

A MODERN FIZIKA KÖZNAPI HASZNA

Az ember egyre inkább az energia rabja. Annyira, hogy egy ország hatalmát úgy ítélik meg: mekkora az energiatermelése (ide értjük a szellemi energiát is), és milyen energiataralékokkal rendelkezik. A mai ember egyik legnagyobb problémája az *energiaforrás* és az *energiaátvitel*. Ez a feladat egyre sürgetőbben olyan megoldást kíván, amely forradalmasítja a modern technikát.

A klasszikus energiaforrások a szolgáltatott energiához képest óriási méretűek. Egy zseblámpaizzó működtetéséhez közismert, mekkora elem szükséges. Még a legmodernebb kémiai áramforrásoknál is egységnyi tömegrre nagyon kicsi energiaszolgáltatás jut, tehát ezeknek súlyukhoz képest gyenge a hatásfokuk. Az atomreaktorok sem oldják meg a problémát, mert bár az aktív üzemanyag súlyához képest nagy energiát szolgáltatnak, átalakító és védő berendezéseik nagy helyet foglalnak el és súlyosak. Ezenkívül hátrányuk, hogy a visszamaradó „szemét” néhány száz évig veszélyes az emberre és egyáltalán minden élő szervezetre. E problémák megoldását egyes tudósok a magfúzió megfékezésétől várják, vagyis az irányított magfúzió révén nyert plazmából direkt úton (gőz, turbina, dinamó nélkül) akarnak áramot nyerni.

A másik probléma az energiaátvitel, amivel részletesebben szeretnék foglalkozni egy érdekes fizikai jelenség tárgyalása során. Ez a jelenség a *szupravezetés* néven ismeretes. Érdekes vele megismerkedni, mert úgy tűnik, hogy a modern technikában óriási szerepe lesz az energiaszállítástól az úrkutatásig mindenütt. A szupravezetést, valamint a hozzá hasonló szuperfolyékonyságot a század elején fedezte fel Kamerling Ones. A felfedezés előfeltételét ugyancsak ő teremttette meg, amikor sikerült a héliumot cseppfolyósítania 1909-ben. Ezzel indult fejlődésnek az alacsony hőmérsékletek fizikája.

1911-ben Ones egy higanyszállal kísérletezve érdekes jelenséget figyelt meg. A klasszikus fizika szerint a fémek ellenállása zérusra csökken, ha a hőmérsékletük zéró K° lesz. Ones megfigyelte, hogy a higany 4,5 K°-ig követi a klasszikus fizika leírta törvényt, de elektromos ellenállása ezen a hőmérsékleten már hirtelen eltűnik, és e „kritikus hőmérséklet” alatt megőrzi azt az állapotot, amelyet *szupravezető állapot*nak neveztek el. Később még nagyon sok fémről kimutatták, hogy egy jól meghatározott kritikus hőmérsékleten szupravezetővé válik. Ezen a hőmérsékleti ponton a fém összes fizikai tulajdonságai ugrásszerűen változnak (például a termikus és elektromos vezetőképesség ugrásszerűen megnövekszik). Ugyancsak Ones 1913-ban megfigyelte, hogy a hélium 2,2 K°-on hirtelen „elveszti” viszkozitását, tehát hirtelen „szuperfolyékonnyá” válik. Ezzel a két jelenséggel nagyon sok fejtörést okozott az elméleti fizikusoknak. A klasszikus fizikával egyik jelenséget sem lehetett megmagyarázni. A két jelenség közt nagyon sok hasonlóság van, de a hasonlóságok pontos elméleti magyarázata még most sem ismeretes.

A szupravezetés tanulmányozásával, nem sokkal a felfedezése után, az egész világon kezdtek foglalkozni. Egy kísérlet alkalmával S. C. Collins egy szupravezető

gyűrűben áramot indukált, és ez még két és fél év múlva sem mutatott semmiféle gyengülést, amiből arra következtetett, a szupravezető fajlagos ellenállása olyan kicsi, hogy mellette a közismerten jól vezető rezet szigetelőnek lehet használni. Megfigyelték, hogy ha egy szupravezetőt mágneses térbe helyeznek, ez egy jól meghatározott kritikus térerősség felett elveszti szupravezető tulajdonságát. Ugyanezen térerősség alatt azt figyelték meg, hogy a szupravezető a mágneses erővonalakat nem engedi behatolni a vezetőbe. Ha mágneses térben hűtjük kritikus hőmérséklet alá, akkor az átmenet pillanatában „kiböjbe” magából a vezető az erővonalakat, tehát úgy viselkedik, mint egy eszményi diamágneses anyag. Ezzel szemben az eszményi vezető (aminek eleinte gondolták a szupravezetőt, és ami csak fizikai modell, de a valóságban nem létezik), ha mágneses térbe helyezük, kizárja magából az erővonalakat, de ha mágneses térben válik ideális vezetővé, magába zárja az erővonalakat, és megőrzi a külső tér megszűnte után is. Az ideális vezetőből normálvezetőbe való átmenet — amint látjuk — nem megfordítható folyamat, mert nem mindegy, hogy egyszer eszményi vezetővé válik és utána helyezük mágneses térbe, vagy fordítva. Ezt nevezük *Meissner-effektusnak*.

A kísérleti fizikusok még egy érdekes és fontos törvényszerűséget figyeltek meg a kritikus hőmérséklet és a szupravezető elem atomtömege között. Ez az *izotópeffektus*, amely sokat segített az elméleti fizikusoknak a jelenség megértésében.

A Meissner-féle és az izotópeffektusok megismerése előtt azt feltételezték, hogy az elektronok a szupravezetés állapotában teljesen szabadon mozognak, nem ütköznek ellenállásba, mert ilyen alacsony hőmérsékleten megszűnik a kristályrácsban lévő atomok rezgő mozgása. Így jutottak el az *ideális vezető* feltételezéséhez. A Meissner-effektus ezt a feltételezést megcáfolta, és az izotópeffektus segített megsejteni a megoldást. Könnyű belátni, hogy a szupravezetés folyamatában fontos szerepet játszik a kristályrács is, mert a kritikus hőmérsékletre kihat az atom tömege. Az elektronok nem mozognak szabadon, hanem éppen ellenkezőleg, nagyon kötött mozgást végeznek. Szigorú korreláció létezik az elektron és a kristályrács atomjai között. Első pillanatra ellentmondásnak látszik, hogy minél szigorúbb a megkötöttség, annál „szabadabban”, ellenállás nélkül mozognak az elektronok, de ha dialektikusan gondolkozunk, rájövünk, hogy így kell lennie. A szabadság az emberi társadalomban sem törvényenkívüliséget jelent, hanem a materialista filozófia szerint „a szabadság a szükségletek felismerése”.

Végso fokon az atomok a szupravezetőben nincsenek teljesen nyugalomban. Az elektronok hatnak egymásra a kristályrács atomjain keresztül, amit *elektronfonon kölcsönhatásnak* nevezünk. Az elektronok úgy kapcsolódnak kettesével (egy fonon kvantumcserével) egymáshoz, hogy impulzusuk és spinjük (perdület) abszolút értékben egyforma, de ellentétes irányításúak. Ezeket nevezik *Cooper-párok*nak, és segítségükkel lehetett a szupravezetők összes fizikai tulajdonságait megmagyarázni elméleti úton. A Cooper-párok létezését sikerült kísérletileg is kimutatni.

Ez után a kis ismerkedés után nézzük meg a szupravezetés, e modern és hasznos jelenség gyakorlati jelentőségét. A gyakorlati alkalmazások általában még csak kísérleti fázisban vagy terv formájában léteznek, de már így is sokat ígérnek. Említettem, hogy a mai ember egyik nagy problémája az energia szállításának kérdése: úgy szállítani energiát, hogy a veszteség minimális legyen, a rakodó és szállító berendezések egyszerűek, tartósak, olcsók legyenek. Szenet például nem érdemes szállítani, mert a ki- és berakodás, a szállítás nagyon sokba kerül. Sokkal olcsóbb a sznet elégetni a lelőhelyén és elektromos árammá átalakítva szállítani. A magasfeszültségű áram viszont, amelyet a leggazdaságosabb szállítani, csak transzfor-

mátorok segítségével átalakítva használható fel, közvetlenül nem. A transzformátorok pedig drága és kényes készülékek. Ezenkívül nagyon sok energiát emészt fel a magasfeszültségű távvezeték és a transzformátorok ellenállása. Az ilyen veszteségek kiküszöbölésére egy új szállítási módszert kell kidolgozni. Próbálkoztak lézerrel vagy más irányított rádió-sugárzással, de ezeknek a hatásfoka még kisebb

Az eddigi leggazdaságosabb tervet ipari áram vezetésére a Union Carbide Corporation dolgozta ki. A váltoóáramot egy nagyon tiszta szupravezető réteg (nióbbium) szállítja, melyet egy fémcső falára galvanizálnak. Ennek az anyagnak a kritikus hőmérséklete aránylag magas, kb. 17 K°, ami azonban a normál hőmérséklethez viszonyítva még mindig nagyon alacsony, kb. —256 C°. A fémcsövet kívülről hőszigetelővel vonják be. A szükséges alacsony hőmérsékletet a fémcsövön átáramoltatott cseppfolyós héliummal érik el. Egy másik terv szerint New York áramellátását akarják megjavítani egy szupravezető távvezetékkel. A vezeték két koncentrikusan elhelyezett csőből állana, amelyek belső felületét ugyancsak nióbbiummal vonják be. A hűtést szintén cseppfolyós hélium átáramoltatásával akarják biztosítani, amit öt kilométerenként elhelyezett cseppfolyósító állomásokon állítanak elő. Egy ilyen vezeték egész New York energiaszükségletét el tudná látni. Ezek a vezetékek kiküszöbölik az ellenállásból eredő veszteségeket, és kapacitásuk jóval nagyobb a normálvezetőkénél. Egy hátrányuk van: hogy állandóan alacsony hőmérsékleten kell őket tartani, ez viszont bizonyos esetben előnnyé válhat, ha az alacsony hőmérséklet már eleve adott, mint például a világűrben.

Mindennapi gondolkozásunk számára elképzelhetetlen, hogy pusztán a termelt áram olcsóbb vezetéséért érdemes olyan költséges berendezéseket létesíteni, mint az a sok hélium-cseppfolyósító állomás, amelyeket a különleges vezeték mentén öt kilométerenként kell építeni — a praktikus amerikaiak azonban pontosan kiszámították, hogy megéri. *A modern közgazdaság hallgat a modern fizikára.*

A szupravezetés alkalmazásai közt szerepel a nagy térerősségű mágnesek készítése is. E tekintetben már eddig is meglepő eredményeket értek el. Az elemi részecskék kutatásában olyan (60—100 Kgauss) térerősségre van szükség, amit normálmágnessel előállítani nagyon nehéz és költséges. Egy-egy ilyen tekercs súlya több tonna, és annyi energiát fogyaszt, ami egy kisváros ellátásához is bőven elegendő, az energia pedig az ellenállás következtében hővé alakul és elvész; ugyanakkor a tekercset, hogy el ne olvadjon, cseppfolyós hidrogénnel kell hűteni. Szupravezetőt használva már egészen másképpen áll a helyzet. Itt energia csak a külső hőszigeteléshez szükséges, hogy a tekercset állandó alacsony hőmérsékleten tartsák. Az áramforrást, ha a tekercset egy szupravezető vezetékkel rövidre zárjuk, ki is lehet kapcsolni az áramkörből, és ettől kezdve a mágnes mint egy „permanens mágnes“ működik. A rövidre zárást egy elmés szerkezettel (a „fluksuszscapdával“) lehet elvégezni. Ez egy nióbbium-drót, amit fűtőszál vesz körül. Amikor tehát a tekercs már szupravezető-állapotban van, a fluksuszscapdát melegítéssel még normálállapotban tudjuk tartani. Ez a tekercs két kivezetését köti össze. Amikor a tekercsen már a kellő erősségű áram folyik keresztül, akkor hagyják, hogy a vezeték szál lehűljön a kritikus hőmérséklet alá. Most már itt záródik a tekercs áramköre, az áramforrást ki lehet kapcsolni. Ezeknek a tekercseknek a beindításához egy kis teljesítményű áramforrás is elegendő.

A világ egyik legerősebb ilyen mágnesét az Argon National Laboratory intézetében készítették el Chicago mellett. A tekercs anyaga különlegesen erre a célra megfelelő anyag (Nb₃Sn), aminek a kritikus erőtere nagyon nagy. Ennek a térerőssége 134 000-szerese a Föld mágneses terének (vagyis 67 Kgauss). Súlya mindössze 360 kg. Ezt a tekercset egy buborékkamránál használják az elemi részecskék

kutatásában. Az Argon National Laboratory a michigani egyetemmel együttműködve egy új elemi részecskét fedezett fel ezzel a buborékkamrával.

A mikrovilágból térjünk át az űrkutatásra. Itt is próbálják felhasználni a szupravezetőket. Óriási könnyebbséget jelent, hogy nem kell mesterségesen gondoskodni a hűtésről, mert az űrben a testek hőmérséklete, ha visszaverik a rájuk eső hősugarakat, közel van az abszolút zéró fokhoz. Az űrhajó testét úgy akarják kiképezni, hogy a felszíni fémréteg egy hatalmas szupravezető mágneset alkosson, amely nagy erősségű mágneses teret hoz létre. Ez az emberi szervezetre káros hatású sugárzás nagy részét eltéríti, nem hagyja behatolni az űrhajó belsejébe. Így, amit vastag védőréteggel kellene megoldani (ez nagyon súlyossá tenné az űrhajót), egy súly nélküli mágneses térrel el lehet érni. Ez a hasznos terhelés szempontjából nagy előny.

Egy másik nagyon érdekes és hasznos felhasználása a szupravezetőknek: az elektromotorok súrlódásmentes „mágneses csapágya”. Tudván azt, hogy a szupravezetőbe nem hatolnak be az erővonalak, könnyű belátni, hogy ha egy szupravezető megfelelő mágneses térbe kerül, amely ellensúlyozza a gravitációt, akkor ez lebeg anélkül, hogy valamihez is hozzáérne. Ez a jelenség hasonlatos a súlytalanság állapotához. Ha egy motor csapágyait ilyen terekkel helyettesítjük, és a tengely végeit szupravezető fémmel vonjuk be, akkor a motor forgása közben semmivel sem érintkezik, s ezért nem lép fel a súrlódás káros jelensége.

Az informatikában is felhasználják a szupravezetőket. Az aktív memória-egységekben a kryotront mint egy kétállapotú egységet lehet használni. A *kryotron* egy szupravezető szál — amelynek a kritikus tere nagyon alacsony — és egy szupravezető tekerecs a szál körül. Ha a tekercsen áram folyik keresztül, ez a szál a mágneses terével normálvezetővé teszi, és így tulajdonképpen nyitja a szál áramkörét. Billenő kapcsolást lehet létrehozni, ha két kryotront megfelelően összekapcsolunk. A kryotronok előnye, hogy kicsik, gyorsak, üzembiztosak, és az alacsony hőmérséklet következtében kicsi az elektromos zajuk. Ez a számológépeknél fontos követelmény, mert a kis zajszintű gépeknél kisebb a tévedési lehetőség.

A mérés technikában a szupravezetőket az alacsony hőmérsékletek mérésére használják. Szupravezető, szigetelő, majd normálvezető kettős határátmenetet használva, nagyon érzékeny hőmérőt lehet készíteni. Ezt a csillagok spektrumhőmérsékletének a meghatározásában alkalmazhatjuk.

Ebből a néhány példából is látszik, hogy egy új felfedezést rövid idő alatt mennyi mindenre használnak fel. Az ember a haszontalannak vélt dolgokat is hasznosítani tudja, csak ki kell tapasztalnia a lehetőségeket. Ehhez pedig egy kis találékonyság és türelmes munka kell. Egyesek azt vallották, hogy a modern fizika elszakadt a mai élet valóságaitól, pedig csak egy kicsit előbbre lépett a hétköznapi gondolkodásnál, hogy láttassa a fejlődés útját. Ezért nem leinteni kell az új eszméket, hanem megpróbálni megérteni, megszokni őket. Ez nehezebb, de sokkal több eredményre vezet.

Ma már egyre többen törődnek bele, hogy a modern művészet megértéséhez tanulni, gondolkodni kell. Ha nem sajnáljuk — és szerencsére, egyre kevesebben sajnáljuk — a fáradságot egy vers megértéséértől, talán érdemes a fizika jelenségein is elgondolkozni néha.