

A MODERN FIZIKA ORVOSI ALKALMAZÁSAI – TANÁRI SZEMSZÖGBŐL

MEDICAL APPLICATIONS OF MODERN PHYSICS – FROM THE VIEW OF A TEACHER

Jávorné Radnóczy Katalin¹, Dr. Juhász András²

¹Mérnök-fizikus, fizika tanár, ²ELTE TTK Anyagfizikai Tanszék

ÖSSZEFOGLALÁS

Az azonos című tanári szakdolgozat néhány olyan orvosi eszköz illetve eljárás működését mutatja be, amelyek a modern fizikához kapcsolódnak. Köztük van a mágneses magrezonancia (NMR), a számítógépes tomográfia (CT), a pozitron-emissziós tomográfia (PET), a „hagyományos” vérnyomásmérés, az endoszkópia és az elektrokardiográfia (EKG). A diákok számára a személyes tapasztalathoz is kötődő, modern eszközök érdekeseek, miért ne bővíthetnék velük tudásukat szakkörön, vagy a fizika órán?

ABSTRACT

The teacher's diploma thesis with the same title presents the functioning of several medical instruments which use modern physics. A few of these are: nuclear magnetic resonance imaging (NMRI), computed tomography (CT), positron emission tomography (PET), beside the "conventional" blood pressure measurement, endoscopy and electrocardiography (ECG). Modern physics, connected with personal experience is interesting for the students, why not extend their knowledge with it at physics lessons?

KULCSSZAVAK/KEYWORDS

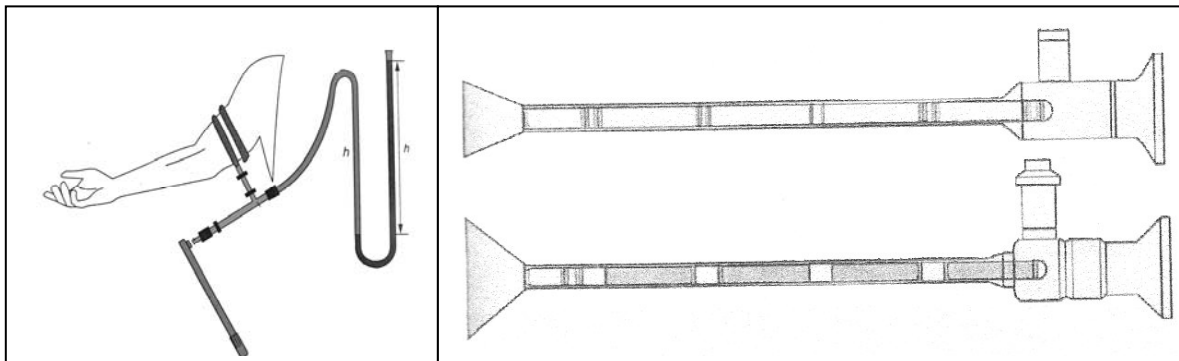
orvosi eszköz, modern fizika, alkalmazott tudomány
medical instrument, modern physics, applied science

BEVEZETÉS

Egy tanár számára a fizika orvosi alkalmazásaival való foglalkozás több szempontból is hasznos. Az orvosi vizsgálatokon a gyerekek személyesen találkozhatnak hasonló eszközökkel, és ezek felkelthetik érdeklődésüket. Ha megismerik őket, kevésbé félelmetesek, és így akár egészséges életmódra is nevelhetjük vele a gyerekeket. Ezek sokszor modern eszközök, melyek a technika csúcsát jelentik, a tudományos kutatás eredményei. Ennek kapcsán a gyerekek elméleti összefüggéseken túl alkalmazott tudományt ismerhetnek meg, ami a gyakorlatias gondolkodásukat is fejlesztheti. Ezen kívül ráébredhetnek, hogy a tudománynak gyakorlati haszna van, így a természettudományos gondolkodásmódot is megláttatjuk velük. A fizika és más tudományok (biológia, kémia, matematika, informatika) összekapcsolása és a fizika több területének együttes ismerete szükséges az eszközök működésének megértéséhez. Láthatjuk tehát, hogy a téma feldolgozása sok előnnyel jár a gyerekek és a tanárok számára. A továbbiakban ismertetjük a felsorolt eszközök működését.

VÉRNYOMÁSMÉRÉS

Az artériákban levő vér nyomása a szíveiklussal időben változik: a szív összehúzódásához tartozó, legmagasabb értékét systolés-, az elernyedéshez tartozó legalacsonyabbat diastolés vérnyomásnak hívjuk. Két hagyományos módszerrel szokták mérni [1]: az első az indirekt módszer, mikor a kari artériát a szív magasságában elszorítják egy mandzsettával, majd fokozatosan csökkentik annak nyomását. Amikor a mandzsetta-nyomás megegyezik a systoles vérnyomással, az artériában ismét vér kezd folyni, ám áramlása ekkor még örvényes, emiatt az elszorított rész alatt fonendoszkóppal az ún. Korotkoff-hangot halljuk. Az újabb eszközökben a fonendoszkópot mikrofon vagy piezoérzékelő helyettesíti. Tovább csökkentve a nyomást a mandzsettában, a diastolés nyomás alatt a vér áramlása ismét akadálymentessé válik, az örvényesség és a hang megszűnik. A direkt módszer során az artériába egy katétert vezetnek, amely egy közlekedőedényként szolgáló csövön keresztül egy membránhoz van kötve. A csövet fiziológiás sóoldat tölti ki. A vér ezt a folyadékot nyomja, amely a nyomást a membránhoz vezeti. Ezen egy nyújtható csík van, aminek a hossza és az átmérője, és ezzel az elektromos ellenállása megváltozik, ha a membránt nyomás éri. Ez a módszer jóval pontosabb az indirektnél. Iskolai kísérlettel [1] bemutathatjuk az indirekt módszert a következő eszközökkel (1. ábra): hosszú átlátszó gumicső (benzincső), bicikli belső gumi, T-elosztó, biciklipumpa, színezett víz, mérőszalag. Kezünkkel kitapintjuk a pulzust a csuklónál, az elszorítás alatt. Fokozatosan, lassan felfújjuk a karra többször felcsavart biciklibelsőt. Mikor már nem érezzük a pulzust, megmérjük a vízoszlop magasságát. Csak a systolés nyomást mérhetünk meg így, normál értéke 120 Hgmm, ami kb. 1,6 m-es vízoszlop nyomásának, 15,96 kPa-nak felel meg.



1. ábra (balra) [1]. Kísérlet a vérnyomásmérésre. 2. ábra (jobbra) [2]. A merev endoszkóp fajtái: hagyományos (fent) és hosszú lencsékkel (lent).

ENDOSZKÓPIA

Segítségével belenézhetünk az emberi test belsejébe – diagnózist állíthatunk fel, operáció is lehetséges [2]. Ha egy testnyíláson vezetik be az eszközt, a vizsgálat neve pl. gyomor-, vastagbél-,... tükrözés. Használható vérzés, gyulladás azonosítására és kezelésére, fájdalommentes mintavételre. Második lehetőség, hogy minimális vágáson keresztül (MIC, minimál invazív sebészet) térd-, vakbél,... műtétet végeznek, ekkor a beteg műtét után gyorsabban felépül, kevesebb fájdalom, komplikáció adódik.

Minden endoszkóp alapvető részei: objektív, okulár, fény-, és képátviteli rendszer. Két fajtája van, a hagyományos típus a merev endoszkóp, amely egy speciális távcső (Kepler-távcsőhöz hasonlít), a benne levő lencsék nagyítása mindig 1. Fordítólencsék sora viszi a képet az objektívtól az okulárig, melyeknek a fókuszsíkjai egybeesnek, akár a hagyományos távcsőnél. Egy fordítólencséhez (gyűjtőlencse, fókusznál távolabbi tárgy – megfordítja a képet) egy vetítőlencse (gy.l., fókusznál sokkal közelebbi tárgy – a következő lencsére vetíti a képet) is tartozik, ami a következő lencse fókuszsíkjába vetíti a képet. A merev endoszkóp

mélyélessége nagy, így nincs szükség fókuszálásra, normál (jól látó) szemmel mm-től a végtelen távol elhelyezkedő képről is éles képet ad. Hagyományos, vagy hosszú (botszerű) lencsékkel készül (2. ábra). Az utóbbinak jobb a fényvezetése, kevesebb a levegő-üveg határfelülete, így sokkal kontrasztosabb és nagyobb felbontású képet készíthetünk vele.

A korszerűbb típus, a hajlékony endoszkóp több szervet képes elérni, sőt kisebb a sérülés veszélye is. 2,8 mm átmérőjű munka-csatornával rendelkezik, a mini operációs eszközök számára. Képtviteli rendszerének lelke az üvegszál optika, amely képpontonként továbbítja az információt. 7-40 ezer db, precízen elrendezett, kb. 8 μm átmérőjű szál van benne, egyenként kisebb törésmutatójú köpenybe burkolva. Egy-egy üvegszálaban a fény teljes visszaverődésekkel terjed, ha megfelelő szögben érkezik a szálba.

Újabban videoszkópot használnak, melyben az endoszkóp végén csak egy CCD szenzor van, az információ (látható kép és számszerű adatok) rögtön a számítógépbe kerül. A kapszula-endoszkóp ennek egy továbbfejlesztett változata [3], mini CCD kamera, rádiójeladóval, melyet a beteg lenyel, és végigmegy a vékonybelén. 6-8 órán keresztül 2 képet küld másodpercenként a beteg a derekán hordott a vevőnek, melyeket végül számítógép rögzít.

ELEKTROKARDIOGRÁFIA

Az EKG egy olyan eszköz [4], [5], amely a szív elektromos tevékenységét képes regisztrálni az idő függvényében. Az elektrokardiogramból a szív működésének, illetve a működés periodikusságának zavaraira lehet következtetni.

Az ideg- és izomsejtek elektromos árammal továbbítják az ingerületeket. (Galvani, 1786, békacomb-kísérelt). Nyugalmi állapotban egy-egy szívizomsejtben kb. 90 mV a feszültség a sejtmembrán belseje (neg.) és külseje (poz.) között. Ezt polarizált állapotnak nevezik, amelyet Na^- és K^+ ionkoncentráció szabályozásával ér el egy-egy sejt. Inger hatására elektromos depolarizáció jöhet létre, melynek során a sejtfal hirtelen beereszti a Na ionokat. Ez váltja ki bonyolult élettani folyamatok során az izomsejt összehúzódását. Ekkor a polarizáció előjele meg is fordul, és -20 mV lesz a feszültség. Ezt követően, 105-300 ms múlva a sejt repolarizálódik. Az inger közben a következő sejtre is tovább terjed. Kb. 200 millió szívizomsejt van, de minden sejt dipól-járulékát vektorosan kell összegezni, így a depolarizáció kapcsán termelt energiának csak kb. 10%-a érvényesül az EKG-ban.

A szív jobb pitvarában található a szinuszcsozó, amely a szívizomsejtek egy csoportja, ún. vezérsejtek, amik önmagukban is lüktetnek. A követő sejtek, amik a munkaizomzatnak felelnek meg, csak akkor húzódnak össze, ha azokat rostok kapcsolják a vezérsejtekhez. A szinuszcsozó által létrehozott elektromos impulzus tovább terjed a szívben, meghatározott sorrendben összehúzva a kamrákat és pitvarokat. Eközben a szívben 0,1 V-os nagyságrendű feszültség van, amely időben és térben változik. Mivel az emberi test vezeti az áramot, a szív elektromos árameloszlást, és így potenciáeloszlást hoz létre a szervezetben, és a szív keltette elektromos impulzus a test felszínén is megjelenik.

Az EKG elvét William Einthoven holland élettanász fedezte fel. Einthoven egyszerűsítő feltételei (1. az emberi test vezető közeg, 2. ez a közeg homogén (valójában a vérnek kb 10x nagyobb a vezetőképessége, mint más szöveteknek), 3. a potenciálforrás dipól, 4. a dipól a közeg középpontjában van, 5. a szív működése közben a dipól helyzete nem változik) alapján a szív áram-dipólusnak tekinthető, amely egy áramforrásból, ill. -nyeléből áll. Ezt a dipólust hívják szívvektornak, ez hozza létre a testfelszín különböző pontjai közötti (már csak mV-os) elektromos feszültséget, amelyet az EKG készülékkel szokás mérni.

A testben az áram eloszlását áramvonalakkal ábrázolhatjuk, amelyek iránya az áram irányával megegyező, sűrűségük pedig az áram nagyságával arányos. Ezek az elektromos

térerősség erővonalainak is tekinthetők, mert a két mennyiség arányos egymással. Az ekvipotenciális felületek ezekre mindig merőlegesek. Az áramvonalak mindig a testfelszínnel párhuzamosak (ez a vezetőképes közeg határa), ezért az ekvipotenciális felületek merőlegesek a testfelszínre. Egy-egy kar, és a lábak viszont lényegében ekvipotenciális felületnek tekinthetők. Az ábrán látható az ún. Einthoven-háromszög (3. ábra), amelynek 2-2 csúcspontja közti feszültségekből a szívvektor mozgásának a test frontális síkjára vett vetülete rekonstruálható. Általában a háromszög három csúcspontja helyett a két karon és az egyik lábán helyezik el az elektródákat. Így az ábrán az I. a jobb kar és a bal kar, II. a jobb kar és az egyik láb, III. a bal kar és a láb között mérhető potenciálkülönbség. Minden EKG diagramhoz megadják, hogy melyik a viszonyítási pont (föld) pl. I. és II. esetén a jobb (R), III. esetén pedig a bal kéz (L). Így mindig lehet tudni, hogyan értelmezzük a diagramot.

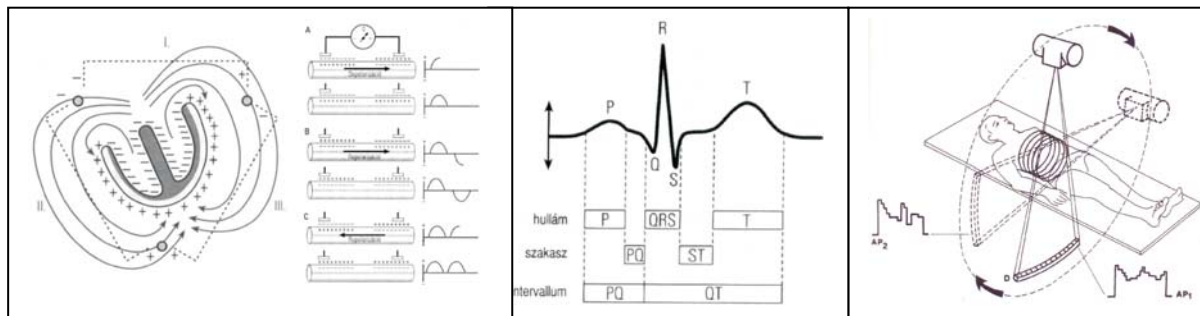
Elvileg egy elvezetés is elég, hogy a szívműködést nyomon kövessük, több elektródán mért jelek együttes megfigyelésével a szív tengelyállását is meg lehet állapítani, és a szívizom helyi vérellátási zavaraira következtethet az orvos (4. ábra).

Az EKG tanításához kísérlet kapcsolható [4]: 1. 1D modell a potenciál fogalmának bevezetéséhez: homogén grafitréteg műanyag rúdon. Két, nem szélső ponton állandó erősségű áramot folytatunk keresztül, mérjük a feszültséget két másik, változtatható helyzetű pont közt. Ábrázoljuk a potenciált a rúd hossza mentén, áramvonalakkal és ekvipotenciális felületekkel is szemléltetjük az eredményt.

Mi történik, ha

- megváltoztatjuk az áram irányát vagy erősségét?
- felcseréljük a feszültségmérő pólusait?
- megváltoztatjuk a potenciál nullpontját?

2. 2D modell: homogén grafitréteggel bevont korong (az emberi test modellje). Az áramforrás-és nyelő a korong belsején van, kívül mérjük az áramot. Feltérképezzük az áramvonalakat és potenciális felületeket. Az áramdipól (a szívvektort modellezi) vonalában megmérhetjük a potenciált. A szívvektor változtatható, Einthoven-háromszög képezhető.



3. ábra (balra) [8]. Einthoven-háromszög a szív (szürke „W”, a két kamra sematikus ábrázolása) körül, és a polarizációs viszonyok.

4. ábra (középen) [8]. Normál EKG diagram pl. „R” a bal kamra polarizációjának, összehúzódásának felel meg.

5. ábra (jobbra) [6]. A CTG

SZÁMÍTÓGÉPES TOMOGRÁFIA

Feltalálásáért 1979-ben Hounsfield és Cormack kapták a fizikai Nobel-díjat. Keskeny röntgen-sugárnyalábbal átvilágítják az emberi test egy bizonyos rétegét, és az adott irányhoz rendelt detektorok rögzítik a sugárnyaláb gyengülését (5. ábra). Ezután megfelelő matematikai programok a különböző irányú vetületi képekből a test egy belső, kis

térfogateleméhez tartozó abszorpciót kiszámolják, így 3D képet kaphatunk. Hatalmas előrelépést jelent a hagyományos röntgenvizsgálathoz képest, mivel számszerű adatok nyerhetők belőle, számítógépes feldolgozással. Ezen kívül igen kis abszorpciókülönbség is mérhető, emiatt a lágyrészek (pl. vér, véralvadék, zsír,...), is megkülönböztethetőek egymástól. [6], [7]

MÁGNESES MAGREZONANCIA

Ha az atommagnak spinje van, akkor saját mágneses momentuma (m) is van, amely kölcsönhat a külső mágneses térrel. Homogén B mágneses indukciójú térben m B iránya körül precesszál f_P frekvenciával (pl. $B = 1$ T esetén $f_P = 42,6$ MHz, rádiófrekvencia). A kvantummechanikából tudjuk, hogy a tér irányába eső komponens csak diszkrét értékeket vehet fel. Ha a homogén tér mellett arra merőleges síkban f frekvenciájú külső tér is jelen van, egy-egy atommag ebből energiát nyelhet el, ha $f = f_P$, rezonancia abszorpcióról beszélünk. Amennyiben a nagyfrekvenciás (NF) külső tér megszűnik, relaxáció következik, amely feszültséget indukál egy külső tekercsben. Ez az NMR (angolul „Nuclear Magnetic Resonance”) jel, melynek nagysága arányos az atommagok számával, időbeli lefolyása a mag kötöttségére utal. A spinek relaxációjának két oka van: kölcsönhatásuk a ráccsal (az atommag környezetével) és a többi magspinnel. E két kölcsönhatásra két különböző relaxációs idő (T_1 ill. T_2) jellemző, amelyeket az NMR vizsgálat során szintén meghatároznak.

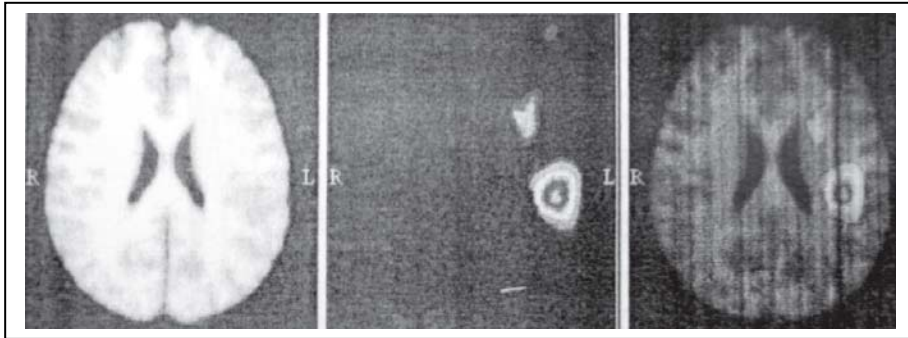
Orvosi alkalmazás szempontjából az is lényeges, hogy csak a páratlan tömegszámú atommagoknak van magspinje (pl. az élő szervezetben a 1H , ^{13}C , ^{15}N , ^{19}F , ^{31}P , ^{43}Ca). Általában a víz (protonok) eloszlását vizsgálják a szervezetben, 0,1 mm felbontással. A test különböző rétegeinek különböző kis elemeit vizsgálják, ehhez gradienstereket alkalmaznak. A nagy mágneses tereket állandó mágnessel hozzák létre, a rádió-hullámkeltést és a detektálást a beteget körülvevő tekerccsel. A képalkotó eljárásban a protonkoncentrációt és a T_1 ill. T_2 relaxációs időket határozzák meg pontról pontra, az így nyert három kép mindegyike hatékony eszköz lehet a diagnózis felállításában. A módszer előnye, hogy nem káros a szervezetre. Az agy, bőr, zsírszövet, gerincvelő, szív és érrendszer vizsgálatára használják.

A funkcionális MRI az NMR vizsgálatok egy fajtája, amely kihasználja, hogy a vér mágneses szuszeptibilitása erősen függ az oxigénnel való telítettségétől, mivel az oxihemoglobin diamágneses, a dezoxi-Hb pedig paramágneses. A szuszeptibilitás befolyásolja a spin-spin relaxációs időt, és így az NMR jel időbeli lefolyását. Lehetőség nyílik pl. az agy aktivált régióinak azonosítása révén a gondolkodás vizsgálatára. [6], [7]

POZITRON EMISSZIÓS TOMOGRÁFIA

Ebben a vizsgálatban pozitronforrást juttatnak a szervezetbe (ultrarövid felezési idejű C-, N-, O-, v. H-izotópot, ezért ciklotron közelébe kell telepíteni). A bomlás során kisugárzott pozitron a szövetekben kb. 1-2 mm lefutása után annihilálódik a szervezet elektronjával, így keletkezik két darab, min. 511 keV energiájú foton, melyek az impulzus megmaradás miatt ellentétes irányban mozognak. Detektorpárok azonosítják az annihiláció helyét. A detektorok gyűrűszerű geometriában helyezkednek el, és azt mérik, hány koincidencia-esemény történik egy-egy irány mentén. A különböző irányokban mért koincidencia-eloszlásokból számítógép segítségével határozzák meg a radioaktivitás eloszlását a szervezetben, eközben kiszűrik a szóródás vagy a véletlenül egybeesés miatt tévesen regisztrált eseményeket. A vizsgálat során a testben levő radioaktivitásnak akár az időbeli eloszlása is feltérképezhető, így pl. a keringés, (agy) anyagcsere korábban elképzelhetetlen finomságú vizsgálata válik lehetővé. Leggyakrabban az ^{18}F -izotóppal jelölt dezoxi-glükózt (FDG) használják, ami a fiziológias glükózzal azonos módon szívódik fel. Sok tumorban fokozott a sejtek anyagcseréje, így az egész testre vonatkozó vizsgálatokban ezeket a tumorokat meg lehet találni. A PET módszer

hátránya az alacsony felbontása (4-6 mm), ezt más vizsgálati módszerekkel való együttes alkalmazással lehet korrigálni (6. ábra). [6], [7]



6. ábra [7]. Agyi aktivitás PET és MRI képe, valamint a fúziós kép (jobbra).

SUGÁRTERÁPIA

Ha az élő szervezetet sugárzás éri, benne bizonyos atomok, ionok, átalakulnak. Ez a sejt fontos molekuláiban kémiai reakciókat okozhat, és így a molekula már nem tudja ellátni eredeti feladatát. A sejt ezután igyekszik kijavítani ezeket a sérüléseket, de ha ez nem sikerül, sejthalált eredményezhet. Kis dózisu sugárzás hatására is megsérülhetnek pl. alapvető anyagcsere folyamatok. Minden esetben statisztikus folyamatról van szó, a tumor besugárzásánál is. A tumor lokális kontrollja azt jelenti, hogy az a kezelést követően nem újul ki, és a beteg panaszmentes. A cél, hogy minél pontosabban körülhatárolják a besugárzott térfogatot, hogy a környező szövetek ne sérüljenek. Döntően röntgensugárzással kezelik a daganatokat, mert ez a mélyen ülő daganatokhoz is eljut, és kevés szórt sugárzás jut a szomszédos szervekre, de létezik nehéz töltött részecskékkel (pl. mezonok, protonok, alfa-részecskék, szén-, neon atommagok; előnye az éles sugárzási kontúr), nagyenergiájú elektronokkal, és gamma-sugárzással (pl. ^{60}Co) végzett terápia is. Az ún. közelbesugárzás pedig azt jelenti, hogy zárt radioaktív forrást helyeznek valamelyik testüregbe (pl. ^{192}Ir). A besugárzás tervezését fizikus végzi az orvos segítségével. [7]

ÖSSZEFOGLALÁS

Bemutattuk néhány érdekes, modern orvosi eszköz működését. Ajánljuk a témát olyan tanároknak, akik nyitottak modern témákra, és olyan diákoknak, akiket érdekel a gyógyítás és a biológia. A fenti módszerek, műszerek oktatásba való beintegrálása komplex módon fejlesztheti a gyerekek gondolkodását. Használhatják szakkörön, akár kísérletekkel is, adott témakörben érdekességként megemlítve vagy a diák kérdésére válaszul.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

J. R. K. köszönetet mond a poszter elkészítésében nyújtott segítségért Radnóczy Andrásnak és Jávor Szabolcsnak, valamint Dr. Jávor Andrásnak és Dr. Jávor Kingának az orvosi témákban való eligazításért.

IRODALOMJEGYZÉK

1. W. Müller: Der Blutdruck..., Praxis der Naturwissenschaften, Physik, 7/49 (2000)
2. W. Müller: Endoskopie..., Praxis der Naturwissenschaften, Physik, 7/49 (2000)
3. EB, Deutsches Aerzteblatt, 99/28-29 (2002) www.aerzteblatt.de
4. H. Theyßen, D. Schumacher: Praxis der Naturwissenschaften, Physik, 8/53, (2004)

5. Antalóczy Z.: A szív elektromos működésének vizsgálata, Medicina, Budapest, 1972
6. Horváth F. A radiológia alapfogalmai, Medicina, Budapest, 1995
7. Fényes T.: Atommagfizika I. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2007
8. Fonyó A.: Az orvosi élettan tankönyve, Medicina, Budapest, 2004

SZERZŐK

Jávorné Radnóczy Katalin, kisgyermekét otthon gondozza, jrkatalin@gmail.com

Dr. Juhász András, tanszékvezető, ELTE TTK Anyagfizikai Tanszék, 1117 Budapest,

Pázmány P. sétány 1/A, juhy@ludens.elte.hu