



A Mi MICSODA könyvsorozat Európa jó néhány országában már nagy sikert aratott. Eddig több mint 20 millió példány jutott el az olvasókhöz. Magyarországon eddig az alábbi kötetek jelentek meg:

1. Bálnák és delfinek
2. Ahogy az állatok látnak, hallanak és éreznek
3. A csillagok
4. Gladiátorok
5. Természeti katasztrófák
6. Vándorutak az állatvilágban
7. Múmiák
8. Az esőerdő
9. Atomenergia
10. Olimpiák
11. A népvándorlás
12. A Nap
13. Az idő
14. Macskák
15. Modern fizika
16. Felfedezők és utazásaik
17. Elefántok
18. Hidak
19. Háziállatok
20. Szamurájok
21. Emberszabású majmok
22. Lovagok
23. A sarkvidékek
24. Cápák és ráják
25. Gombák, mohák és harasztok

Előkészületben:

26. Barlangok



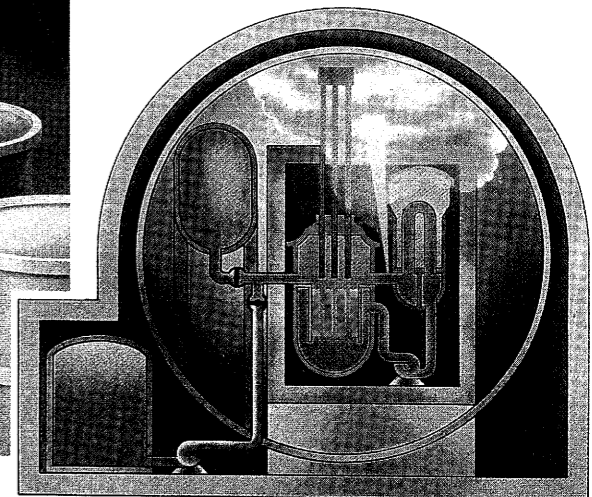
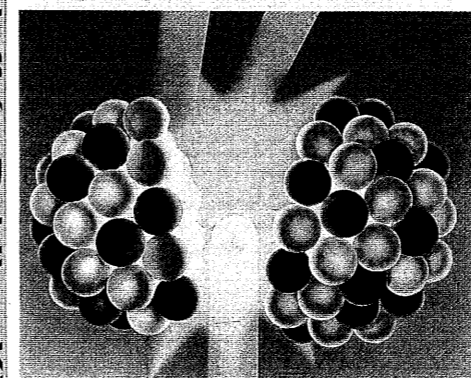
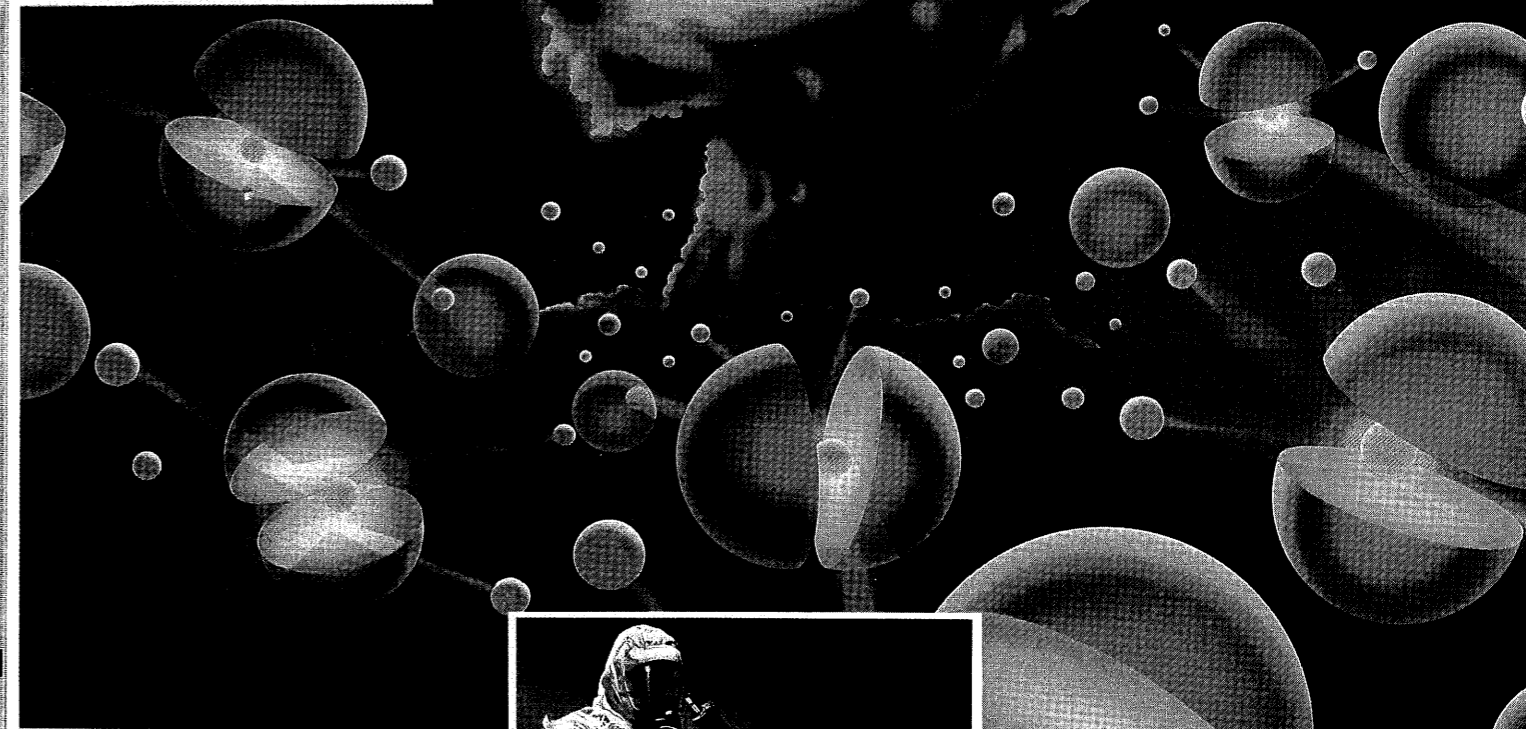
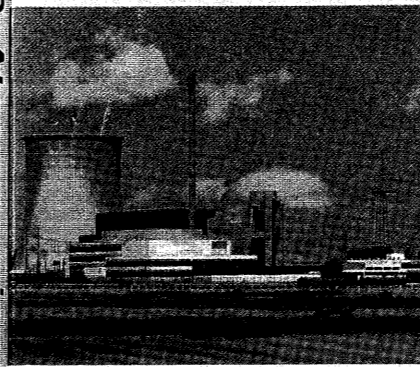
A sorozat megrendelhető a kiadónál.
1067 Budapest, Teréz krt. 41.

Tessloff és Babilon Kiadó



Atom- energia

IMI MICSODA I 9. Atomenergia



Tessloff és Babilon Kiadó

Előszó

A fizika, és talán az egész emberiség legújabb kori történelmének is legfontosabb felfedezése egy alapvető összefüggés képlete. A formula igen egyszerű:

$E = mc^2$. Azt fejezi ki, hogy az anyag párányi része hatalmas energiává alakítható át. A képletet Albert Einstein állította fel 1905-ben, de még ma is alapvető feltétele az atomenergia, a maghasadás és a magfúzió, a reaktor és az atombomba, a napsugárzás és a részecskefizika megértésének. 1945-ben, Hirosimában csupán egyetlen gramm anyag energiává való átalakítása okozta kétszázezer ember halálát, és egyetlen kilogramm urán-235-ös annyi energiát termel, mint 67 darab 30 tonnás tartályvagon tüzelőolaj.

Ezt az anyag minden morzsányi darabjában benne rejtőzködő óriási energiát az emberiség korábban nem hasznosíthatta, hiszen az atommagot csak századunkban fedezték fel, s az atommag tömegének jelentős csökkenése az, ami fedezi a felszabaduló energiát. Ennek a könyvnek a segítségével bekukkanthatunk az atommagok világába, megismerkedhetünk az atomtechnika alapvető fogalmaival és eszközeivel.

Az atomenergia békés felhasználása mindennapi életünk szerves részévé vált. Hazánkban a Paksi Atomerőmű már 1983 óta termel villamos energiát. Az atomerőművek jelenléte azonban mindig újabb és újabb problémákat vet fel.

Az 1986. áprilisi, csernobili reaktorbaleset azt is megmutatta számunkra, hogy milyen súlyos következményei lehetnek az

atomenergia felhasználásának. Az atomenergia hasznosítása révén számos új fogalom került be a köztudatba, mint például a „gyors-tenyésztőreaktorok”, az „atomhulladékok újrafelhasználása (a reprocessálás)”, és az „atomhulladékok végleges tárolása hulladéktemetőkben”. Egyúttal a régebben használatos mértékegységek, mint például a kalória (cal), a dózis (rem), a curie (Ci), érvényüket veszítették.

A jelenleg is üzemelő Paksi Atomerőmű további bővítéséről és újabb atomerőmű felépítéséről ma is folyik a vita a szakemberek és a lakosság körében. Az atomenergia kérdéseiről szólva nehéz tárgyilagosságnak maradni, hiszen az korlátlanul használható fel békés és háborús célokra egyaránt. A közhangulat és a különböző politikai felfogások hatására könnyen egyik végtől a másikba eshetünk, a technika iránti rajongástól egészen a jövőtől való bénító félelemig.

Ezzel a kötettel szeretnénk sokoldalúan segítséget nyújtani az olvasónak ahhoz, hogy az atommagtechnikáról önálló véleményt alakíthasson ki, amennyire ez 48 oldalon lehetséges.

Bemutatjuk mindazt, ami a jövőnkre nézve hatalmas előnyt hozhat az atomenergia felhasználása terén, de bemutatjuk azt a borzalmas veszélyt is, ami az atomenergia csődjéhez, az atomháborúhoz vezethet.

A MI MICSODA sorozat hagyományaihoz híven igyekszünk ennek a tudományág-nak minden fontos fogalmát tisztázni.

A könyv eredeti címe: Atomenergie * WAS IST WAS * Band 3
Copyright © Tessloff Verlag * Nürnberg 1988

Képförrásjegyzék:
Planetarium Hamburg (13), Fotoarchiv Öul (4), dpa (3), Deutsches Atomforum e.V. (1),
Foto 13 o. f: Fotostudio Schulze-Alex, Luftamt Hamburg, 238/87.

Fordította: Szabadi László
Szakmailag lektorálta: Orha Zoltán
Szerkesztette: Lévai Júlia
A kiadásért felel: Babai Éva, a Tessloff és Babilon Kft. ügyvezető igazgatója
Copyright Hungarian version © Tessloff és Babilon Kiadó * Budapest * 1992
A nyomdai szedést készítette: Profi-L Kft. Scan+Graphic Stúdiója, Budapest
Printed in Germany

Jelen könyv egészének vagy részének utánnomással, fotóeljárással, vagy bármilyen más módon történő reprodukálása és terjesztése csak a kiadó előzetes írásbeli hozzájárulásával lehetséges.

ISSN 0866-109X
ISBN 963 7937 064

Tartalom

Az energia és társai

Mi az energia?	4
Mérhető-e az energia?	5
Milyen energiaforrásaink vannak?	6
Mit értünk elsődleges és másodlagos energián?	7
Ki használja fel a legtöbb energiát?	7
Kimerülőben vannak-e a Föld energiaforrásai?	8
Mi az anyag?	8
Átalakítható-e az anyag energiává?	9

Az atommag világa

Mi az atom?	11
Milyen az atom felépítése?	12
Miből áll az atommag?	13
Hogyan különböztethetők meg az elemek?	14
Mi az izotóp?	14
Miért nem robban szét az atommag?	15
Mi a radioaktivitás?	15
Hogyan bomlik az atommag?	16
Mi a felezési idő?	16
Mit nevezünk aktivitásnak és dózissnak?	17
Hogyan hasítható szét az atommag?	18
Miért hasad jól a mag, ha neutronnal bombázzuk?	18
Mi történik egy uránmag hasadáskor?	19
Mit nevezünk láncreakciónak?	20
Miért kell az uránt dúsítani?	21
Mi a neutronlassító, vagy más néven moderátor?	22
Mi a magfúzió?	22
Honnan szerzi a Nap az energiáját?	23

A jelen és a jövő atomerőművei

Mi az erőmű?	24
Mi az atomerőmű?	25
Hogyan működik a forralóvízes reaktor?	26

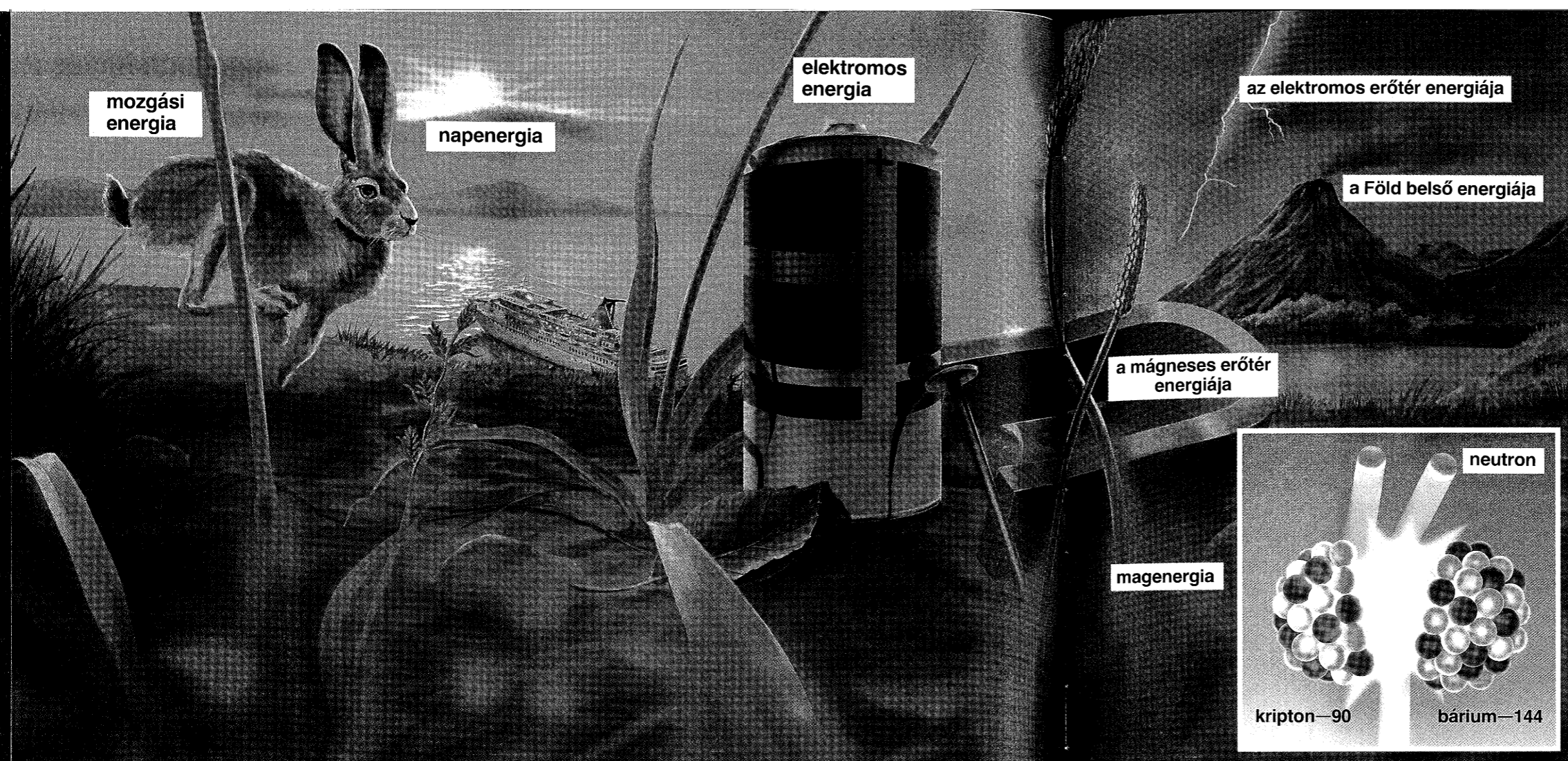
Hogyan működik a nyomottvízes reaktor?	27
Milyen a tenyésztőreaktor?	28
Hogyan működik a magashőmérsékletű reaktor?	30
A magfúzió lesz a 21-edik század fő energiaforrása?	30

Az üzemanyag körforgalma

Uránbányászat — fűtőelemgyártás és újrafelhasználás	
Mit értünk a nukleáris üzemanyag-körforgáson?	32
Hogyan vonható ki az érc urántartalma?	33
Hogyan dúsítható az urán?	33
Miként állítják elő a fűtőelemeket?	35
Hogyan szállíthatók a kiégett üzemanyagrudak?	35
Mi történik a kiégett fűtőelemekkel?	36
Mi a reprocesszálmű?	37
Hová kerülhet az atomhulladék?	38
Lehet-e a hulladékot biztonságosan tárolni?	38
Gazdaságos-e az atomenergia-termelés?	40

Atomenergia és környezet

Veszélyes-e az atomerőmű?	41
Szennyez-e az atomerőművek a környezetet?	43
Veszélyes-e az újrafeldolgozás?	44
Biztonságosak-e a hulladéktemetők?	44
Befolyásolják-e a hűtőtoronyok az időjárást?	45
Veszélyesek-e az országhatárokon túl is az atomtechnikai berendezések?	46
Válhat-e az erőmű bombává?	46
Mi az atombomba?	46
Mi a hidrogénbomba?	47
Hogyan nézne ki a világ egy atomháború után?	47
Támogassam, vagy elutasítsam az atomenergiát?	48



Az energia sokféle alakban rejtőzködik.

Az energia és társai

Sokat beszélünk manapság az energiáról.

Mi az energia?

Eszünk egy szelet finom csokit, és azt mondjuk: visszaadja energiánkat. Látnunk egy életerős fiatal embert, és megállapítjuk, hogy tele van energiával. A tanárok energikusan lépnek közbe, ha kell. A tudósok nagyenergiájú fizikával foglalkoznak, a politikusok és a közgazdászok pedig nap-, szél- és atomenergiáról beszélnek. Ugyanakkor maguk a szakemberek sem tudják pontosan megfogalmazni, hogy valójában mi is az az energia? Nem járunk messze az igazságtól, ha az ener-

giát konzervált munkának, vagyis munkavégző képességnek tekintjük. Energia kell ahhoz, hogy valamit mozgásba hozzunk, felgyorsítsunk vagy felemeljünk, és energia kell ahhoz is, hogy valamit felmelegítsünk vagy megvilágítsunk. Energiadús táplálék nélkül nem lehetséges az élet, energia nélkül nem mehetne az autó, és energia nélkül hideg maradna a fűtőtest. Energia nem keletkezhet a semmiből, és nem tűnhet el nyomtalanul. Az energiát azonban elő lehet csalogatni természetes energiaforrásokból: szénből, földgázból, uránból, és át lehet alakítani az ember számára hasznos energiává, például hővé vagy fénné.

A természet számtalan módon tárolja az energiát: a felduzzasztott víznek helyzeti energiája van, a száguldó autónak pedig mozgási energiája. Rugalmas energiát tárol a kihúzott csúzl, elektromos energiát pedig a zivatarfelhő. A napsugárzás fény alakjában is szállít energiát a Földre. A fűtőolaj kémiai energiát, az urán pedig a sokat vitatott magenergiát tárolja. Kötetünk ez utóbbival foglalkozik.

A hosszúságot méterben vagy centiméterben mérjük, az időt másodpercben, percben vagy órában. Természetesen az energiának is van mértékegysége. Az egyik legismertebb a kilowattóra (kWh). A háztartások áramfelhasználását is kilowattórában mérik. To-

Mérhető-e az energia?

vábbi fontos mértékegységei még a joule (J), a wattsekundum (Ws) és a kőszénegység (KE). 1 tonna kőszénegység (1 t KE) az az energia, ami 1 tonna átlagos minőségű kőszén elégetésekor szabadul fel.

Az energia mértékegységei

1 joule (J)
1 wattsekundum (Ws) = 1 J
1 kilowattóra (kWh) = 3 600 000 Ws
1 tonna kőszénegység (t KE) = 8141 kWh

A kilokalória (kcal) elsősorban azok számára ismerős, akik vigyáznak a vonalaikra. A kcal ma már nem hivatalos (SI) mértékegység, de a legkevésbé sem valószínű, hogy a mindennapi életből gyorsan eltűnik.

Meg kell ismerkednünk egy másik fontos fogalommal, a teljesítménnyel is.

Egy erőmű teljesítményén azt értjük, hogy időegység — például egy másodperc — alatt mennyi energiát képes termelni. Egy elektromos készülék teljesítményadata kifejezi, hogy időegységenként, például másodpercenként mennyi energiát fogyaszt.

A teljesítmény mértékegységei

1 watt (W)
1 kilowatt (kW) = 1 000 W
1 megawatt (MW) = 1 000 000 W = 1 000 kW

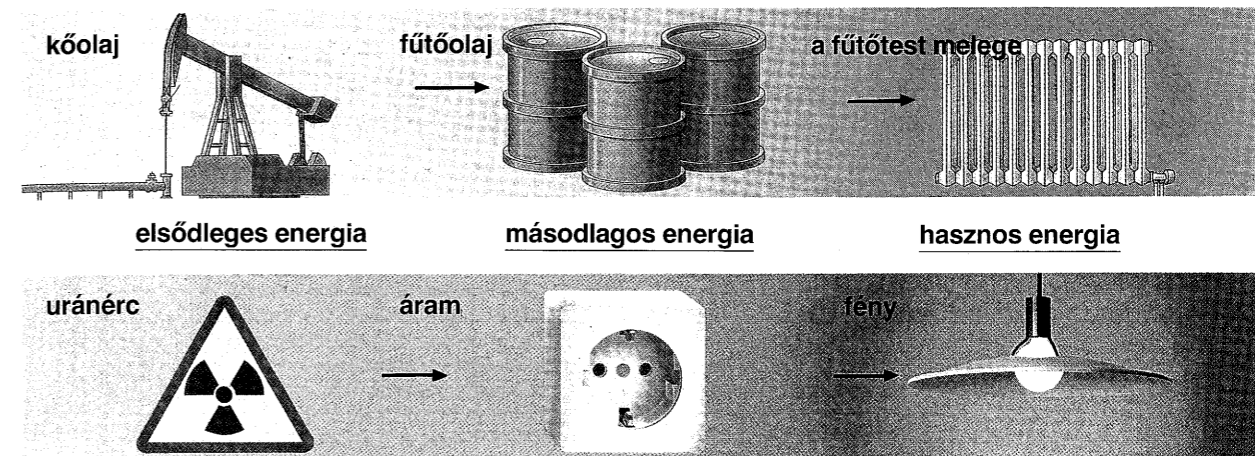
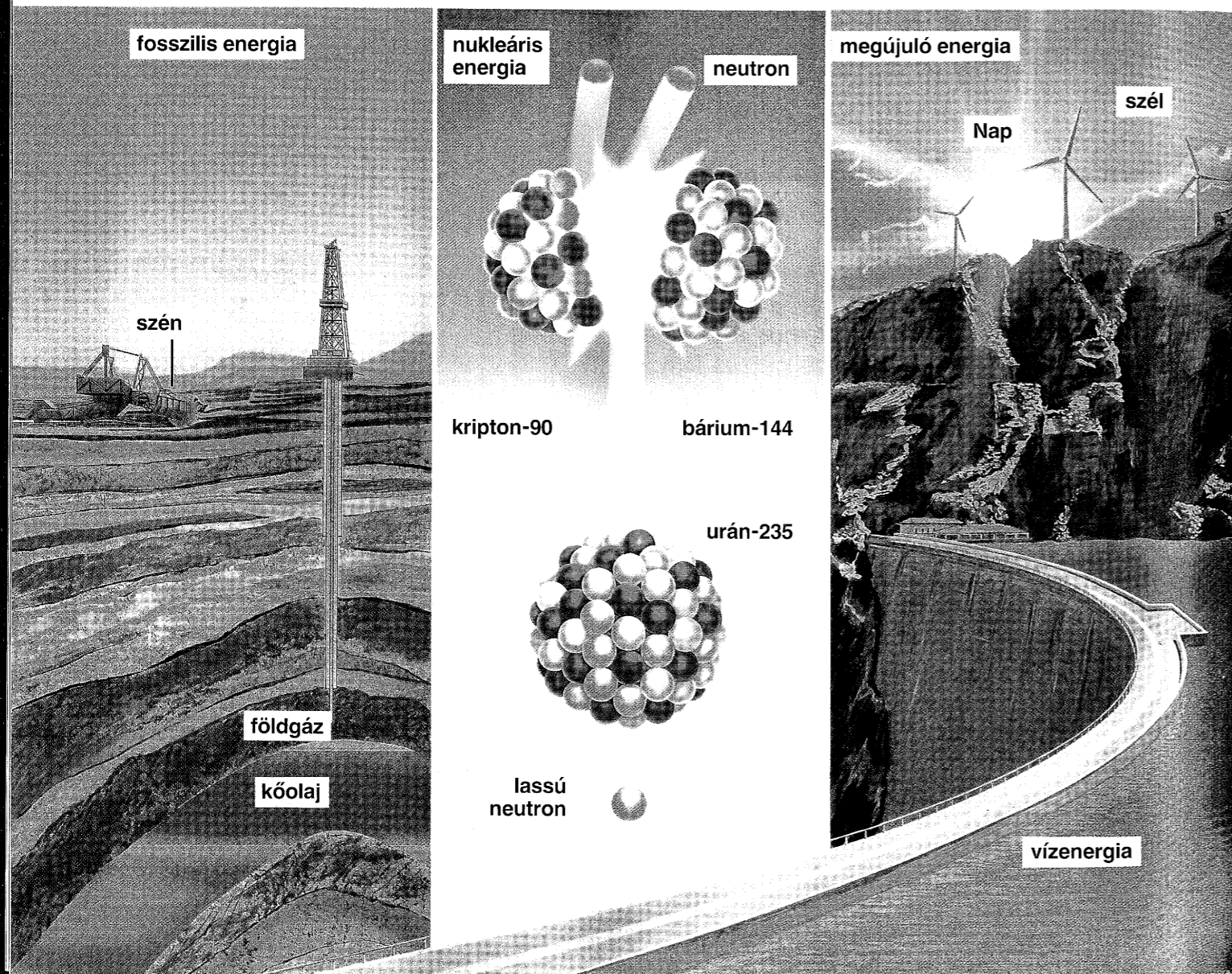
Egy két kilowattos hőszugárzó egy óra alatt 2 kWh elektromos energiát fogyaszt, egy 1 000 MW-os, illetve 1 000 000 kW-os erőmű egy óra alatt 1 000 000 kWh energiát szolgáltat.

Az elektromos áramot gyakran összetévesztik az elektromos energiával, és áramfelhasználásról beszélnek energiafelhasználás helyett. Mivel könyvünk szókincsét a mindennapi szóhasználat-hoz szeretnénk közelíteni, ezért tudományos szempontból felületes módon az áramról mi is mint energiafajtáról beszélünk.

Energiaszükségletünk fedezésére az energiahordozók három nagy csoportja áll rendelkezésünkre. Az egyik csoport a *fosszilis* tüzelőanyagok, a szén, a kőolaj és a földgáz, lényegében azoknak az állatoknak és növényeknek a maradványai, amelyek évmilliókkal (10–300) ezelőtt népesítették be a Földet. Ha a fosszilis tüzelőanyagot energiává alakítjuk, akkor az örökre elvesz. Túl azon, hogy elégetésükkel szennyezzük a légkörünket, egyéb veszteséget is okozunk, hiszen ezekből az anyagokból sok hasznos dolgot is lehetne készíteni, például gyógy-

Energiaszükségletünk fedezésére az energiahordozók három nagy csoportja áll rendelkezésünkre. Megkülönböztetünk fosszilis (a földtörténeti korban megkövesedett állatok és növények maradványai), regeneratív (megújuló) és nukleáris energiaforrásokat.

szert, műtrágyát, különféle műanyagot és festéket. A *megújuló* (regeneratív) energiaforrások, a Nap, a szél, a tengerek árapály mozgása, a lezúduló víztömeg és a Föld belsejének hője, önmagukat emberi beavatkozás nélkül is képesek újratermelni, regenerálódnak, és a környezetet sem károsítják. Sajnos a technika mai állása szerint még korántsem tudjuk őket annyira kiaknázni, hogy az emberiség növekvő energiaéhségét csillapítani tudnánk. A *nukleáris* tüzelőanyag, az urán és a plutónium utat nyitnak az atommagban rejtőzködő hatalmas energiához. Egy kilogramm szénből körülbelül 8 kWh, és egy kilogramm urán-235-ből 23 millió kWh hőenergia állítható elő.



A vegyipar számára a nukleáris tüzelőanyag gyakorlatilag használhatatlan, így nyugodt lelkiismerettel alkalmazhatjuk energiatermelésre. A nukleáris anyagokkal való szakszerűtlen bánásmód minden képzelőerőt felülmúló veszélyeket rejt magában. Mindnyájan tudjuk, hogy ezekből az anyagokból bombát is lehet készíteni, melyek képesek arra, hogy az emberi életet nyomtalanul eltöröljék a Föld színéről. Ha azonban betartjuk az atomerőművek üzemeltetésének minden szabályát, a lehető legkisebb mértékben szennyezzük a környezetet, mivel alig lép ki veszélyes anyag a természetbe. Erről majd könyvünk egy későbbi fejezetében szólnunk.

Az *elsődleges energiahordozók* energianyersanyagok, természetes formájukban, feldolgozás előtti állapotban. Ilyen például a kőszén, a kőolaj, a földgáz és az uránérc. Az általános szóhasználatban ezeket az anyagokat egyszerűen csak elsődleges energiáknak nevezzük. A napsugárzás, a szél és a víz szintén elsődleges energiaforrások. A *másodlagos energiahordozókat* az elsődleges energiahordozók átalakításával hozzák létre, úgy is mondhatnánk, hogy ezek nemesített energiahordozók. Ilyenek az áram, a benzin és a tüzelőolaj. Azokat az energiafajtákat, amelyek már közvetlenül jutnak el a fogyasztókhoz, végső energiáknak nevezzük. A legtöbb ilyen végső ener-

Néhány példa az elsődleges, a másodlagos és a hasznosítható energiákra.

giahordozó másodlagos energiahordozó, mint az áram vagy a fűtőolaj, de néha lehet elsődleges energiahordozó is, mint a tűzifa, a napsugárzás vagy a földgáz. Sajnos a végső energiának csak egy részét tudja a felhasználó hasznosítani, ezt nevezzük *hasznos* energiának. Hasznos energia például a fény, a villamos gépek hajtóenergiája, vagy a villanykályha melege. Ezeket mind az elektromos áramból nyerjük.

A legtöbb energiát a Földön a háztartások használják, azaz mi, személyesen. A bennünket körülvevő használati tárgyak többségének, a konyhai tűzhelyeknek, az izzólámpáknak, a tévékészüléknek, a porszívónak, a fűtőtestnek és az autónak csillapíthatatlan az energiaéhsége. Ezután következik csak az ipar energiafelhasználása. Még kevesebb energiára van szükségük a kisfelhasználóknak, a paraszti gazdaságoknak, a kisiparos műhelyeknek vagy az orvosi rendelőknek. A legutolsó helyen a közúti közlekedési eszközök állnak, az autóbuszok, a vonatok, a repülők vagy a hajók. Honnan származnak a felhasználók számára fontos elsődleges energiák? Nos, Magyarországon ennek tetemes részét a kőolaj fedezi, mintegy 30 százalékát, ezután következik a földgáz és a kőszén. 1989-ben a tűzifa, a faszén és az

Mit értünk elsődleges és másodlagos energián?

Ki használja fel a legtöbb energiát?

import villamos energia 18,7 százalékban részesedett ebből. A villamosáram-termelés 24,7 százalékát fedezte a nukleáris energia 1988-ban, míg 1989-ben a 24,2 százalékát. (Franciaországban ugyanennek a mennyisége ekkor 60 % volt.) A legtöbb országban ez az arány évről évre nő.

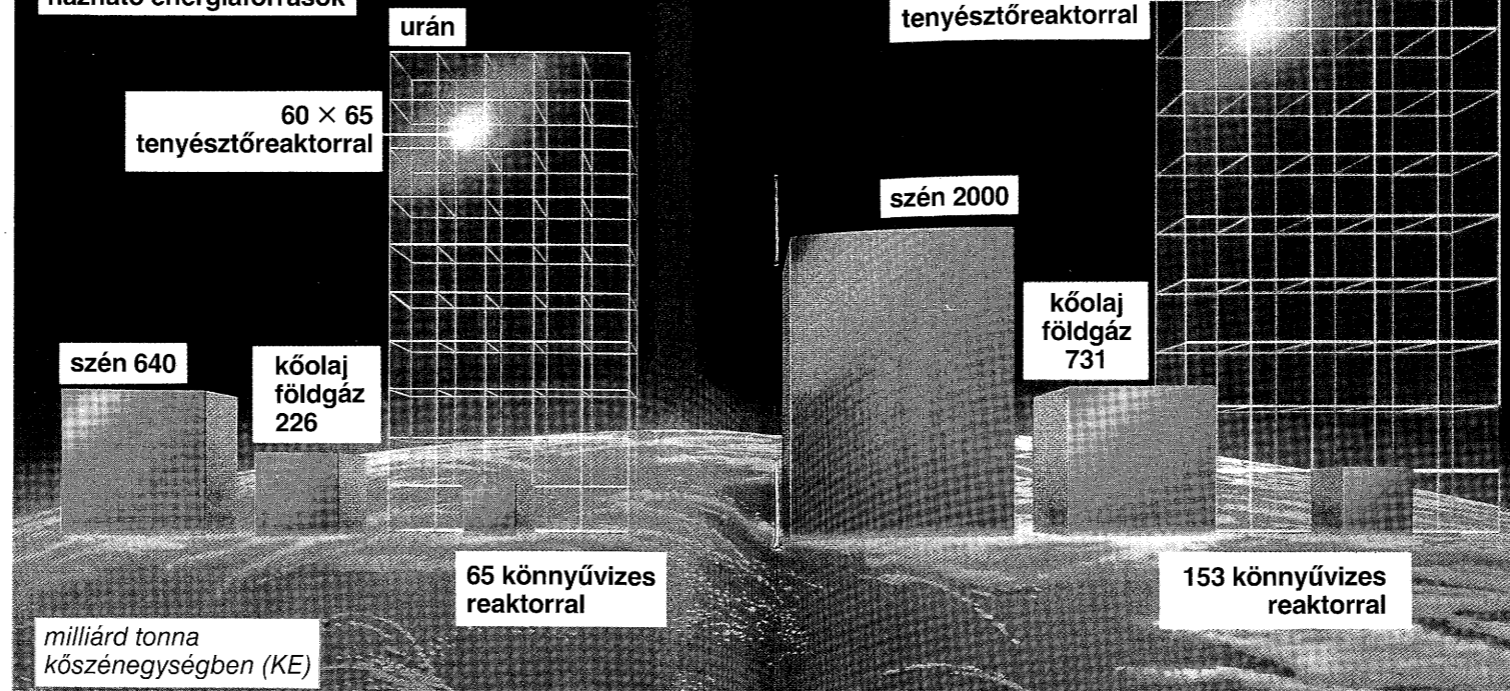
A világ évente mintegy 12 milliárd tonna

Kimerülőben vannak-e a Föld energiaforrásai?

kőszénegység energiát használ fel. Ez biztosan növekedni fog, hiszen az egyre gyarapodó létszámú emberiségnek mind több energiára van szüksége. A technika mai állása szerint a még gazdaságosan kitermelhető kőszénmennyiség körülbelül 640 milliárd t KE, a kőolaj- és földgázkészlet pedig 226 milliárd t KE körül van. Ez azt jelenti, hogy ezek a készletek még takarékos felhasználás mellett is csak száz évre elegendők. Feltehetően vannak további fosszilis energiahordozók is. Ezt a mennyiséget jelenleg 8000 milliárd t KE-re becsülik. Ha javulnak a bányászati módszerek, akkor összesen mintegy 2000 milliárd t KE kőszénrel és 731 milliárd t KE kőolajjal és földgázzal számolhatunk. Bár ezek a készletek még két- vagy háromszáz évre elegendők, a későbbi generációk számára azonban örökre elvesznek, és égéstermékeik nagy károkat okoznak a természetben. A Föld technikailag kiaknázható nukleáris energiakészlete feltehetően 153 milliárd t KE, ami nevetségesen kevés, de modern technológiával, az úgynevezett tenyésztőreaktorokkal ez akár 9180 milliárd t KE energiával egyenértékű nukleáris tüzelőanyagot jelenthet, így nukleáris üzemanyagkészletünk ezer évre is elegendő lehet. A Föld és az emberiség távoli jövőjét tekintve azonban még ez is kevés. Az eljövendő századok embere valószínűleg talál magának más lehetőséget az energiatermelésre. A nap-sugár melege mellett minden bizony-

A világ különböző energiahordozóinak készlete (1982-es állapot)

Az 1982-ben technikailag, gazdaságilag kiaknázható energiaforrások



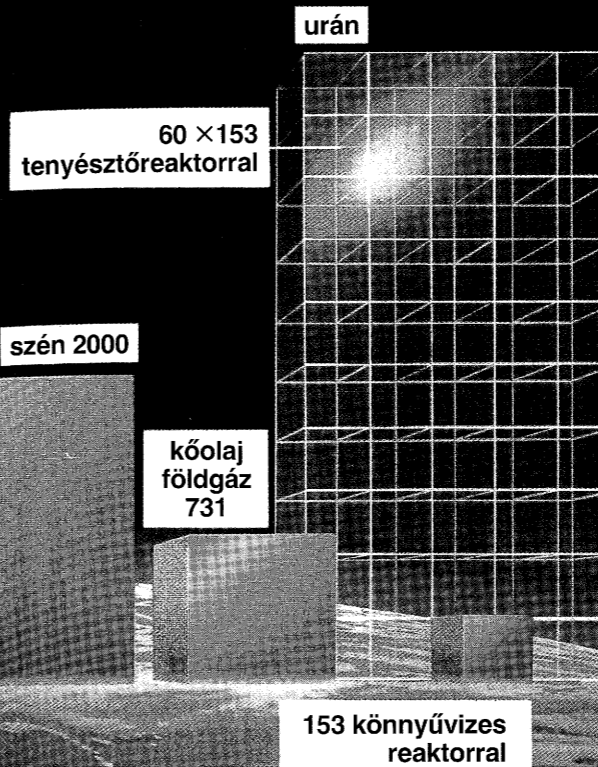
nyal nagy szerepet fog játszani a nukleáris energia egy másik formája, a fúziós energia. A Nap, a csillagok, valamint a félelmetes hidrogénbomba is ilyen folyamat során nyeri az energiáját. A nyersanyag-utánpótlás ekkor korlátlan mennyiségben rendelkezésre állna, hiszen ebben az esetben használhatnánk a világtengerek vízkészletét. A napenergia mellett a nukleáris energia az, ami rövid- és hosszútávra egyaránt esélyt ad a gazdaságnak és a jólétnek, persze csak akkor, ha a vele kapcsolatos környezeti veszélyeket jól kézben tudjuk tartani.

A kő, a személygépkocsi, a karóra és az

Mi az anyag?

ember fontos közös tulajdonsága, hogy tömege van. Ez abban is nyilvánul, hogy vonzza őket a Föld, vagy hogy súlyuk van, de megnyilvánul abban is, hogy tehetetlenek, azaz

feltételeken kiaknázható energiaforrások



ellenállnak. Ezt az ellenállást érezhetjük akkor, ha a tömeggel rendelkező testet gyorsítani vagy lassítani akarjuk. Minden tömeggel rendelkező testnek tehetetlensége van. Régebben azt gondolták, hogy anyagot létre lehet hozni, illetve meg lehet semmisíteni. Ha például elégetünk egy darabka szenet, akkor a keletkező égéstermékek együttes tömege megegyezik a kiindulási anyagok, a szén és az égéshez szükséges oxigén össztömegével, természetesen a mérési pontosság határain belül. A szén tömeggel rendelkező energiahordozó. Van azonban olyan energiahordozó, például a fényhullám, amely nem rendelkezik nyugalmi tömeggel. Egészen a század elejéig azt gondolták, hogy anyag és energia két alapvetően különböző dolog, olyannyira, hogy sohasem lehet majd egyiket a másikká alakítani. Ekkor azonban Albert Einstein, minden idők egyik legnagyobb gondolkodója bebizonyította, hogy az anyag csupán egyike az energia különféle megjelenési formáinak.

A világ különböző energiahordozóinak készlete. Az úgynevezett tenyésztőreaktorral még ezer évig biztosítható nukleáris energia.

Einstein relativitáselméletének egyik leg-

Átalakítható-e az anyag energiává?

fontosabb képlete a bevezetőben már idézett formula, az $E = mc^2$, ahol E az energia, m a tömeg, és c a fény sebessége. Ez a képlet azt mutatja meg nekünk, hogy meghatározott körülmények között az m tömegű anyag hatalmas E energiává alakítható át. Tehát az anyagot is tekinthetjük úgy, mint egy bizonyos energiatípus, amit bármikor előállíthatunk hőből vagy fényből. Amint majd látni fogjuk, az atomreaktorban sikerül az anyag egy kis részét hőenergiává alakítani. Egy kilogramm urán-235-ösből a fenti képlet segítségével annyi energiát lehet termelni, mint amennyi energiát ad 93 egyenként 30 tonnás vagon szén, vagy 67,



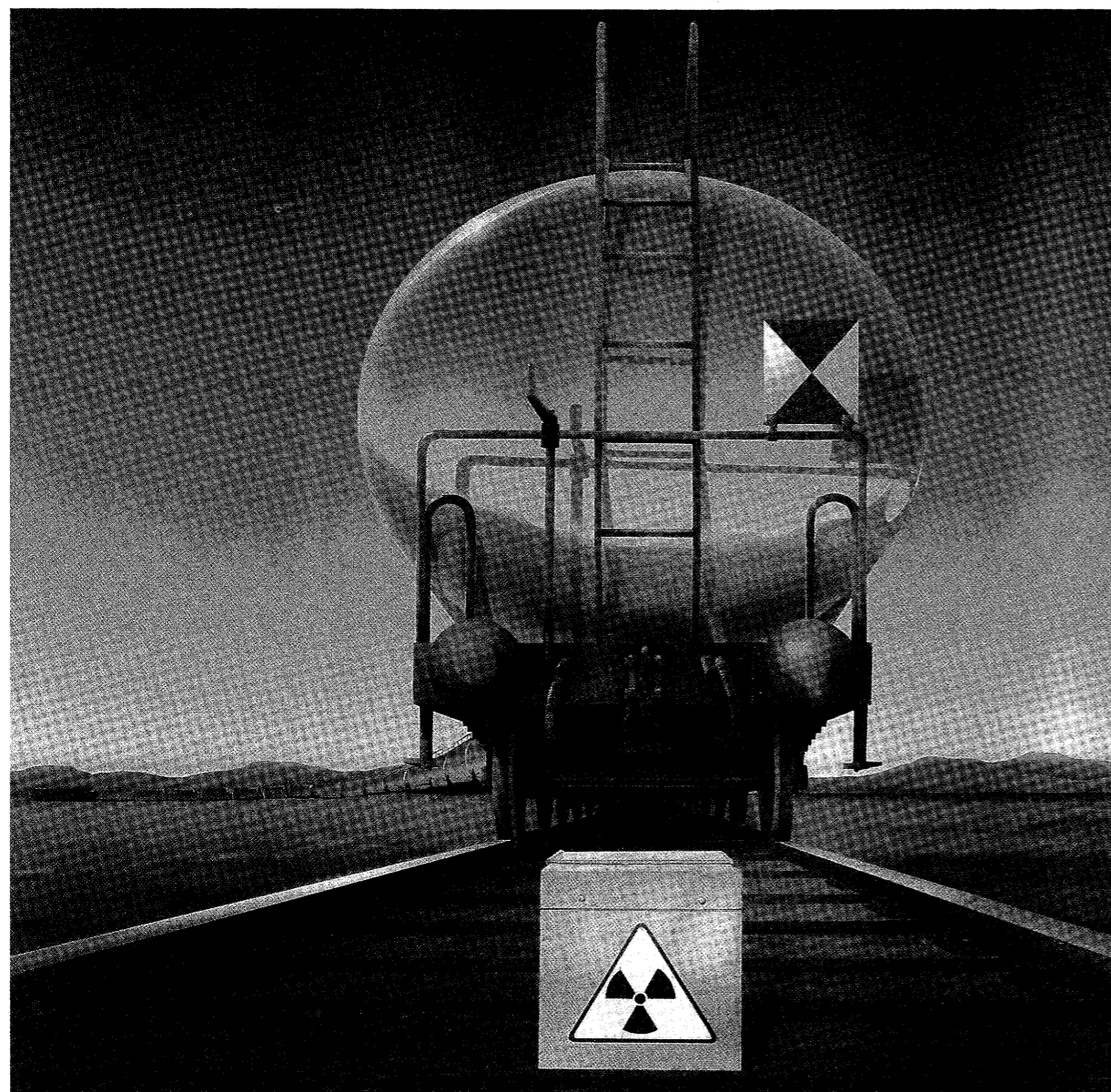
Albert Einstein, a világhírű fizikus

egyenként 30 tonnás tartályvagon tüzelőolaj: vagyis 23 millió kWh-át. Ezzel az energiamennyiséggel könnyen világíthatnánk akár több órán keresztül Magyarország összes lakásában, Hegyeshalomtól Záhonyig. Ugyanekkora mennyiségű uránt tartalmazó atombomba tette Hirosimát a Föld színével egyenlővé.

Foglaljuk tehát össze! Az anyag az energia egyik megjelenési formája, amivé megha-

tározott feltételek mellett átalakíthatjuk. Ha szigorúan vesszük, akkor egy darab szén elégetésekor is fellép tömegveszteség. Jelentős anyag-energia átalakulás csak az atommagok világában lehetséges, az atommagok hasadásakor, vagy egyesülésekor.

Arról, hogy miként történik a nukleáris energia előállítása, egy későbbi fejezetben olvashatunk majd.



Egyetlen kilogramm urán-235-ösben annyi energia van, mint 93 vagon szénben vagy 67 tartályvagon fűtőolajban. Ez az energiamennyiség (23 millió kWh) Magyarország teljes villamosenergia felhasználását hat órán át fedezné.



Már több mint 2000 évvel ezelőtt, az ókori Görögországban élő embert is foglalkoztatta az anyag felépítése.

Az atommag világa

Több mint kétezer éve ismerjük már az atom fogalmát. Démokritosz, az ókori Görögország egyik legnagyobb tudósa feltételezte, hogy minden anyag kicsiny, oszthatatlan részecskékből áll, melyeket „atom”-oknak nevezett el. Meglepően közel került ezzel az igazsághoz. Sok más görög filozófus és tudós is foglalkozott akkoriban az anyag és a világmindenség szerkezetével. Nagyon pontosan meghatározták a Föld területét, is-

merték a Föld és a Hold közötti távolságot, tudták, hogy bolygónk a Nap körül kering. Ezek az ismeretek azonban — bármilyen hihetetlen — csaknem teljesen feledésbe merültek. Talán azért, mert a későbbi korok emberét elsősorban a világbirodalmi törekvések, a háborúk, a katedrálisok és a boszorkányüldözések foglalkoztatták.

Csak az 1800-as években került elő ismét az ókori atomfogalom. Felismerték, hogy különböző atomoknak kell létezniük ahhoz, hogy a természetben előforduló összes anyagot és jelenséget magyaráz-

Mi az atom?