. kép/. [4]. Sematikus felépítését a 4. ábra blokkdiagramja szemlélteti.



4. ábra. A LED-soros "bolyongás"-modell blokkdiagramja

A készülék működése a következő: A K_2 és K_3 nyomógombok lenyomásakor a kijelzőn a 0 szám jelenik meg, valamint a 6-os funkcionális egységnek /egy 4-ről 16-ra dekódoló 74154 jelű IC/ 0-val jelölt kimenete alacsony szintre kerül, míg a többi kimenet /-1, ..., -7 ill. +1, ..., +8/ magas szintre, ami azt eredményezi, hogy a 0 jelű kimenetre kötött LED világít. Ez a kiinduló állapot. A 6-os jelű egység bemeneteit egy programozható /74191 jelű/, előre-hátra számláló IC kimeneteivel kötöttük össze. A 2-es jelű impulzusgenerátor jelét a számlálás irányát megszabó E/H bemenetre visszük, ennek következtében a számláló előre vagy hátra számlál. Ha az 1-es jelű nagyfrekvenciás impulzusgenerátorból a K_1 pergésmentesített kap-

csoló lenyomásával a 3-as jelű egység bemenetére egyetlen impulzus jut, akkor egyrészt a 4-es jelű számlálóval összekötött 5-ös kijelzőn megjelenik az egyes szám, másrészt a beérkezett egyetlen impulzus hatására a 3-as jelű számláló egyet lép, vagy előre vagy hátra, azaz a 6-os jelű dekódernek a +1 vagy -1 jelű kimenete lesz alacsony, míg a többi magas, tehát vagy a +1-re vagy a -1-re kötött LED fog a 0-ra kötött LED helyett világítani. Ez azt jelenti, hogy a pont /a világító LED helye/ véletlenszerűen egy hellyel vagy negatív, vagy pozitív irányba tovább kerül. A K_1 újbóli lenyomására újabb egyetlen impulzus érkezik 3-ra, ennek eredményeként - az E/H állapotától függően, amely véletlenszerűen hol magas, hogy alacsony - a pont újból lép egyet vagy pozitív, vagy negatív irányba. A számláló kijelzőjén a kettes szám jelenik meg. A K_1 folyamatos lenyomása után a kijelzőn "n" jelenik meg, azaz n-szer lépett a bolyongó pont, ugyanakkor a -7, ..., +8 helyek valamelyikére kötött LED világít éppen.

Ha a számlálón kijelzett "n" érték és a világító LED pozícióját /s/ összehasonlítjuk, megállapíthatjuk, hogy az $s \approx \pm\sqrt{n}$ formula a modell alkalmazásával teljesül-e.

Ha az előre-hátra számlálás irányát megszabó generátor szimmetrikus, azaz az előre, ill. hátra számlálás gyakorisága azonos, akkor a pont a LED-soron viszonylag nagy "n" esetén / $n > 50$ / közelítőleg a $\pm\sqrt{n}$ helyen várható. Ha a generátor aszimmetrikus, akkor elképzelhető, hogy egyik irányba nagyobb valószínűséggel lép a pont. Ebben az esetben szintén rendelkezhető a modellhez fizikai tartalom /pl. gázrészecskék mozgása egy szobában, ha a szobában léghuzat van, vagyis ha a részecskék a rendezetlen mozgás mellett egy rendezett mozgást is végeznek/.

Valamennyi ismertetett eszköznek lényeges alkotórészei a digitális integrált áramkörök. A működésükhöz szükséges tápfeszültséget $\approx 5V$ a kisebbik dobókockánál 4,5 V-os zsebteleppel, a többi eszköznél a készülékbe épített 220 V-ról működő stabilizált 5 V-os tápegységgel biztosítottuk. Ha hét-szegmenses kijelzőt is felhasználtunk, akkor ezek "meghajtá-

tására" 7490 típusu számláló IC-eket és 7446 /vagy 7447/ dekódolókat alkalmaztunk.

Felhasználási Lehetőségek

A bemutatott kísérleti eszközök elsősorban tanári demonstrációs célokra készültek, azonban tanuló-kísérleti eszközökként is felhasználhatók. Szakköri foglalkozásokon szintén alkalmazhatók, ahol sokkal részletesebb vizsgálatokra és mélyebb diszkussziókra nyílik lehetőség, mint a tanítási órákon.

Az eszközök elektronikus megépítése felkeltheti a tanulók érdeklődését a fizika más területei /pl. az elektronika/ iránt is, ami nem elhanyagolható szempont az oktatási folyamatban.

A szerzők ezúton mondanak köszönetet Dr. Ketskeméty István egyetemi tanárnak, a JATE Kísérleti Fizikai Tanszék vezetőjének hasznos tanácsaiért, ösztönző érdeklődéséért.

IRODALOM

- [1] MARX GY.: A természet játékai — ATOM, Budapest, 1981.
- [2] BAKÁNYI M. - FODOR E. - MARX GY. - SARKADI I. - TÓTH E. - UJJ J.: Fizika a gimnázium I. osztálya számára — Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
- [3] FODOR E. - SARKADI I.: Munkafüzet az I. osztályos gimnáziumi fizikához — Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
- [4] TÓTH E.: Kísérleti munkafüzet a gimnázium IV. oszt. számára — Tankönyvkiadó, Budapest, 1982.
- [5] MAGYARI B.: Digitális IC-k — Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [6] KALAMÁR CS. - PAPP GY.-né: Statisztikus jelenségek és személyi számítógép a középiskolákban — A fizika tanítása, 1983/2. 42. o.

ELECTRONIC AIDS FOR STATISTICAL GAMES
IN GRAMMAR SCHOOL PHYSICS

by

Dr. Miklós Molnár and Dr. Katalin Papp

Summary

One of the main aims in first-year physics teaching in grammar schools is the development of a way of thinking based on the formation of models. The textbook authors present certain laws of statistical physics, and the models to be created, by means of statistical games.

In the course of the games recommended in the textbook, the pupils demonstrate chance collisions, for example, with dice, and model particles with discs, circles, spheres, etc.

The aids proposed were prepared for teaching demonstration purposes; with their help, all those statistical games can be presented which are necessary for the statistical models discussed in the textbook, and for their understanding. The articles presents four /integrated circuit/ electronic devices, and schematic block diagrams of their operation. These four devices are:

- a. an electronic dice to illustrate chance collisions;
- b. a combined table, with which all the statistical games in the first-year physics textbook can be played;
- c. an electronic apparatus for the modelling of gas expansion;
- d. a LED-series apparatus for the modelling of one-dimensional "migration".