

Fizikai Szemle 2007/7. 232.o.

FIZIKA A KÖRNYEZETTUDOMÁNYBAN

Kiss Ádám

ELTE, Atomfizikai Tanszék A környezettudományra a 21. század elején gyorsan fejlődő, egyre nagyobb figyelmet keltő önálló tudományként lehet tekinteni. A környezettel kapcsolatban felmerülő szinte minden kérdéshez szükség van fizikai ismeretekre. Ez az írás a környezettudománynak azokat a jelentős területeit tekinti át, amelyeknél a fizikai ismeretek döntő szerepet játszanak. Ezek a környezeti áramlások, a zaj és a zajvédelem, a környezeti anyagtudomány, a sugárzások és az energetika, amelyek mindegyikéhez néhány megjegyzést fűzünk.

A környezettudomány viszonya a klasszikus természettudományokhoz

Korunk legnagyobb problémái között több olyan is van, amely környezetünk állapotával kapcsolatos. Az utóbbi évszázadban egyre gyorsuló mértékben szaporodtak azok a kérdések, amelyeket az emberi tevékenység és a természetes környezet kölcsönhatása vetett fel. E kérdésekre az volt a jellemző, hogy általában egyszerre több tudomány területén szerzett ismeretekre volt szükség a problémák tudományos vizsgálatához. Ezekből az először pár évtizede felmerült, több tudományterületet egyszerre érintő problémákból hosszabb idő alatt egy önálló tudomány alakult ki: a környezettudomány. A környezettudomány kérdésfelvetései, módszerei, belső törvényszerűségei eltérnek a klasszikus tudományoknál megszokottaktól. Közben a közérdeklődés is fokozatosan a környezetés természetvédelem felé fordult. Mindezek hatására jött létre az a 21. század elejét jellemző helyzet, hogy a környezettudomány a leggyorsabban fejlődő tudományok közé került.

A környezettudományt úgy lehet meghatározni, hogy az a Földre, természeti és alkotott alrendszerei jellemzőire, azok összefüggéseire, megőrzésére, változásai előrejelzésére és kialakítására vonatkozó ismeretek összessége. Tehát a környezettudomány tárgya röviden megfogalmazva maga a Föld, a földi környezet. Minden ismeret, ami ezt gyarapítja, ide tartozik. A környezeti jelenségek összetettsége, bonyolult összefüggései miatt általában több különböző tudomány elemei játszanak szerepet a vizsgálatoknál és a jelenségek megértésénél. A környezet fontos kérdéseinek vizsgálata mindig multi- és interdiszciplináris jelleget mutat.

A környezettudomány problémáinak jelentős része olyan, hogy indíttatásukban a biológiai, kémiai és földtudományi jelenségeknek döntő szerepük volt. Ezért találkozhatunk még ma is több helyen olyan nézettel, amely a környezet kérdéseit ezeknek a klasszikus természettudományoknak a szempontjából értékelve még a környezettudomány önálló voltát is kétségbe vonják. Pedig még az így értékelt jelenségek vizsgálatánál is mindenütt megjelenik társadalmi, műszaki és egyéb természettudományos ismeretek szükségessége.

Szinte minden, a környezetünkre vonatkozó tény, összefüggés feltáráshoz valamilyen mértékig szükség van fizikai ismeretekre is. Még olyankor is, amikor a legfontosabb mozzanatok távol vannak a fizikától. Például a körülöttünk lévő élővilág és a környezet egymásra hatásakor gyakran mindez csak mellékesen jelentkezik. Vannak azonban olyan fontos környezetünkre vonatkozó kérdések, amelyeknél a fizikai ismeretek döntőek és megkerülhetetlenek.

Hangsúlyozzuk ugyanakkor, hogy ezek a kérdések nem a fizika kérdései, csak a fizika szerepe jelentős a

problémakör tárgyalásában. A következőkben éppen ezeket a legfontosabb környezetfizikai területeket fogjuk röviden áttekinteni.

A fizika a környezettudományok kiemelt területein

A környezetfizika fő területeihez a környezeti áramlások, a zaj és zajvédelem, a környezeti anyagtudomány, a sugárzások és annak hatásai és az energetika kérdései tartoznak. Bár a továbbiakban nem fogunk szót ejteni róluk, itt megemlíjtük, hogy a környezettudományi gyakorlat számos alkalmazott vizsgálati módszere a fizikában kifejlesztett eljárások egyszerű átvételét jelenti. Ezek megértése a háttérben lévő fizikai ismeretek nélkül nem lehetséges.

A környezeti áramlások

A környezeti áramlások problémaköre a földi környezet megismerésének egyik legfontosabb területét jelenti. Ide tartoznak az óceánok globális áramlásainak tanulmányozása, a klíma és az időjárási jelenségek vizsgálata, az anyagok (szennyezések is!) terjedése a talajban, a vizekben és a légkörben. A kémiai minőségükben meg nem változó anyagok helyváltoztatásának, áramlásának, sodródásának kérdései nyilván alapvetően a fizika törvényeivel leírt folyamatokkal határozhatók meg.

A környezeti áramlások témaköre kiemelten fontos környezetünk jövőbeni alakulása szempontjából, és ezért ez az egyik legnagyobb jelentőségű környezetfizikai témakör. Tekintettel azonban arra, hogy *Az atomoktól a csillagokig* előadássorozatban két korábbi előadás [\[1, 2\]](#) is foglalkozott ide illeszkedő kérdéskörökkel, így mi további megjegyzést ehhez most nem fűzünk.

A zaj és zajvédelem

A zaj a káros hatású, emberi tevékenység által keltett hangot jelenti. A zaj a mai világ egyik nagy és állandóan fokozódó környezeti ártalma. A zaj tudományának alapjai megegyeznek a hangtan alapjaival és természetesen a fizikához tartoznak. A zajmérés módszerei, a kísérleti eljárások mindegyike a fizikához köthető. Ugyanakkor a zaj környezetet, egyént - annak minden biológiai esetlegességével és változatoságával - és társadalmi életet befolyásoló volta világossá teszi, hogy annak zavaró, káros hatásának megértésében, leírásában és a zajvédelemben a fizika csak segédtudomány.

A zajhatás a környezeti ártalmak egyik legnyilvánvalóbbja. A probléma nagyságára jellemző, hogy az Európai Unióban mintegy 100 millió ember (az EU lakosságának ötöde) állandóan káros zajnak van kitéve, és további 200 millió polgárt időszakosan zavar a zaj. A zaj káros hatásai többek között betegségekben, munkaidő-kiesésben, figyelemcsökkenés miatti hibákban nyilvánul meg. Természetesen ennek anyagi hatását nehéz megbecsülni, de abban az elemzők egyetértenek, hogy a nemzeti össztermék (GDP) 0,2- 2%-a (ez kb. száz milliárd euró nagyságrendű) emiatt vész el.

A hangot az ember a fülével érzékeli. A fül valóban a legcsodálatosabb érzékszervünk. Gondoljuk csak meg, hogy a hanghullámok frekvenciájában három nagyságrendet (20 Hz-től 20 kHz-ig) fog át, míg intenzitásában tizennégy nagyságrend az eltérés a hallásküszöbtől a fájdalomhatárig! Az ember füle ~1 bar (100 ezer Pa) állandó környezeti nyomás mellett 20 μ Pa változást már észrevesz. A fül érzékenysége függ a frekvenciától, legérzékenyebb az 1-3 kHz tartományban (talán nem véletlen, hogy a síró csecsemő által adott hangok uralkodó frekvenciája is ebben a

tartományban van). A hallóképesség az ember korával gyengül, az idős emberek elsősorban a magasabb frekvenciájú hangokat nem hallják. Az emlős állatok füle más frekvenciákat is érzékelhet, mint az emberi fül. A kutyák például egészen 30 kHz-ig hallanak, a denevérek pedig magas frekvenciájú (~100 kHz) hangok visszaverődésének érzékelésével tájékozódnak. Végül érdemes azt is megemlíteni, hogy a fülünkkel már nem érzékelt hangok, az infra- és az ultrahangok is kiválthatnak fiziológiai hatásokat. Az emberi fül nagyon bonyolult, de egyúttal csodálatos működése felderítéséért kapott Nobel-díjat 1961-ben a magyar *Békésy György* - elsősorban olyan vizsgálataiért, amelyeket még az Egyesült Államokba történt emigrálása előtt Magyarországon végzett el.

Mi a fizika szerepe a zaj kutatásában és a zajvédelemben? A válasz erre a kérdésre az, hogy a zajok keltésére, terjedésére és egyéb tényleges jellemzőire vonatkozó minden fogalom, mérési módszer a fizikától származik.

Az emberre való hatásaik szempontjából különböző típusú zajok jellemzőinek meghatározása és mérése fizikusi feladat. Így például a folyamatos, az időszakos, az impulzusszerű, a folyamatos zajon kiemelkedő frekvenciával zavaró zajhatások jellemzőinek (zajindikátoroknak) kiválasztása és kísérleti vizsgálata bizonyosan a környezetfizikához tartozik. A zajforrások azonosítása, a különböző körülmények közötti zajterjedés törvényeinek meghatározása is a hang fizikájából levezetett feladat. Fizikai alapjai vannak a zajvédelem módszereinek is. A zajtérképek felvétele pontos metodika szerint végrehajtott, időt és hozzáértést követelő, a térinformatikát is igénybe vevő igényes fizikusi feladat.

A zaj jelentős károkat okozó hatásának felismerése a megelőzés szempontjait is felvetette. Ez egyrészt jogi, társadalomszervezési kérdéskör, másrészt új követelmények megjelenéséhez vezetett például az épülettervezés és a tájtervezés elvi és gyakorlati megvalósításánál.

Magyarországon a zajkutatás és a zajvédelem nagy jövő, óriási fejlődés és átalakulás előtt álló, komoly intellektuális kihívásokat jelentő, sok szakembert váró területe a környezetvédelemnek.

A környezeti anyagtudomány

A környezeti anyagtudomány a gyakorlatban felhasználandó új anyagok tervezésének és tényleges előállításának a környezeti szempontokat figyelembe vevő korszerű területét jelenti. Fontos, hogy a modern világban olyan anyagokat alkalmazzunk, amelyek a lehető legkisebb környezeti terhelést jelentik mind használatuk alatt, mind pedig azt követően, hogy az alkalmazási idejük lejártá után hulladékká válnak. A használati anyagok előállításakor alkalmazott technológiáknak is olyanoknak kell lenniük, hogy azok is kevésbé terheljék a környezetet. Mindezeknek a szempontoknak a figyelembe vétele komoly követelményt jelent mind a tudományos vizsgálatok, mind pedig a választott technológiai folyamatok oldaláról.

A környezeti anyagtudomány területe szoros kapcsolatban van a szilárdtestfizikával, egyáltalán az anyagtudomány elsősorban fizikusok által művelt területével.

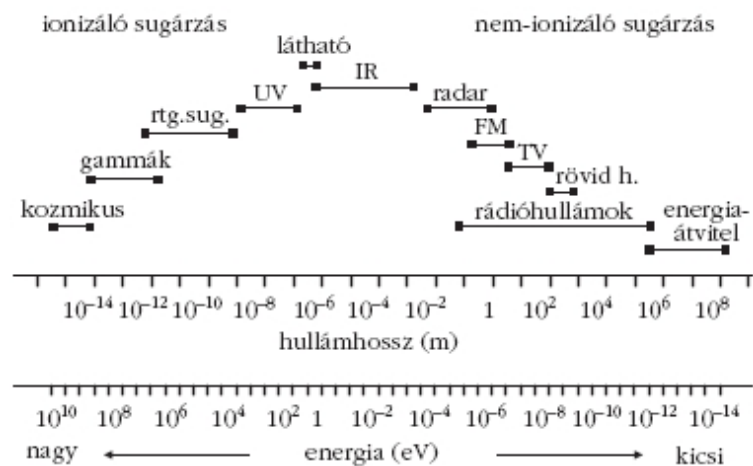
A környezeti sugárzások

Környezetünkben számos, különféle sugárzás van jelen, állandóan sugárzásnak vagyunk kitéve. E sugárzások egy része természetes eredetű, másik részét emberi tevékenység hozza létre.

A sugárzás sok biológiai rendszerekre, így az emberi szervezetre való hatásánál fontos elválasztó pont, hogy a sugárzás

olyan energiájú-e, hogy képes ionizálni az anyaggal történő kölcsönhatásakor vagy nem. Az az energia, amely már képes ionizációt létrehozni a néhányszor 10 eV kvantumenergia körül van. Az ennél nagyobb energiájú sugárzások ionizálnak és biológiai hatásuk markánsan más, erőteljesebb, mint a nem-ionizálóké.

Egy másik felosztásra a sugárzás jellege ad módot. A környezeti sugárzások zöme elektromágneses (EM) sugárzás. Ez a legalacsonyabb frekvenciáktól, a sztatikus terektől a kozmikus sugárzás részeként a világűrben érkező $\sim 10^{10}$ eV óriási kvantumenergiáig tart. A környezeti sugárzások másik csoportjába a részecskesugárzások tartoznak, amelyek forrása a radioaktív atommagok bomlása, a kozmikus sugárzás és mesterséges részecskesugárzások lehetnek.



1. ábra. A megfigyelt teljes elektromágneses spektrum. A frekvenciát és a hullámhosszt logaritmikus egységekben ábrázoltuk.

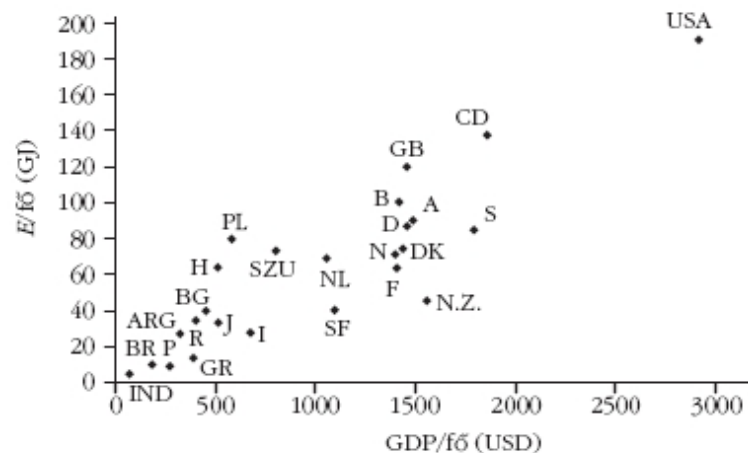
A környezetünkben fellépő EM sugárzásokat az [1. ábra](#) tekinti át. A spektrumban megtalálhatjuk az emberi élet alapját jelentő, a Naptól származó, főleg az optikai tartományba eső sugárzást éppúgy, mint a mindennapi információigényünket kielégítő rádió-, TV-sugárzásokat, a mobiltelefonok és a radarok működési frekvenciáit, az elektromos hálózati frekvenciákat, vagy az ionizáló tartományban a röntgen- és a gammasugárzások kozmikus eredetű részét. A különböző frekvenciatartományokba tartozó EM-kvantumok anyaggal való kölcsönhatása minőségileg eltér egymástól, egységesen még tárgyalni sem lehet.

Melyek azok a tartományok, amelyekbe tartozó sugárzástól védeni kell az emberi társadalmat? A látható és az ultraibolya fénynél nagyobb kvantumenergiájú sugárzások jelentős dózistól már bizonyosan. Az azonban, hogy a modern világunkban oly széles körben felhasznált EM-sugárzások mely dózisszintjénél kell a rádió, TV, vagy mobiltelefonok korlátozását elrendelni erősen vitatott, és legtöbbször a megbízható tudományos kutatási eredmények is hiányoznak a kérdés eldöntéséhez.

Az ionizáló és nem-ionizáló sugárzások elleni védekezés, akár részecske-, akár EM-sugárzásról van szó, a sugárvédelem feladata. Ennek módszerei kivétel nélkül a fizikusok által kidolgozott eljárások. Az eredmények értelmezése és a következtetések levonása viszont már a környezettudomány feladata.

Az energetika környezeti vonatkozásai

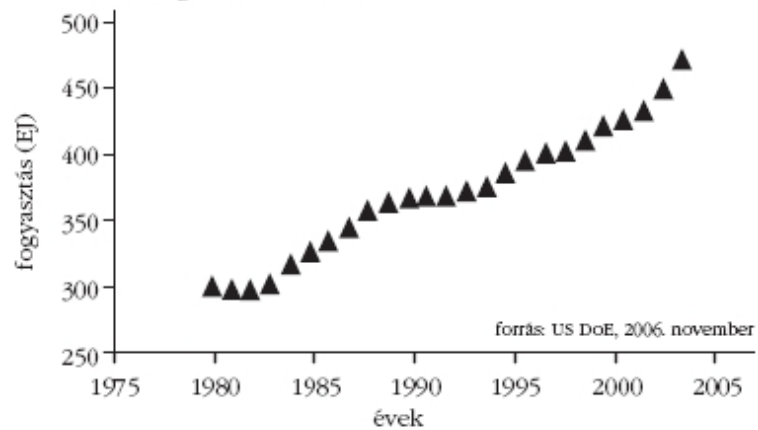
Az utóbbi évtizedek társadalmi-gazdasági folyamatainak elemzése rámutatott arra, hogy az emberi társadalmak energiaellátása az emberiség egyik sorskérdése. Bár az energetika bizonyosan nem fizika, mégis a természettudományok közül ehhez áll a legközelebb. Ráadásul a legfontosabb irányzatok felismeréséhez elengedhetetlenül szükséges a fizikusi szemlélet, amely a tényeket képes összefoglalóan értékelni, és alkalmas arra, hogy a tájékozódásra felkínált javaslatokat a gyakorlat oldaláról is megfelelően értékelje, továbbá nagyságrendi becsléseivel eligazodik a lehetőségek között. A következőkben az energetika fő területeihez fűzünk néhány, a fizikusi szemlélet vezérelte megjegyzést.



2. ábra. Az egy főre eső elfogyasztott energiamennyiség függése a megtermelt hozzáadott értéktől 1970-ben. Az egyes pontokhoz a szóban forgó ország jelét odaírtuk.

Az emberi társadalmak működtetéséhez energiára van szükség. Bár nem közvetlenül nyilvánvaló, de az elemzések szerint a különböző fejlettségű társadalmak állapotának jellemzésére mindig jó paraméter volt az egy főre eső energiafogyasztás. Általában igaz volt mindig, hogy minél bonyolultabb egy társadalom, az egy főre eső energiafogyasztás annál nagyobb. 1970 körül volt az az utolsó időszak, amikor a különböző országok számára az olcsó energia lényegében korlátlanul rendelkezésre állt. A [2. ábrán](#) az 1970-es adatok alapján mutatjuk be két látszólag olyan távoli paraméter egymástól való függését, mint az egy főre eső GDP és az energiafogyasztás. Az ábrából nyilvánvaló a két mennyiség közötti korreláció és az, hogy azok a társadalmak voltak gazdagok, amelyek sok energiát fogyasztottak. Az ez után következő energiaválságokra a különböző kultúrák más és más választ adtak, és az előbbi korreláció csak az azonos kultúrkör (pl. az Európai Unió) országai között maradt igaz. Ugyanakkor, bár minden politikus és szakember tudta, hogy sok ok miatt takarékoskodni kell az energiával, 1980 és 2005 között a világ országainak energiafogyasztása jelentősen, 44%-kal 471 EJ-ra növekedett ([3. ábra](#)). Közben az energetika a világ legnagyobb egycélú üzletévé nőtt, amelynek nagyságrendje elérte a csillagászati, az évi tízezermilliárd, és az óránkénti egymilliárd dollárt.

3. ábra. A földi társadalmak energiafogyasztásának változása az 1980-tól 2005-ig tartó időszakban.



Mitől függ az energiafogyasztás növekedése? Ezt a kérdést alaposan vizsgálták. Kiderült, hogy egyetlen olyan paramétert találtak, amellyel az energiafogyasztás korrelál és ez a Földön élő emberek száma. A 4. ábra mutatja, hogy az egy főre eső energiafogyasztás egy negyedszázada néhány százalékon belül lényegében állandó volt. Úgy tűnik, hogy mindaddig, ameddig az emberek száma nem ér el egy állandó értéket, az össz-energiafogyasztás nőni fog.

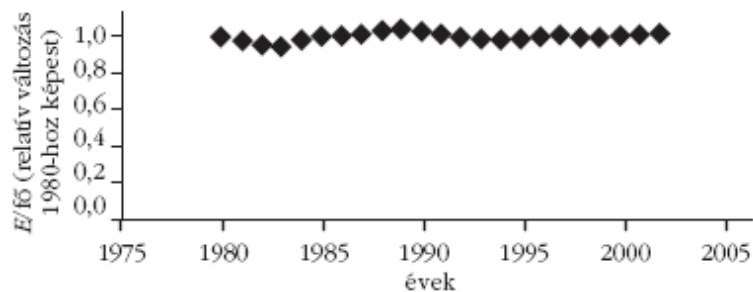
Ugyanakkor az egyetlen olyan paraméter, amely az energetikában mintegy 80 év óta alig változott az a szám volt, amely a fosszilis energiahordozóknak a teljes energiafogyasztásban való részarányát mutatja meg. Ez a részarány az 1920-as évektől vizsgálva mindig 82 és 87% között volt. A fosszilis energiahordozók azonban egyrészt bizonyosan csak korlátos mennyiségben találhatóak a Földön (a kőolaj- és földgázkészleteket külön-külön egyaránt 6-10 ezer EJ energiatartalmúnak becsülik), másrészt pedig komoly környezeti károkat okozhatnak. A fosszilis energiahordozók nagyléptékű felhasználása előrevetíti a klímaváltozás katasztrófákkal együtt járó lehetőségét.

Milyen lehetőségeink vannak az energiahányból levezethető sötét jövő elkerülésére? Csak a tudomány eredményeinek felhasználása segíthet!

Az első lehetőség természetesen az energiatakarékosság. Az energiatakarékossághoz elemezni kell, hogy mire használjuk az energiát. Kiderül, hogy két nagy tételben, az energiamérlegben közel 40%-ban szereplő térfűtésben és a 20%-kal szereplő közlekedésben akár egy ötös faktort is meg lehet takarítani. Ehhez azonban komoly fizikai-mérnöki kutatásokra, és az eredmények elterjesztésénél és gyakorlatba való átviteléhez szükséges társadalmi fogadókészségre van szükség.

A másik lehetőség a megújuló energiaforrások kifejlesztése és gyakorlatban való felhasználása. Itt a napenergia közvetlen és közvetett felhasználására, vagyis a biotömeg, a szél, a víz energiatermelésre való befogására, valamint a geotermikus energia hasznosítására gondolunk. Mindezen energiatermelési lehetőségek közös nehézsége, hogy az energiasűrűségük igen alacsony, és nehezen képzelhető el, hogy pár évtizeden belül az emberi társadalmak energiaigényének számottevő részét ezekből a forrásokból fedezzük. Ugyanakkor minden egyes esetben bizonyított, hogy az előbb említett energiaforrások mindegyike alkalmas az energiatermelésre. A tényleges megvalósítás és a gazdaságosság kérdése azoktól a kutatásoktól függ, amelyeket a fizikusok vezető részvételével elvégeznek.

4. ábra. A földi társadalmak egy főre eső átlagos energiafogyasztása 1980-tól 2002-ig. A fogyasztás néhány százalékon belül állandónak adódott.



A harmadik lehetőség az atomenergia - mint a jelenleg egyetlen, az energiatermelés szempontjából bizonyított nagytechnológia - fokozottabb felhasználása. Ez vonatkozik a jelenlegi hasadási erőművek továbbfejlesztésére, biztonságos változatainak kidolgozására. Ehhez az atomerőművek új generációjára van szükség, amely elemeinek kifejlesztésére - megfelelő kutatások után -, úgy tűnik, lehetőség is van. A hasadási energiatermeléssel kapcsolatos számos probléma (az atomerőművek baleseti biztonsága, a nukleáris hulladékok kezelése, az atomfegyverek elterjedése) mérlegelése után is úgy gondolom, hogy az atomerőművek reneszánszát meg fogjuk élni, mint olyan energiaforrást, amely környezeti szempontból kevesebb kárt okoz, mint a többi energiatermelési eljárás.

Külön érdemes beszélni azokról az erőfeszítésekről, amelyek a fúziós energiatermelés megvalósításával kapcsolatosak. A dél-franciaországi Cadaracheban 2006 óta folyik a világ vezető gazdasági hatalmainak közös támogatásával egy nemzetközi kísérleti fúziós reaktor, az ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) építése. Az építési fázis várhatóan 2016-ig tart, utána mintegy tíz évig kísérleti vizsgálatok következnek. Ezt követheti majd a demonstrációs fúziós reaktor kifejlesztése. Így a fúziós energia, amely az emberiség energiaigényét, a várakozások szerint, a leginkább környezetbarát módon tudja kielégíteni, leghamarabb mintegy 50 év múlva teheti ki számottevő hányadát az elfogyasztott energiának.

Az energiajövő számos buktató miatt egyáltalán nem tűnik könnyűnek. Bármely megoldás a környezet jelentős terhelését jelenti. A fizikusok hozzájárulására azonban minden szinten szükség van, ha meg kívánjuk őrizni elérhető környezetünket az utódaink számára.



Összefoglalva, azt láthatjuk, hogy a környezettudományban legalább öt olyan alapvetően fontos terület van, amelynek műveléséhez a fizikai ismeretek elkerülhetetlenek, amelyeknél a döntő fontosságú kutatásokat, értelmezéseket csak alapos fizikai ismeretekkel rendelkezők végezhetik el. Éppen ezért minden olyan, a fizikai témák iránt érdeklődő fiatal, aki elkötelezett az emberi környezet következő generáció számára való megőrzése iránt, bíztatunk arra, hogy az itt tárgyalt, nyilvánvalóan általános érdeklődésre számot tartó, témák valamelyikével foglalkozzon. A témákban elérhető komoly új tudományos eredményekkel, gyakorlati fejlesztésekkel kiváló személyes karriert lehet felépíteni.

Irodalom

1. Jánosi I., *Globális klímaváltozás és a természeti katasztrófák*. 2005/2006 tanév 1. előadás

2. Tél T., *Örvények, festékek, káosz: a keveredés fizikája*. 2005/ 2006 tanév, 9. előadás