A MODELL-MÓDSZER ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

A GIMNÁZIUMI ELSŐ OSZTÁLYOS FIZIKA TANTÁRGYBAN

Kovács László
szakvezető tanár

Szeged

1983.

I. A TUDOMÁNYOS MEGISMERÉS ÉS A MODELL - MÓDSZER

A modell - módszer és a modell

"A tudományos megismerésnek a valóság mind mélyebb és bonyolultabb tartományába való behatolása megköveteli a tudományos módszerek állandó tökéletesitését, uj, egyre hatékonyabb kutatási eszközök és eljárások kidolgozását." Ez a bevezető mondata Kocsondi András "Modell - módszer" cimmel megjelent könyvének, melyben az egyre szélesebb körben, több tudományban alkalmazott modell - módszer ismeretelméleti sajátosságait és a tudományos modellek helyét, szerepét és jelentőségét vizsgálja a tudományos megismerés folyamatában.

A modell - módszer fokozatosan tért hódit korunk tudományos megismerésében. E térhóditásnak a könyvben igen sokoldalu magyarázatát kapjuk, most csak azokat emelném ki, melyek az - általam későbbiekben - érintett témához szorosan kapcsolódnak:

1. Ha a megismerés tárgya tulzottan bonyolult, akkor szükségessé válik egy egyszerübb objektummal való helyettesitése a megismerés folyamatában.
2. Hasonló a helyzet, ha a megismerés tárgya közvetlenül nem tanulmányozható.

3. A módszer univerzális, a megismerés legkülönbözőbb területein alkalmazható.

A modell - módszer rendkivül sokoldalu alkalmazása, a modell fogalmának sokrétü értelmezése szükségessé tette a modellezés fogalmának általános, mindent magába foglaló meghatározását:

"A modellezés a tudományos megismerés olyan módszere, amelynek során az objektum tanulmányozása egy másik, vele meghatározott és a kutató által ismert megfelelési viszonyban levő objektum kutatása utján valósul meg" /1/.

A modell - módszer alkalmazásakor tehát a megismerés tárgyának indirekt tanulmányozása játszódik le. A megismerés objektuma helyett egy másik objektumot - a modellt - tanulmányozzuk, az igy szerzett ismeretanyagot visszük át a megismerés objektumára. A modellnek ehhez igen sok követelménynek kell eleget tennie, melyek közül ismételten csak azokat emlitem meg, melyek dolgozatom szempontjából fontosak:

1. A modellnek rendelkeznie kell az objektum kutatás /megfigyelés/ szempontjából lényeges tulajdonságaival.
2. Egyszerübbnek kell lennie a modellezett objektumnál.

3. Ismertebbnek kell lennie a modellezett objektumnál.
4. A különbség nem lehet tul nagy, hiszen akkor a szerzett ismeret átvitele kérdőjelezhető meg.

A modellek gnoszeológiai sajátosságainak részletes elemzése után Kocsondi András megadja a modell meghatározását, mellyel a modell igen sokféle értelmezését egységesiti:

"A modell a megismerés objektumát reprodukáló, vagy visszatükröző, azzal objektiv megfelelési viszonyban levő és a tudományos kutatás folyamatában azt helyettesitő anyagi, vagy eszmei rendszer, melynek tanulmányozása uj információ szerzését teszi lehetővé magáról a megismerés eredeti objektumáról" /1/.

A tudományos modellek felhasználási területe a következő lehet:

gyakorlati-technikai,
oktatási-demonstrativ,
tudományos-kutatási.

Dolgozatom az oktatási - demonstrativ célokat szolgáló modellekkel, illetve a modell - módszernek az oktatási-nevelési folyamatba való beépülésével foglalkozik. Ezek a modellek lényegében ugyanugy a megismerés objektumát helyettesitik, csak nem a ku-

tatás, hanem a tanulás-tanitás folyamatában. Ebben a folyamatban nemcsak az ismeretszerzésnek, hanem az ismeretközlésnek is eszközei lesznek a modellek. Más területeken alkalmazott modellekhez képest alapvető különbség csak az általuk megoldott feladat jellegében van.

Éppen ezért tekintsük át a tudományos modellezés strukturáját, hiszen az oktatási folyamatban is ilyen lépések jellemzik a modellezés folyamatát.

A modellezés strukturája

A tudományos modellezés folyamatának a következő szakaszait különböztetjük meg:

a/ A modellezés szükségességének felvetődése.
Az objektum kutatása általában nem a modellezéssel, hanem a tudományos megismerés más módszereinek alkalmazásával kezdődik. A modellezés a tudományos kutatás egy szakaszaként jelentkezik, mikor a közvetlen kutatás nehézsége, vagy lehetetlensége kiderül. /Természetesen más oka is lehet a módszer alkalmazásának./

b/ A modellezés elméleti előkészitése.
A modellezés alkalmazásának eldöntését követő elméleti előkészités egyrészt az objektumra vonatkozó

korábbi ismeretek /empirikus és teoretikus ismeretek/ összegyüjtését, másrészt a modellként szóbajöhető objektumok felkutatását jelenti. A modell csak egyszerübb és ismertebb lehet mint a modellezett objektum, de rendelkeznie kell annak a kutatás szempontjából lényeges tulajdonságaival. E szakaszban pontosan fel kell tárni az objektum és a modell közötti viszonyt, éppen a modellezés későbbi szakaszai érdekében.

c/ Modellalkotás, vagy modellkiválasztás

Az elméleti előkészitést a modellkiválasztás, illetve sok esetben a modellalkotás követi. Utóbbi abban különbözik a modellkiválasztástól, hogy az emlitett elméleti előkészités alapján gondolatilag majd/vagy anyagilag létrehozzuk a modellt az előzőekben röviden emlitett szempontok szerint.

d/ A modell tanulmányozása

Ez jelenti természetesen a modellezés legfontosabb szakaszát /eredményes viszont csak akkor lesz, ha az előzőekben helyesen jártunk el/. Ebben a szakaszban a modell a kutatás önálló tárgyává válik, de a modell kutatásának feladatait, problémáit természetesen az eredeti objektum határozza meg. A modell tanulmányozása annak teljes megismeréséig tart, de hogy a szerzett ismeretek közül melyik vá-

lik számunkra lényegessé és melyik nem, ez a modellezett objektumtól függ.

e/ Ismeret-átvitel a megismerés objektumára.

A modell vizsgálatával szerzett uj, lényeges ismeret a modell jellemzője. Az egész modellezés célja azonban az eredeti objektum megismerése. Az uj ismeret - - megfelelő elméleti és logikai lépésekkel - átvihető a megismerés objektumára.

f/ Az uj ismeret ellenőrzése és igazolása.

Ez a szakasz egy összetett ellenőrzést jelent, amely magába foglalja az ismeret-átvitel ellenőrzését, illetve az uj ismeretnek a tényekkel és a tudományos törvényekkel való összevetését, majd - ha ez lehetséges - az uj ismeret gyakorlati ellenőrzését.

g/ Az uj ismeret beépitése a tudományos elmélet rendszerébe.

A tudományosan igazolt uj ismeret beépül az objektumról alkotott képbe.

Általában ezzel az objektumra irányuló megismerő folyamat nem zárul le. Ha lehetőség van a közvetlen kutatásra akkor igy, ha nem, akkor a szerzett uj ismeretet is felhasználva a modellezés folyamata algoritmikus módon ujra indul. Természetesen ekkor már egy uj modellre van szükség. Az ujabb modellalkotásnál felhasználhatjuk az előbbi modellt is, de figye-

lembe kell venni a megváltozott, uj elméleti ismereteket. Igy a megismerendő objektum egyre magasabb szintü modellezéséhez jutunk, amelyek az objektum lényegét egyre pontosabban tükrözik vissza és egyre ujabb ismeretek szerzését teszik lehetővé.

A tudományos modellek osztályozása

A tudományos modellek osztályozása természetesen függ az osztályozás alapjának kiválasztásától. Igy igen sokféle osztályozás lehetséges. Ha az osztályozás alapjául felépitésüket és természetüket vesszük, akkor beszélhetünk:

anyagi /materiális/ modellekről és
eszmei /gondolati/ modellekről.

Anyagi modellek: "mindazok a modellek, amelyek objektive léteznek, tárgyi elemekből épülnek fel, az anyag meghatározott mozgásformájához tartoznak, s e mozgásforma törvényei szerint funkcionálnak" /1/.

Az anyagi modellek négy altipusát különböztetjük meg:

a/ geometriai /vagy geometriailag hasonló/,
b/ fizikai /vagy fizikailag hasonló/,

c/ matematikai /vagy matematikailag hasonló/,

d/ kibernetikai modellek.

Eszmei modellek: "mindazok a modellek, amelyek elemi képmásokból és jelekből épülnek fel, a gondolkodás /és a logika/ törvényei szerint működnek és csak a megismerő szubjektum fejében léteznek, noha anyagi formában kifejeződhetnek" /1/.

Az eszmei modellek három altipusát lehet megkülönböztetni:

a/ képmás-modellek,

b/ jelmodellek,

c/ vegyes tipusu modellek.

A modellek ismeretelméleti /gnoszeológiai/ funkciói

A modell-módszer alapvető gnoszeológiai feladata az objektiv valóság megismerésének elősegitése. A modellezés segitségével a megismerés közvetett uton történik. A modellalkotást követően a modellkutatás során juthatunk olyan ismeretekhez, melyek a modell és a megismerés objektuma közötti megfelelés alapján a megismerés objektumára átvihetők. E meg-

ismerő folyamat egyik tevékenységét jelentheti a-nyagi modellek esetén a modellkisérlet, eszmei modellek esetén a gondolatkisérlet.

A modellezés a tudományos kutatásnak olyan univerzális módszere, amely az objektum tanulmányozásának folyamatában különböző funkciókat tölthet be. A modellnek a megismerés különböző szakaszain a következő gnoszeológiai funkciói lehetnek:

1/ A modell megismerő /kognitiv/ funkciója: ez egyesiti magában a modell-fogalom valamennyi lényeges ismertetőjegyét - igy lényegében nem tekinthető a modell különálló funkciójának. A tudományos modellek valamennyi más funkciójában a modell megismerő funkciója ölt testet.

2/ A modell tükröző funkciója: a megismerés az objektiv valóság visszatükröződése az ember tudatában, igy a modell megismerő funkciója tükröző funkciójában fejeződik ki. A modelleket az objektum bizonyos vonásait visszatükröző képmás kialakitására, vagy az objektum meglévő képmásának tökéletesitésére alkalmazzák.

3/ A modell mérési funkciója /modell-mérés/: a mennyiségi paraméterek meghatározása nemcsak az objektum /vagy adott tulajdonságának/ közvetlen mérése révén valósulhat meg, hanem modellek alkalmazá-

sával is.

4/ A modell leiró funkciója /modell-leirás/.

5/ A modell interpretációs /értelmező/ funkciója /modell-interpretáció/.

6/ A modell magyarázó funkciója /modell-magyarázat/.

7/ A modell előrelátó funkciója /modell-előrelátás/.

8/ A modell kriteriális funkciója.

II. AZ UJ FIZIKA TANTERV ÉS A GIMNÁZIUMI UJ ELSŐ OSZTÁLYOS FIZIKA

Egy az UNESCO által szervezett nemzetközi felméréssel bizonyitott tény /1960/, hogy a tudásanyag, az egész emberi kultura ma olyan gyorsasággal terebélyesedik, amilyenre még nem volt példa. A tudományos tevékenység a jelen korszakban különösen gyors fejlődést mutat: hozzávetőlegesen azt mondhatjuk, hogy minden tiz évben megkétszereződik. Ez azt jelenti, hogy gyermekeink számára körülbelül tizszer annyi ismeret áll majd rendelkezésre, mint szüleik számára. A tudományos kutatások területén dolgozók ezt már saját életükön tapasztalják. "A természettudósok és mérnökök felezési ideje közel jár a tiz évhez. Fele annak amit tanultak egy évtizeden belül elavul és fele annak, amire tiz év mulva szükségük lesz, ma még hozzáférhetetlen" /2/.
Gyermekeinket is valami hasonlóra kell felkészitenünk. Lehet, hogy életük folyamán esetleg más szakmát kell elsajátitaniuk, de mindenképpen tudniuk kell lépést tartani a fejlődéssel. Ehhez pedig nem ugy tudjuk őket hozzásegiteni, hogy a tananyagot növeljük, hanem uj terveket kell készitenünk, amelyek már alkalmazkodnak a jelenlegi körülményekhez

és megfelelő alapot tudnak nyujtani az elkövetkező időszakra is.

Az Európai Fizikai Társaság 1980-ban közzétett jelentése szerint az elmult öt évben az európai országok 60%-ban uj fizika tanterv lépett érvénybe. A fizikatantervek célkitüzése változik. A változások okaiként a jelentés a következőket jelölte meg:

"a megujulás általános szükségessége,

a tradicionális mechanika - elektromosság központusággal szemben megnyilvánuló elégületlenség,

a tanulók gyakorlati aktivitásának bevezetése,

a matematikával avagy a többi természettudományi tantárgyakkal való koordinálás szükségessége,

a tanitás hatékonyságának megjavitása,

a tanitás és tanulás módszerének ujraorientálása a felfedezés irányába" /3/.

Hazánkban a megujulás szükségességére a Közoktatási Párthatározat 1972-ben mutatott rá:

"Az oktatás - nevelés tartalmának továbbfejlesztése során abból kell kiindulni, hogy az oktatási intézmények nem tanithatnak meg mindent, ami az életben szükséges. Nem adhatnak befejezett müveltséget sem az általános, sem a szakképzés keretében. Az isko-

lának nem ugy kell válaszolnia a tudomány gyors fejlődésére, hogy a változó ismeretek mind nagyobb tömegét tanitja, állandóan bővitve tananyagát. A tudományos-technikai fejlődés mai szakaszában iskoláink csak ugy felelhetnek meg a társadalmi követelményeknek, ha az alapvető ismeretek tanitására törekszenek, ha a tanulók gondolkodását fejlesztve kialakitják a továbbtanulás igényét, és képessé teszik őket a folyamatos önművelésre." A határozat értelmében dolgozta ki a Magyar Tudományos Akadémia a nevelés korszerüsitésére tett javaslatait. A természettudományos nevelés megujitása terén a tananyag kiválasztásnál "a viták során egyetértés alakult ki a tekintetben, hogy mit kell megtanitanunk, melyek a legegyetemesebb természettörvények, amelyek átfogják a jövő évtizedek ezután megtervezendő müszaki vivmányait is.

A matematika és természettudományos nevelés megujitásának központi feladata a kutatószemlélet kialakitása, az ismeretlennel való találkozás módszertanának elsajátittatása" /4/.

A természettudományos nevelés célja a Magyar Tudományos Akadémia megfogalmazásában röviden a következő:

1/ A természettudományos érdeklődés felkeltése, a

természettudománynak az egyetemes kultura részeként való bemutatása. /Fokozott gondot kell fordítani a tanulók motiváltságára. A gyermekek pszichológiai fejlettségét figyelembe véve a közvetlen tapasztalásból kell kiindulni. A világ természettudományos szemléletét ugy kell felépitenünk, hogy a tanuló a természetet szépnek lássa, a természetkutatást érdekesnek találja és abban önmagát érdekeltnek érezze./

2/ A világ természettudományos megismerési módszerének elsajátitása. /Ennek alaplépései a következők: objektiv tapasztalat, a lényeges kapcsolatok kiemelése, modellalkotás, uj jelenségek előre látása, ennek alapján a modell kisérleti ellenőrzése, szükség esetén a modell korrekciója, vagy továbbfejlesztése, a megismert érvényességi körön belül a modell alkalmazása, társadalmi hasznositás./

3/ Az anyag mozgásában megnyilvánuló általános elvek ismerete. /Pl. okság, tehetetlenség, a makroszkópikus anyagtulajdonságok mikroszkópikus szerkezet által való meghatározottsága, természetes kiválasztódás./

4/ Tájékozódás a világban /a természeti és technikai környezetben/ a természettudományos megismerés

módszerével az általános elvek alapján./ Az egyetemes elvekhez mint vezérfonalhoz kapcsolódnak a részismeretek mint szemléltető és begyakorló példák. A tananyag folytonos korszerüsitése a példák cseréjében nyilvánulhat meg. Nem kell minden részismeretet kikisérletezni, felfedezni, hanem fel kell használni a társadalmilag felhalmozott információkat is./

5/ Áttekinthető természettudományos világkép felépitése: a természettudomány hozzájárulása a dialektikus materialista világnézet kialakitásához.

6/ Képesség önmagunk kreativ kifejezésére, az épitő gyakorlati cselekvésre.

Ilyen előzmények után készült az a gimnáziumi első osztályos fizikatankönyv, amely alapján az 1981--82-es tanévben az egész országban megindult a fizika tanitása megujulása. A könyv "... olyan tudáselemeket tartalmaz, amely érdekes a hetvenes évek fiataljai számára, és 2000-ben is érvényes lesz. A fő feladat ma nem az ismeretanyag kiválasztása, hanem a természettudományos nevelés igényesen uj céljainak realizálása" /4/.

Dolgozatomban e tankönyv, illetve a gimnáziumi első osztályos tananyag egy részét a modell-módszer alkalmazása szempontjából vizsgálom. A tankönyvnek csak

azokat a fejezeteit érintem, amelyek a gázokkal és a modell-módszerrel kapcsolatban állnak. Levezetéseket, indoklásokat és következtetéseket lehetőség szerint figyelmen kivül hagyok.

Nincs szándékom az első osztályos gimnáziumi fizika tankönyv érintett részeihez "módszertani segédkönyvet" irni, de természetesen tartalmazni fogja dolgozatom a tanitási gyakorlatom során szerzett módszertani tapasztalataimat, helyenként a tankönyvtől eltérő megvalósitási módokat.

A dolgozatban nem öncéluan a modell-módszer alkalmazását, hanem ennek közvetlen beépülését vizsgálom a 14-15 éves korosztály értelmi, érzelmi képességeit figyelembevéve a tanulási- tanitási és nevelési folyamatba. Ez a gyakorlatban ugy realizálódik, hogy a gázokkal kapcsolatos fejezetek feldolgozását ennek szellemében végzem. Az elemzésre kerülő témák is csak annyira tudományosak, amennyire ezt egyrészt a gimnáziumi fizika tanterve, másrészt a korosztály értelmi képességei lehetővé teszik.

A gázok megismerését célzó megismerési folyamatban az alábbi kérdések merülnek fel:

- Milyen modelleket használunk?
- Milyen gnoszeológiai funkciót tölt be a

modell a tanulási- tanitási folyamat egyes fázisaiban?

- Az elméleti ismeretek növekedésével hogyan változik, hogyan módosul az objektiv valóság megismerése céljából alkotott modell?

Dolgozatom e fenti három probléma részletes kifejtését tartalmazza a gázokra vonatkozóan.

Tömören fogalmazva dolgozatom problémaköre: hogyan épül be az adott megismerési folyamatba a modell-módszer.

A továbbiakban következetesen az alábbi megkülönböztető jelöléseket használom:

- A modellel kapcsolatos minden tevékenységet, funkciót s z e d e t t betüvel,
- a megismerés objektumáról /gázról, folyadékról/ közvetlenül szerzett ismereteket folytonos aláhuzással,
- a modell kutatása során szerzett uj ismereteket szaggatott aláhuzással jelölöm.

III. A MODELL-MÓDSZER A GIMNÁZIUMI ELSŐ OSZTÁLYOS FIZIKÁBAN

1. Motiváció

A gimnáziumi fizika oktatás első óráinak alapvető feladata, hogy előkészitse egy egész év munkáját, hogy programot adjon egy olyan közös munkához, amely tanárra, diákra egyaránt vár az első osztályos fizika tananyag feldolgozása során. A világ természettudományos megismerésének - az általános iskolához viszonyitva - rendszerezettebb, tudatosabb lépéseit ismertetjük meg tanulóinkkal. Kisérletekre, főleg tanulókisérletekre alapozott megfigyelések, tapasztalatok gyüjtésével jutunk el a megismerési folyamatban egy olyan szintre, ahol a közvetlen megfigyelés, az objektum további közvetlen megismerése már nem lehetséges. Ha ehhez több jelenségnél is eljutottunk, már kialakithatjuk diákjainkban a továbblépés keresésének igényét. A megismerési folyamatban ezt a továbblépést a m o d e l l - m ó d s z e r jelenti. A modell--módszer strukturájának elemeivel - ha egyelőre játékosan is - kell diákjainkat megismertetni.

2. A modell-módszer megismerése

A közvetlenül meg nem figyelhető szerkezetü objektumokat "fekete doboz"-nak nevezve közelebb hozhatjuk az általános problémát tanulóinkhoz. Igy kerülnek konkrét kapcsolatba az elektromos és a mechanikai /zörgő/ fekete dobozzal, melyek vizsgálata során sajátitják el a modell-módszer alkalmazásának lépéseit:

a/ A modellezés szükségességének felvetődése

A megismerés most is tapasztalatszerzéssel, megfigyeléssel, kisérlettel indul. A kisérleteket a tanulóknak maguknak kell megtervezni, mint hasonló helyzetben egy kutatónak. Ez megköveteli a vizsgálati szempont meghatározását. A probléma "fekete doboz" jellegéből adódik, hogy ismereteket közvetlen uton nem szerezhetünk.

b/ A modellezés elméleti előkészitése

A megfigyelésekkel, kisérletekkel szerzett tapasztalatokat összegyüjtik.

c/ Modellalkotás, vagy modellkiválasztás

A rögzitett vizsgálati szempont /pl. elektromos vezetés: zörgetés/ ismeretében megalkotják a "fekete doboz" e s z m e i m o d e l l j é t. Az eszmei modell természetesen kifejeződhet anyagi formában:

a mérési pontok elektromos vezetés szempontjából való összekötése rajzban /kapcsolási rajz/, vagy a válaszfalnak a doboz rajzába történő jelölésében /k é p m á s m o d e l l /.

d/ A modell tanulmányozása

A modellezés legfontosabb szakasza a modellkutatás következik mindkét "fekete doboz"-nál. Itt a modell a kutatás önálló tárgyává válik, természetesen főleg a korábban megállapitott szempontok szerint /vezetés illetve akadály/. A "kutatás" során ismereteket gyüjtünk a modellről. Ez jelentheti más mérési pontok közötti vezetés, vagy nem-vezetés ismeretét, illetve a zörgetős doboznál bizonyos mozgásokra bekövetkező, vagy be nem következő hanghatás észlelését.
Ezekhez az ismeretekhez eljuthatunk mind az eszmei modell, mind a modell anyagi formában való kifejeződésével /képmás modell/ végzett g o n d o l a t - k i s é r l e t t e l.

e/ Ismeretátvitel a megismerés objektumára

A modellkutatás során a modellről szereztünk csak ismereteket, pedig célunk az eredeti objektum /fekete doboz/ megismerése. Mivel most a modell és a modellezett objektum között a megfelelés analógia, ezért a szerzett uj ismeret átvihető a megfigyelés objektumára.

f/ Az uj ismeret ellenőrzése és igazolása

Az uj ismeret ellenőrzéseként mindkét "fekete doboznál" elvégezzük a megfelelő vezetéssel, illetve mozgatással történő kisérleteket.

g/ Az uj ismeret beépitése a tudományos elmélet rendszerébe

Az uj ismeret - igazságának bizonyitásával - beépül a fekete dobozról korábban alkotott ismereteink rendszerébe.

Természetesen az uj ismeret hamis volta is eredményt hoz. Jelentheti a nem kellő megfelelési viszonyt a modell és az objektum között, de jelentheti a megismerési folyamatban használt modell téves megalkotását is.

Lehetséges, hogy ezzel nem fejeződött be a megismerési folyamat. Ha mód van rá, akkor az objektum megismerését annak közvetlen kutatásával folytatjuk. Ha pedig ennek lehetetlensége továbbra is fennáll, vagy ha a célszerüség nem ezt diktálja, akkor az uj - most már igazolt - ismeret felhasználásával uj modellalkotással folytatódik az objektum megismerése.

Természetesen az első néhány ilyen fizika óra célja nem az, hogy egy kutatási módszert szakmai, fizikai, esetleg filozófiai szempontból elmélyülten tanulmá-

nyozzunk. Sokkal inkább még mindig motivációról, problémafelvetésről, a világ megismerésének ujabb lehetőségéről, módszeréről van szó. Annak ellenére, hogy mindez szinte játékos keretek között történik, máris fontos következtetések levonását tehetik meg a tanulók:

- Ugyanazon objektum megismeréséhez más és más modellek segitségével is eljuthatunk.
- Ezek között vannak egyszerübbek és bonyolultabbak is. Célszerü a legegyszerübb modellek alkalmazására törekedni.
- Ha a két "fekete doboz" egybe lett volna épitve, akkor is csak egyik szempontból kezdtünk volna a megismeréshez és egyben a modellalkotáshoz is /mivel e megfigyelési szempontok egymástól lényegesen eltérnek/.

Tapasztalatom szerint érdemesebb a "zörgetős dobozzal" végigjárni a modellezés utját. Ujszerüsége érdekesebbé - és a tanár számára is jobban kihasználhatóbbá - teszi a megismerési folyamatot, kellően kiemelve a modell-módszer hatékonyságát. Az elektromos fekete doboz a tanulók iskolai és saját tapasztalatai miatt kevésbé szolgálja e célt.

A "fekete dobozok" megjelenése csak a modell-módszer megismerését szolgálta, mintegy előzményként jelent-

kezett. Előfordulhat, hogy a tanulók egy része a "zörgő dobozzal való játékot" öncélunak, vagy tul egyszerünek találja. A "játék" lényegét csak később, a modell-módszer lépéseit többször végigjárva érti meg. Célszerü tehát lehetőség szerint néha visszakanyarodni a fekete doboz problémához.

3. Gázok

Ettől a fejezettől kezdve már egy valódi megismerési folyamat szükségszerü lépéseként jelentkezik a modell-módszer és kiséri végig munkánkat a tanév folyamán.

Környezetünk egyik leggyakrabban előforduló anyaghalmazának, a gázok viselkedésének megismerését megfigyeléssel és tanulókisérletekkel kezdhetjük. Ezek tapasztalataiként a tanulók megállapithatják, hogy a gázok:

- nyomást fejtenek ki a tárolóedény falára,
- összenyomhatók, bár egyre nehezebb minél kisebb térrészbe összenyomni,
- minden gáz magától szétterjed a rendelkezésre álló térrészben,
- gyorsan terjed szét,
- más gázzal keveredik.

A tapasztalatok mellett azonnal felmerülnek olyan kérdések is, hogy hogyan és miért következnek be e tapasztalt jelenségek? A kérdésekre az objektum /gáz/ további közvetlen vizsgálatával már nem tudunk választ adni, igy a megismerés e szakaszában szükségszerüen bekövetkezik a modell-módszer alkalmazása az előzőekben már megismert lépések szerint:

a/ A modellezés szükségességének felvetődése

A modell-módszer megjelenését a megismerés folyamatában mint látjuk most is megelőzik a megismerés egyéb módszerei /pl. megfigyelés, kisérlet, stb./, és csak akkor alkalmazzuk, mikor ezekkel uj ismeret szerzése már nem lehetséges.

b/ A modellezés elméleti elökészitése

A gázról /objektumról/ szerzett összes tapasztalat, ismeret egybegyüjtése, rendszerezése következik. Rögzitjük, hogy a gázok vizsgálatát, viselkedésének megfigyelését

a szétterjedés /térkitöltés/,
a keveredés és
a nyomás

szempontjából akarjuk elvégezni. Meglévő ismereteink birtokában, tudatositva a fenti szempontokat megállapithatjuk, hogy nincsenek alternativáink modellkiválasztásra. Tehát modellt kell alkotnunk.

c/ Modellalkotás, vagy modellkiválasztás

A m o d e l l a l k o t á s t ugy kell végeznünk, hogy biztositsuk a megfelelési viszonyt a modell és a modellezett objektum között a kiválasztott megfigyelési szempontok figyelembevételével. A gázok a n y a g i m o d e l l j é t szeretnénk megalkotni. /Az anyagi modellek és a modellkutatás során végzett modellkisérletek közelebb állnak a 14-15 évesek értelmi képességeikhez mint az eszmei modell, illetve kutatásakor a gondolatkisérlet. Ezért a továbbiakban a megismerés objektumára vonatkozó közvetett ismereteinkhez lehetőség szerint anyagi modellek kutatásával jutunk./ Mivel "az anyagi modellek, ha a modellezés szubjektuma hozza létre őket, csak a kutató fejében korábban kialakult eszmei modellek eltárgyiasulásai", ezért az összegyüjtött tapasztalatokra alapozva előbb e s z m e i m o d e l l t alkotunk /1/:

- A keveredésre alapozva nem folytonosnak, hanem részecskékből állónak gondolhatjuk a gázokat. A részecskéket csak már ismert formájuaknak és a korábbi tapasztalataink /fekete doboz/ alapján a lehető legegyszerübbeknek gondoljuk, igy alakul ki e részecske golyó formája.
- A részecskék kicsik, hiszen nem láthatjuk őket.
- A részecskék mozognak, mégpedig elég nagy sebes-

séggel, hiszen erre utal a keveredés és a viszonylag gyors térkitöltés.

- Mivel a terem minden részébe "elkeveredne" /kölni/, számuk nagy lehet.

Az eszmei modell /nagy sebességgel mozgó, nagy számu, kis golyók sokasága/ tárgyiasulásaként a tanulók egyszerü a n y a g i m o d e l l e k e t alkothatnak /a rendelkezésre álló tanulókisérleti eszközök segitségével/, pl. egy tálcán lévő sok kis golyó állandó gyors rázásával, vagy ugyanezt a célt szolgálja az ismert rázógép is. Az igy megalkotott anyagi modell a modellek osztályozása szerint a f i z i k a i m o d e l l e k altipusát jelenti.

d/ A modell tanulmányozása

A m o d e l l k u t a t á s során mind a tanulók egyszerü modelljével, mind a rázógéppel m o d e l l - k i s é r l e t e k e t végzünk. A kisérletek során a következő uj ismereteket szerezhetjük a modellről:

- a modell részecskéi /golyói/ nagy sebességü mozgásaik közben ütköznek egymással,
- ütköznek a térrészt határoló falakkal,
- az ütközések következtében igy mozgásuk rendszertelenné /rendezetlenné/ válik,
- a nagy számu ütközés következtében nyomást fejtenek ki a golyók a falakra /ez akár a tálcán el-

helyezett elmozdulható záródal, akár a rázógép segitségével is tapasztalható/. Ha az ütközéseket levélmérleggel vizsgáljuk, akkor csak igen nagy számu részecske esetén tapasztalhatjuk az "állandó" nagyságu nyomást.

e/ Ismeret-átvitel a megismerés objektumára

A fizikai modelleken belül a megfelelés a modell és modellezett objektum között alapulhat minőségi analógián. "Ezen altipushoz tartozó modellektől csak azt követelik meg, hogy belső természete hasonlitson a modellezett objektum természetéhez ... /1/", ami a mi esetünkben fennáll. Igy az ismeret-átvitel lehetősége a modellezés objektumára /a gázra/ megvalósulhat.

f/ Az uj ismeret ellenőrzése és igazolása

A gázról igy nyert uj ismeretek igazolását adhatják azok a kisérletek, amelyek a Brown-mozgást, vagy a Tyndall-jelenséget mutatják. Mindkét jelenség a m o d e l l i n t e r p r e t á l ó funkciója segitségével érthető meg.

A modellek - mint láthatjuk - nemcsak kognitiv, hanem más, gnoszeológiai funkciót is betölthetnek, pl. a m o d e l l e l ő r e l á t á s funkcióját is. Ugyanis ha rázógépes modellünket /vagy a tanulóit/ két különböző gáz /csupán a megkülönböztethetőség miatt

más szinü/ részecskéivel állitjuk össze, a térkitöltést és a keveredést m o d e l l k i s é r l e t ü n k b e n egyaránt tapasztaljuk. De ha ugyanezen térrészben csak az egyik anyag részecskéi vannak, akkor a térkitöltés az előzőkhöz viszonyitva hamarabb bekövetkezik. A modell előrelátó funkciója szerint a gázzal hasonló kisérletet végezve hasonló eredményre jutunk. És valóban, ha a megfigyelés objektumának, a gáznak a térkitöltését ugy figyeljük meg, hogy egyszer más gáz is jelen van /pl. levegő és brómgáz/, majd levegő "nélkül" csak brómgázét, akkor lényegesen gyorsabban lejátszódó térkitöltési folyamatot figyelhetünk meg. Amig a Brown-mozgás és a Tyndall-jelenség a részecskék más testtel /igy fallal is/, addig ez utóbbi kisérlet a gáz részecskéinek egymással való ütközését "valószinüsiti". Igy a gázok keveredésére is magyarázatot kaphatunk a korábbi modellkisérletben tapasztaltak alapján /m o d e l l i n t e r p r e t á c i ó/.

g/ Az uj ismeret beépitése a tudományos elmélet rendszerébe

Igy egyrészt az objektum vizsgálatával nyert közvetlen tapasztalataink, másrészt a modell kutatásával nyert közvetett ismereteink alapján a következő h i p o t é z i s t alkothatjuk a gázról a szétter-

jedés /térkitöltés/, a keveredés és a nyomás szempontjából:

a gáz igen nagy számu, kicsi, nagy sebességgel mozgó golyók halmaza /sokasága/, melyben a golyók egymással és a térrészt határoló falakkal ütközve rendszertelen mozgásukkal töltik ki a teret, a falakra a nagyszámu ütközés következtében nyomást fejtve ki.

4. A folyadék

A folyadékokkal végzett megfigyelések, kisérletek segitségével a következő ismereteket gyüjthetjük róluk:

- nagymértékben összenyomhatatlanok,
- a gázokhoz hasonlóan a folyadékok is maguktól keverednek,
- a folyadékok keveredése lassubb mint a gázoké,
- megfigyelhetjük a folyadékok párolgását /gőz/, illetve
- a gőz lecsapódását.

E tapasztalatok okát, magyarázatát az objektum /folyadék/ közvetlen vizsgálatával nem tudjuk megadni, és

további uj ismeretekhez sem igen tudunk jutni. Ezért ismét a modell-módszer segitségével folytatjuk most már az objektum közvetett módon történő megismerését. /A továbbiakban a modell-módszer strukturájának elemeit külön nem jelzem, csak a megismerési folyamatot követem./

A folyadékok modelljét a megfigyeléseknek megfelelően az összenyomhatóság, a keveredés és a párolgás /lecsapódás/ szempontjából alkotjuk meg.

A folyadékról szerzett tapasztalatok közül a párolgás és a lecsapódás /folyadék és gáz kapcsolata/ azt sugallja, hogy a folyadék-modell megalkotása közben bizonyos mértékig támaszkodhatunk az anyaghalmazok gáz-halmazállapotánál szerzett ismereteinkre. Megalkotjuk a folyadék e s z m e i m o d e l l j é t:

- a folyadék /a párolgásra alapozva/ részecskék /pl. golyók/ halmaza, melyek száma nagy,
- a részecskék kicsik /nem figyelhetők meg/,
- állandóan mozognak /keveredés/,
- a részecskék közel vannak egymáshoz /összenyomhatatlanság/.

Az eszmei modell és a gázra vonatkozó ismereteink alapján megalkothatjuk a folyadék a n y a g i m o d e l l j é t. Ez lehet pl. egy tálcát majdnem telje-

sen betöltő részecskék sokasága, ahol a mozgást a tanulók /vizszintes/ rázással biztositják, illetve a rázógép, ahol a részecskék állandó közelségét kisebb intenzitásu vibrációval érjük el.

A modellkutatás során végzett modellkisérletekkel uj ismereteket nyerünk a modellről:

- a részecskék mozgását a többi részecske igen sürü ütközéssel állandóan akadályozza,
- a részecskék /a gázokhoz képest/ kisebb sebességü, de /az ütközés miatt/ szintén rendezetlen mozgást végeznek,
- a részecskék gyakorlatilag egymással érintkeznek, közöttük szabad tér azért mégis van,
- ha a modellünk - egyébként teljesen hasonló körülmények között - "puha golyókból" /pl. szivacsból készültekből/ állna, akkor az ezzel végzett modellkisérlet nem mutatná a modellalkotásnál a későbbi megfelelés miatt igényelt nagymértékü összenyomhatatlanságot. Következésképpen a folyadék golyói kemények,
- ha gondolatkisérlettel

folytatjuk az -egyébként most már tárgyiasult- e s z m e i m o d e l l ü n k vizsgálatát, akkor a két utóbbi uj ismeret helyett /t.i. hogy a golyók érintkeznek, kemények/ más következtetésre is juthatnánk. Ha ugyanis a folyadékrészecskék között közelitéskor fellépő igen erős taszitó kölcsönhatást tételezünk fel, akkor gondolatkisérletünk eredményeként is az "összenyomhatatlanságot" kapjuk.

A modell és a modellezett objektum közötti megfelelés /a gázokhoz hasonlóan/ most is minőségi analógia. Igy a modellről szerzett uj ismeretek átvihetők a modellezett objektumra, azaz a folyadékra is.

A folyadékról igy szerzett uj ismeretek egy részének igazságát alátámasztja a folyadékok lassubb keveredésének megfigyelhetősége, illetve a folyadékoknál is tapasztalt Brown-mozgás /pl. vetitőmikroszkópban vizezett tej zsircseppjei/ vizsgálata. A folyadék részecskéi között fellépő kölcsönhatást kell még megvizsgálnunk. Ha az előbbi gondolatkisérletben elfogadjuk a közelitésre fellépő taszitó kölcsönhatást, akkor a m o d e l l e l ő r e l á t ó funkcióját betöltve gondolhatunk a részecskék távolitásakor fellépő kölcsönhatásra is, amely vonzó kölcsönhatás lenne. Ezt

az "uj ismeretet" a folyadék /pl. viz/ felszinét érintő, érzékeny rugóra helyezett lemezzel ellenőrizhetjük. A kisérlet tapasztalata azt igazolja, hogy a folyadék részecskéi között azok egymástól való távolitásakor jól érzékelhető vonzó kölcsönhatás van. Ez a távolodáskor fellépő vonzó kölcsönhatás arra is választ ad, hogy miért maradnak a folyadék részecskéi rendezetlen mozgásuk ellenére mégis együtt. A kisérlet egyébként még azt is mutatja, hogy e vonzó kölcsönhatás igen kis hatótávolságu. /Igy az egyes folyadék-részek mozgásuk közben mindig más és más részekkel kerülhetnek kölcsönhatásba, más szóval a folyadék-részeket a kölcsönhatás nem köti "helyhez"./ Sajnos eredményünk a részecskék közelitésekor fellépő taszitó kölcsönhatást nem valószinüsiti, igy a folyadékról alkotott elképzelésünkbe egyelőre az egyszerübbet /t.i., hogy a részecskék egymással érintkeznek és kemények/ épitjük be.

A folyadékok keveredésének vizsgálata közben eddigi ismereteinkkel meg nem magyarázható jelenséget is tapasztalhatunk: a viz és az alkohol keveredését térfogatuk csökkenése követi. Az ismeret hiányát a m o d e l l további k u t a t á s á v a l próbáljuk pótolni. Ha modellünkben a két különböző folyadék részecskéit egymástól méretükkel különböztetjük meg,

akkor a modellkisérletünk is mutatja a térfogatcsökkenést. Igy jutunk a m o d e l l é r t e l m e z ő funkciója segitségével az objektumra vonatkozó uj ismerethez: a folyadék részecskéi különböző méretüek lehetnek.

Egyrészt tehát a folyadékra, mint a megismerés konkrét objektumára közvetlenül irányuló kutatási módszerek, másrészt azt a kutatás /megismerés/ folyamatában helyettesitő modellre irányuló közvetett megismerési módszerek segitségével szerzett ismeretek alapján a következő h i p o t é z i s t alkotjuk a folyadékról az összenyomhatóság, a keveredés, a párolgás és a folyadék-részek közötti kölcsönhatás szempontjából:

> A folyadék igen nagy számu, kicsi és kemény részecskék halmaza /sokasága/, melyek egymással érintkezve állandóan mozognak, közben igen sürü ütközéssel akadályozzák és rendezetlenné teszik egymás mozgását. A részecskék mérete anyagonként különböző lehet, és a részecskék között észrevehető vonzás /kölcsönhatás/ van, melynek hatótávolsága igen kicsi.

A folyadékról elképzelt képünk /a párolgásra és lecsapódásra alapozva/ bizonyos fokig uj ismeretekkel

bővitheti a gázról alkotott hipotézisünket is. Mivel a folyadék részecskéi válnak szabaddá a párolgáskor, igy a gáz golyóiról is ugyanolyan joggal feltételezhetjük azok keménységét, illetve e részecskék méretének anyagonkénti különbözőségét. A kölcsönhatásra vonatkozó "ismereteink" alapján ugy gondolhatjuk, hogy a gáz részecskéi egymással csak ütközéseik rövid időtartamára kerülnek kapcsolatba, két ütközés között /bár ezek sürün követik egymást/ szabadon mozognak. Egy-egy ütközés lejátszódását pedig ugy gondolhatjuk, hogy a hatótávolságon belül, közeledés közben előbb vonzanák, majd /bár ezt egyelőre egy egyszerübb elképzelés miatt még a folyadék-hipotézisből is kihagytuk/ taszitanák egymást, mig távolodáskor forditva. /Természetesen ez utóbbi a részecskék keménységének elképzelését feleslegessé tenné./

5. Szilárd anyagok

A gázok és a folyadékok, vagyis az anyaghalmazok légnemü és cseppfolyós halmazállapotának bizonyos szempontok szerinti viselkedéséről szerzett ismereteink segitségével most már vizsgálat alá vehetjük a szilárd anyagokat is.

Közvetlen tapasztalataink alapján szerzett ismereteink

a szilárd anyagokról:

- megfoghatók, tapinthatók,
- össze nem nyomhatók, általában nehezen formálhatók,
- róluk részek /általában/ le nem törhetők,
- megfigyelhető olvadásuk, szublimációjuk,
- oldódásukat tapasztaljuk,
- nagyitóval sokuknál kis sima felületek figyelhetők meg rajtuk.

Vizsgálati szempontjaink /halmazállapot-változás, alakithatóság, szakithatóság, összenyomhatatlanság és felületükön tapasztalható szabályosság/ szerint a vizsgált objektumról közvetlenül más ismerethez nem juthatunk. A meglévő empirikus és teoretikus ismereteink alapján a további ismeretszerzés céljából megalkotjuk a szilárd anyagok e s z m e i m o d e l l j é t:

- a szilárd anyag nagy számu részecskék /pl. golyók/ sokasága /oldódás, olvadás és szublimációra alapozva/,
- e részecskék /mivel nem észlelhetők/ igen kicsik,
- a részecskék között állandóan és erős kölcsönhatás van /formálhatóság/.

Az eszmei modell a n y a g i megvalósitásakor az "állandó és erős kölcsönhatást" ugy tudjuk "biztositani", hogy a kis hatótávolságot figyelembevéve a részecskék állandó közelségét biztositjuk. /A modell tanulókisérleti megvalósitásánál apró, gyári csomagolásu csapágygolyókat használtunk, amelyek petróleumos-olajossága ezt nagyon könnyen létrehozta./ Ehhez egy petri-csészét egy rétegben majdnem teljesen teleraktunk csapágygolyókkal.

Modellünk igy a valóságban igen sok szilárd anyagnál /a kristályos szerkezetüeknél, röviden "szilárdtestnél"/ megfigyelt felületi szabályosságot nem mutatta. De ha a más halmazállapotu anyaghalmazokra vonatkozó teoretikus ismeret alapján modellünk vizsgálatához a m o d e l l k i s é r l e t e t ugy végezzük, hogy az egészet mozgatva a részecskék mozgását létrehozzuk, "magától" beáll a rendeződés, kialakul a szabályos forma. Ha mindezt ugy végezzük el, hogy a golyók üvegedényben sok rétegben helyezkedhessenek el, akkor a "mozgatással" a golyók nagymértékü térbeli rendeződéséhez jutunk.

Bármelyik modellkisérletben megfigyelhetjük, hogy egy kiszemelt, pl. befestett részecske mozgásának térbeli lehetőségét társaik - éppen az erős kölcsönhatás kivitelezése miatt - nagyon korlátozzák. A részecske

állandó mozgása közben helyét alig változtatja.
A kölcsönhatás pontosabb megismeréséhez az e s z m e i m o d e l l ü n k /amely az eredetihez viszonyitva a modellkutatás során szerzett uj ismeretekkel bővült/ vizsgálatához g o n d o l a t k i s é r l e t e t végzünk.
Már a folyadékoknál feltételeztük, hogy a kölcsönhatás nemcsak a részecskék távolitásakor fellépő vonzásban, hanem a közelitéskor fellépő taszitásban is megnyilvánulhat. Most a kölcsönhatás erősebb voltának ismeretében ezt a szilárd anyagoknál is feltételezzük. Gondolatkisérletünkben követve egy részecske mozgását a következőt "tapasztalhatjuk": ha a részecske az igen erős kölcsönhatás által megszabott helyét a kölcsönhatás hatótávolságán belül mozgás közben egyes társaihoz való közeledéssel és ezzel együtt a többitől való távolodással megváltoztatja, akkor egyrészt a növekvő taszitó kölcsönhatás, másrészt az ellenkező értelmű vonzó kölcsönhatás az eredeti helye felé mozditja. A részecskék mozgása igy a kölcsönhatás által megszabott hely környezetében lejátszódó rezgőmozgás.
Ha olyan a n y a g i m o d e l l t készitünk, amely az eszmei modellünk kölcsönhatásait rugókkal /huzó-nyomó rugókkal, amelyek éppen ilyen tulajdonságuak/ biztositja, akkor egy befestett részecske moz-

gását egy konkrét m o d e l l k i s é r l e t b e n is ilyennek találjuk.

A modellalkotást ugy végeztük, hogy a modell és a modellezett objektum /szilárd anyag/ között az ismeret-átvitel miatt igényelt megfelelés /most minőségi analógia/ fennálljon. Igy a modell kutatása során szerzett ismeretek átvihetők a modellezett objektumra.

A szilárd anyagokról, pontosabban a szilárdtestekről a modell-módszer segitségével kapott uj ismeretek igazságát valószinüsiti pl. az a tapasztalati tény, hogy a kristályosodásnál valóban magától létrejön a "rendeződés", a szabályos rend kialakulása. Egyelőre csak ez valószinüsiti a részecskék mozgását is. A kölcsönhatás valóságát és erősségét a szilárdtestek nehéz formálhatósága, kicsiny hatótávolságát pedig az igazolja, hogy pl. szétvágott két darabját hiába próbáljuk még összenyomással is ujra eggyé formálni.

Ismereteink alapján a következő h i p o t é z i s t alkotjuk a szilárd anyagokról a halmazállapot-változásuk, az alakithatóságuk, szakithatóságuk, összenyomhatatlanságuk és a felületükön tapasztalható szabályosságaik szempontjából:

a szilárd anyag igen nagy számu, kicsiny részecske /golyó/ halmaza, a részecskék közötti jelentős kölcsönhatás következtében ezek

mozgása a kölcsönhatás által meghatározott hely környezetében lejátszódó rezgés. A legtöbb szilárd anyag /a szilárdtestek/ golyóit megszabott rendbe kényszeriti a kölcsönhatás.

A szilárd testekről elképzelt képünk ismét felveti az anyaghalmazok részecskéinek "keménységével" kapcsolatban már a folyadékoknál is megemlitett problémát. A részecskék keménysége abból következett, hogy a folyadék megismerésére alkotott modell kutatásakor tapasztaltuk /a modellnél/ a részecskék "érintkezését", majd az összenyomhatatlanságnak e kettővel tudtuk magyarázatát adni. A tanulók azonban hamar megérezték, hogy ez a magyarázat majd a szilárd anyagoknál gondot okozna, hiszen ebből a folyadékok és a szilárd anyagok egyenlő mértékü összenyomhatatlansága következne, ami véleményük szerint nem lehetséges. Biztos vagyok ugyan benne, hogy véleményüket inkább motiválta e két halmazállapotu anyaghoz kapcsolódó egyéb gyakorlati tapasztalatuk /pl. "alakjuk" változása, szakithatóság, stb./, mégis jobbnak látom a magyarázat elvetését /vagy legalábbis egyedüli megjelenését/. A kölcsönhatáson alapuló elképzelés - bár lényegesen bonyolultabb - nem okozott érthetőségi problémát a tanulók többségé-

génél, és a későbbi munkánkat is nagyban megkönnyítette.

6. Becslés a golyók méretére

Az előző fejezetekben mindhárom halmazállapotu anyagnál különböző, de egyszerü megfigyelési szempontok alapján elképzelést alakitottunk ki az anyagok viselkedéséről. E hipotézisek egyik közös eleme: az anyag részecskék /golyók/ halmaza. Ismereteink egyelőre azonban csak valószinüek. Tehát lényegében az is előfordulhat, hogy e részecskék nem is léteznek. Biztossá akkor válik ez az ismeret, és egyben hipotézisünk is elméletté, ha valóban megmérjük majd e részecskék méretét. Egyelőre azonban csak egy becslést végzünk a részecske méretére /és lényegében ezzel együtt a részecskék számára is/. Ezzel a feladattal - hiszen közvetlen lehetőségünk nincs - ismét csak a m o d e l l - m ó d s z e r segitségével tudunk megbirkózni. "A megismerés empirikus szintjén a modelleket felhasználhatják az objektum mennyiségi paramétereinek meghatározásakor mérési feladatok ellátására /1/".

A probléma megoldása a modell egy uj gnoszeológiai funkciója, a m o d e l l - m é r é s segitségével

történik.

A golyó-méret becslése szempontjából az anyaghalmazoknak csak azon közös tulajdonsága a lényeges, hogy részecskékből állnak. A modellnek is csak e szempontból kell megfelelnie, azaz lehet /egyforma méretü/ nyugvó golyók halmaza. Igy most az anyaghalmaz g e o m e t r i a i m o d e l l j é t alkottuk meg. A m o d e l l k u t a t á s á v a l szeretnénk megtalálni azt a mérési eljárást is, amellyel a modell-golyó mérete közvetett uton meghatározható. Egyszerü m o d e l l k i s é r l e t megadhatja a kivánt eljárást:

a/ a modell-golyók által elfoglalt térfogat /V/ pl. mérőhengerrel meghatározható,

b/ a golyó-halmazt egy rétegben kiteritve meghatározható felületen /A/ terül szét /és térfogata ezzel nem változik, ha a golyók továbbra is érintkeznek/,

c/ a keresett golyóátmérő a térfogat és a felület hányadosaként adódik.

Az igy szerzett ismeretnek a megismerés objektumára való átvitele csak akkor lehetséges, ha a "modell és az objektum közötti megfelelés nemcsak pontosan rögzitett, hanem mennyiségileg is meghatározott /1/".

A megfelelési viszony a használt modell alapján most

csak a folyadékkal van meg. /Hiszen csak itt lehet a "kiteritést" megvalósitani. Ugyanakkor a folyadék-golyók mozgása a becslés szempontjából elhanyagolható./ A megfelelés mennyiségi meghatározottságát pedig a modellbeni térfogat és a szétterülő folyadék-térfogat, illetve a megfelelő felületek aránya határozza meg. Csak olyan folyadékkal tudjuk megoldani a feladatot, amelyik:

a/ könnyen szétterül - ez egy másik folyadék felületén mehet végbe legkönnyebben /ilyen folyadék lehet pl. az olaj, vagy alkohol, ha a másik folyadék a viz/,

b/ nem lesz a felület tul nagy /kicsi mennyiség legyen/,

c/ a térfogat mégis könnyen mérhető legyen /ezért palmitinsavat használtunk, ismert %-ban alkoholban oldva, a szétterülésnél az oldószer gyorsan elpárolgott/.

A tanulókisérlettel kivitelezett mérés eredményeként azt kaptuk, hogy - ha egyáltalán létező az anyaghalmaz golyója, akkor - mérete e rétegvastagsághoz viszonyitva ennél csak kisebb lehet, azaz

$$d \leq 3.10^{-9} \text{ m} .$$

Ha ezek alapján meghatározzuk, hogy a vizsgált folyadék pl. 1 cm^3-e hány ilyen golyót tartalmazhat, akkor a golyók számára a 10^{19}-10^{20} db értéket kapjuk. Becslésünk továbbra sem zárja ki azt a tényt, hogy "az elképzelt golyók akár végtelenül kicsik legyenek, azaz az anyag folytonos, csupán szemléltetési okokból bontjuk fel tömegpontokra /3/".
De ha hipotézisünkben továbbra is feltételezzük a részecskék létezését, akkor az ezekhez kapcsolt "igen kicsi" méretü és "igen nagy számu" feltevés előbbi becslésünk eredményeképpen nagyon is indokoltnak látszik. Ugy is fogalmazhatnánk, hogy hipotézisünk "kicsi" és "sok" szavai helyébe konkrét, bár csak becsült adatok léptek, tehát az anyaghalmazok eddigi vizsgálati szempontok szerinti viselkedése alapján róluk kialakult hipotézisünk uj ismerettel bővült.

7. A részecske mozgásáról - térkitöltés szempontjából

Közvetlen tapasztalataink arról győznek meg bennünket, hogy a gáz mindig kitölti a rendelkezésre álló térrészt. A gáz - többek között a térkitöltés szempontjából alkotott - modellje segitségével közvetett módon szerzett ismereteink alapján ugy képzelhetjük el a gáz előbbi viselkedését, hogy részecskéi nagy sebessé-

gü, rendezetlen mozgással, sürü ütközések közepette alakitják ki a tapasztalt jelenséget. A részecskék rendszertelen mozgása azonban ugy tünik, hogy ellentmond azon tapasztalatoknak, miszerint pl. a szobában mindenütt egyformán tapasztaljuk a levegőt, vagy érezzük a kölni illatát. Előbbi tapasztalataink éppen valami egyformaságot, valami rendezettséget sugallnak. A tanulók által felvetett probléma megoldását ugy érhetjük el, ha uj ismeretekre teszünk szert a térkitöltés szempontjából a gázról. A térkitöltés okát a részecskék rendezetlen mozgásában kell keresnünk. Ezért a hipotézisünkben megfogalmazott nagy számu részecske rendezetlen mozgását kell jobban megértenünk. Uj ismerethez azonban a gáz közvetlen vizsgálatával - a részecskék megfigyelhetetlensége miatt - - nem juthatunk, a megismerést a m o d e l l - - m ó d s z e r segitségével folytatjuk.

A térkitöltéssel kapcsolatos problémánkat konkrétabban ugy is megfogalmazhatjuk, hogy mi történik, ha két teljesen egyforma térrészt - melyek közül az egyik gázzal telt, a másik "üres" - összenyitunk? A gázok már korábban megalkotott e s z m e i m o d e l l - j é v e l végzett g o n d o l a t k i s é r l e t alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy az igy létrehozott "kapuhoz" megfelelő irányu sebességgel

érkező részecske átjut a másik térrészbe. Az átjutás feltételét megszabó sebességgel éppen a rendszertelen mozgás miatt véletlenszerüen bármelyik részecske rendelkezhet. Ezért modellünket a véletlenszerü átjutást megadó szempont szerint kell megvizsgálnunk. Golyósokaságból kell tehát véletlenszerüen egy-egy "átjutót" mindig meghatároznunk. A tanulók számára nem jelent ismeretlen feladatot valamely sokaság egy elemének véletlenszerü kiválasztása, hiszen pl. gyerekkori játékaik egy részénél dobókockával kell hat elemü sokaságból egyet választania, a rulettjátéknál 36 elemüből, a lottó első nyerőszámának kihuzásánál 90 elemü sokaságból választunk ki véletlenszerüen egyet. A n y a g i m o d e l l ü n k e t most ugy alkotjuk meg, hogy részecskéi megkülönböztethetőek legyenek /pl. számozással, szinezéssel/, a két térrészből az átjutást egyszerü átrakással végezzük. Modellünknek a részecskék véletlenszerü átjutása szempontjából való vizsgálatát m o d e l l k i s é r l e t b e n dobókockával, vagy rulettjátékkal végezhetjük /utóbbi a több elemszám miatt előnyösebb, bár a vizsgálat több időt igényel/. A térkitöltésre kapott válasz természetesen csak annyiból érdekel bennünket, hogy melyik térrészbe mennyi részecske tartózkodik. Ha a m o d e l l k u t a t á s során ele-

gendő nagy számu véletlenszerü átjutás közben vizsgáljuk modellünket, azt tapasztaljuk, hogy az eredeti egy térrészben való elhelyezkedés gyakorlatilag nem alakul ki többször, és az állandó átjutás ellenére egy közel egyenletes térkitöltést kapunk. Ha a modellt minél nagyobb számu részecskéből alkotjuk /pl. egy egész osztály tanulói, ahol a véletlenszerüséget neveik kihuzásával biztositjuk, vagy számológép megfelelő programozásával u.n. véletlen-számgenerátort létrehozva igen nagy elemszámu halmazt használva/, a tapasztalat annál meggyőzőbb. Tehát a modell-golyók rendezetlen mozgásának következménye éppen a golyók egyenletes térkitöltése lett.
Mivel a megfelelés továbbra is biztositott volt a modell és a modellezett objektum között, igy a modellről szerzett ismeret átvihető a megismerendő objektumra, a gázra is. Az uj ismeret igazságának valószinüségét éppen a korábban emlitett kisérleti tapasztalatok igazolják. Ami lényegében azt jelenti, hogy a nagy számu részecske rendezetlen mozgását feltételező hipotézisünk ujabb megerősitést nyert.

Modellünk mélyrehatóbb, egzaktabb vizsgálatának eredményeként általánosabb megállapitásra is mód nyilik: a környezettől elzárt golyósokaságban magától végbe-

megy az olyan változás, melyek során a sokaság állapota rendezetlenebbé válik, majd a legrendezetlenebb állapot tartósul egyensulyi állapotként. /A golyósokaság rendezetlenebb állapotát az egyikből másikba, illetve forditva lejátszódó átmenet valószinüségével definiáltuk./ A megállapitást az anyaghalmazokra átvive és más halmazállapotu anyagokra /az oldódás, olvadás, keveredés tapasztalatai alapján/ is általánositva jutunk a II. főtételhez. Ennek segitségével a környezetétől elzárt sok részecskéből álló anyaghalmazban lejátszódó folyamatok előre meghatározhatók és időben vissza nem fordithatók. A természet irreverzibilitása szintén eddigi hipotéziseink alátámasztását adja.

8. A részecskék mozgásáról - energiaeloszlás szempontjából

Az anyaghalmazokról alkotott elképzeléseink között mindhárom halmazállapotban a részecskék mozgása egyaránt szerepelt. A részecskék mozgását társaik kölcsönhatása különböző mértékben befolyásolja, amelytől azonban a gázoknál - az ütközések rendkivül rövid időtartamát kivéve - eltekinthetünk. Lényegében a gáz részecskéinek energiája azok mozgási ener-

giája, a gáz energiáján pedig részecskéinek összes mozgási energiáját értjük. Egy-egy részecske pillanatnyi mozgási energiáját - az energiatárolás független lehetőségeinek /jelenleg három/ megfelelően - az egymásra merőleges három haladásában tárolhatja. Ha az anyaghalmaz zárt rendszert alkot, akkor a gáz energiája, azaz a részecskék összes mozgási energiája nem változik. Ha egy test /most részecske/ ütközik, akkor annak szinte mindig megváltozik az energiája. Hogyan játszódhat le akkor a részecskék hipotézisben megfogalmazott rendszertelen ütközése? Ismét olyan kérdéshez értünk, melyre a választ közvetlenül a gáz vizsgálatával nem adhatjuk meg.

A gázról korábban alkotott e s z m e i m o d e l l t az ütközés szempontjából vizsgálva g o n d o l a t k i s é r l e t e t végzünk. A modell golyóinak egymással történő ütközése azok sebességeinek egymásra merőleges három komponensének legalább egyikét, így legalább egy szabadsági fokon tárolt energiáját, azaz az ütközésben résztvevő két részecske energiáját megváltoztatja. A "megfigyelt" két részecske együttes energiája azonban nem változhat, mert akkor a golyók mozgása végül is megszünne. Így a részecskék ütközését rugalmasnak kell elképzelnünk. Az ütközés részecske és fal között is lejátszódhat, ilyenkor a részecs-

ke energiája egyik szabadsági fokáról a másikra tevődhet át. Valamely sebességkomponensre merőleges fal esetén a rugalmas ütközés az energia ugyanazon szabadsági fokon való tárolását is eredményezheti /természetesen ellentétes irányu sebesség komponenssel/.

A részecskék mozgását, igy ütközéseiket is rendszertelennek gondoljuk. Ez azt jelenti, hogy nem tudjuk megmondani, hogy melyik két részecske találkozik, és melyik ad át ütközéssel a másiknak energiát. Tehát azt sem tudjuk megmondani, hogy a gáz összes energiájából melyik részecske mennyivel és melyik szabadsági fokán részesül, hiszen ez ütközésekkel véletlenszerüen állandóan változik. Ha a gáz a n y a g i m o d e l l j é t most a részecskék véletlenszerü energiacseréje szempontjából alkotjuk meg, akkor a részecskéket, sőt az egyes szabadsági fokokat is meg kell - egyelőre - egymástól különböztetnünk. Az ütközéssel járó energiacsere véletlenszerüségét dobókockákkal biztositjuk. A dobókockák jellegéből adódóan egy 6x6-os sakktábla-szerü elrendezést használunk, amelynek mindegyik helye egy-egy szabadsági fokot jelképez. A két különböző /nagyságu, vagy szinü/ dobókocka egyike az energiacserében véletlenszerüen részt vevő szabadsági fok sorát, a másik az oszlopát jelenti,

igy jelöl ki a két kockával történő dobás egy szabadsági fokot. Ha megállapodunk abban, hogy a két kockával először dobva kiválasztjuk az energiát adó, másodszor dobva az energiát kapó szabadsági fokot, akkor az energiacsere véletlenszerüségét modellünkben biztositottuk. Az egyszerüség kedvéért tételezzük fel, hogy egy-egy ütközés során azonos energia--adag cserélődik, amit pl. egy-egy gyöngyszemmel tudunk megjeleniteni, illetve ennek áthelyezésével az energiacserét megvalósitani. Igy modellünk már lehetőséget ad olyan m o d e l l k i s é r l e t elvégzésére, mellyel a rendszertelen ütközések során végbemenő véletlenszerü energiacserét vizsgálhatjuk. /Most a legáltalánosabb ütközéseket nem vehettük figyelembe, ez meghaladná a 14-15 éves korosztály értelmi szintjét. De csak annyira egyszerüsithettünk, amely még a kisérlet tapasztalatainak levonását elfogadhatóvá teszi./

Induljunk ki egy tetszőleges energia-elrendeződésből, pl. amikor minden szabadsági fok két energia-adaggal rendelkezik. Elég nagy számu dobás /energiacsere/ után a tanulókisérletet végző tanulók a következő észrevételeket tehetik a m o d e l l k u t a t á s során:

- Az eredeti egyenletes energia-eloszlás

gyakorlatilag nem fordul elő többször,

- az egyes szabadsági fokokon igen sok energia is összegyülhet,
- az energia-eloszlás állandóan változik,
- az összes energia - az eredeti feltételünk miatt ez természetes is - nem változik. Igy bármely helyzetben mindig kiszámitható az egy szabadsági fokra jutó energia értéke, amit halmazátlagnak nevezünk /ez kisérletünkben két energia-adagot jelent/,
- ha egy-egy szabadsági fok, illetve bármelyik energia-adagjait hosszabb időn keresztül, sok ütközés közben feljegyezzük, majd ezek átlagát kiszámitjuk, közelitőleg azonos értéket kapunk bármelyik szabadsági fokra is számoltunk. /Igy felismerhetik az ekvipartició tételét./ Az igy nyert értéket időátlagnak nevezzük.
- Bármely szabadsági fokra időátlagban ugyanannyi energia jut, mint a halmazátlag.

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a rendszertelen ütközésekkel bekövetkező véletlenszerü energiacsere folytán a modell-golyó egy-egy szabadsági fokán szinte állandóan változó mennyiségü energia raktározódik,

amely akár igen nagy értéket is elérhet, miközben hosszabb idő alatt minden szabadsági fok egyenlő mértékben részesedik a gáz-modell összes energiájából. A modell és a modellezett objektum közötti megfelelés továbbra is biztositott volt, igy a modell kutatása során szerzett ismeretek átvihetők a megismerendő objektumra, a gázra. A részecskék mozgását, ütközését azonban mindhárom halmazállapotu anyaghalmazra feltételeztük. Igy az átvitt ismeret igazságát akár a párolgás, akár a szublimáció alátámaszthatja. /Bár e két jelenségnél az anyaghalmaz nem tekinthető zárt rendszernek./ A folyadékok és a szilárd anyagok részecskéi már kötött állapotuak a lényegesen erősebb kölcsönhatás következtében. De az ütközéssel együttjáró energiacserével egyes szabadsági fokokon ugy felhalmozódhat a mozgási energia, hogy az egész részecske energiája pozitivvá válik, és igy kötött állapota megszünhet - azaz eltávozhat az anyaghalmazból. /Persze ez egyben azt is jelenti, hogy a visszamaradó anyaghalmaz összes energiája és egy szabadsági fokra jutó energiája is csökken./

Igy hipotézisünket egyrészt az energiaeloszlás szempontjából uj ismeretekkel tudtuk bőviteni, másrészt a valóság más jelenségeinek értelmezése uj oldalról erősiti meg elképzeléseinket.

9. Egy modell-előrelátás

Az előző fejezet kapcsán felvetődhet az a kérdés, hogy mi történik olyankor, ha két, különböző halmazátlagu anyaghalmaz részecskéi között is létre jöhet energiacsere? Valódi anyaghalmazokkal erre a kérdésre meg sem kisérelhetjük a válaszadást, hiszen még azt sem tudjuk megmondani, hogy miről, vagy miből ismerjük fel két anyaghalmaz halmazátlagának különbözőségét. Ennek ellenére - hipotézisünket fenntartva - ez a valóságban is lejátszódhat, hiszen az anyaghalmazok különböző energiával és különböző halmazátlaggal rendelkeznek. Igy érdemes a modell-módszer segitségével keresni egy lehetséges választ erre a problémára.

Az előző fejezet anyagi modelljét egy kissé módositva ez lehetőséget ad két modell-test közötti energiacsere kisérleti vizsgálatára. A 6x6-os elrendezést /a kockákhoz kötődve/ megtartjuk, melynek első négy oszlopa a továbbiakban az A test, az utolsó két oszlopa a B test energiatároló szabadsági fokait jelölje. A két modell-test közötti energiacsere megindulása előtt legyen az A test egy szabadsági fokára jutó energia halmazátlaga 1 energiaadag /igy az A test összes energiája 24 adag/, a B testté pedig 4 energiaadag /igy összenergiája 48 adag/. Mindkét test ezen

belül tetszőleges pillanatnyi energia-eloszlással rendelkezik, melyet gyöngyök felhelyezésével adunk meg. Az egyszerűség kedvéért ez természetesen lehet a legrendezettebb, azaz az 1, 1, 1, stb. illetve a 4, 4, 4, stb. elrendeződés is, hiszen az előzőek szerint ez nem befolyásolja a rendezetlen energiacserét. Az előző fejezetben leirtak szerint biztositjuk az energiacsere véletlenszerűségét. Az elég sok dobást biztositó tanulókisérlet során a **modellkutatást** végezve a következőket állapithatják meg a tanulók a két modell-testről az energiacsere szempontjából:

- Az energiacsere végbemehet csak az A, csak a B, vagy az A és a B test szabadsági fokai között is.
- Ha csak a két test közötti energiacserét vizsgáljuk, akkor a B test többször ad át energiát az A-nak, azaz hosszabb idő /több ütközés alatt/ alatt határozott energiaáramlást észlelhetünk.
- Kb. 30 dobásonként meghatározva a testek halmazátlagát, azt tapasztalhatjuk, hogy /általában/ az A testé nőtt, B testé csökkent.
- Elég nagy számu ütközés után a két test

halmazátlaga megközelitőleg azonos lett /2 energia adag/, az energiaáramlás megszünt.

- Ettől kezdve csak a már korábban megismert rendezetlen energiacsere játszódik le, de ebben most már mind az A, mind a B test energiatároló szabadsági fokai résztvesznek.

Röviden ugy foglalhatjuk össze a tapasztalatokat, hogy ha két modell-test között is lehetséges a részecskék közötti ütközésekkel lejátszódó energiacsere, akkor a véletlenszerü energiacserék során energiaáramlást tapasztalunk a nagyobb halmazátlagu testről a kisebb felé, amely a kiegyenlitődésig tart. Ha a B test eleve az A test részét képezi, akkor is hasonló eredményt kapunk.

Észre kell venni, hogy modellünkben az energiaeloszlás szempontjából a legrendezetlenebb állapot jött létre, és az energiaáramlási folyamat megfordithatatlan. Ez tulajdonképpen a II. főtétel megfogalmazása az energiaeloszlás szempontjából.

A modellről az energiaeloszlás szempontjából szerzett ismereteinket vigyük át a valóságos anyaghalmazokra. Hipotézisünknek akkor válhat elemévé uj ismeretünk, ha annak valószinü igazságát bizonyitani tudjuk. Va-

lamit segit ebben az a gyakorlati tapasztalat, hogy egy mozgó inga pl. káliumpermanganáttal megfestett vizben igen hamar leáll. A jelenséget a m o d e l l alapján é r t e l m e z h e t j ü k ugy, hogy az inga a kevés szabadsági fokán tárolt mozgási energiát /jól érzékelhetően/ nyugodt környezete sok szabadsági fokán ütközésekkel szétszórta, igy egy szabadsági fokán olyan kis mozgási energiát tárol, hogy nagy tömege miatt gyakorlatilag megáll. /Energiaminimum elv./

Mivel az anyaghalmazok biztosan rendelkezhetnek más és más energiával és mert a róluk alkotott hipotézisünk sok vonatkozásban megerősitést nyert már, jogosan kereshetjük a valóságban azt a folyamatot, amely a modellben tapasztaltak szerint fog lejátszódni.

Egyelőre továbbra is főleg a gázokat fogjuk vizsgálni, hiszen elképzeléseink szerint viselkedésük a legegyszerübb. A gázokról más vizsgálati szempontok szerint is ismereteket gyüjtünk, amelyek bővitik majd a róluk alkotott hipotézist.

10. A gázok térfogata és nyomása

A gázok egyik közvetlenül tapasztalt tulajdonságát ugy fogalmaztuk meg, hogy a gázok kitöltik a rendelkezésükre álló térrészt. Hipotézisünk szerint ez a térrész a golyók által beröpködött térfogat. Ezt a térrészt jogosan nevezhetjük a gáz térfogatának. A térfogat a géz olyan tulajdonsága, amely tehát közvetlenül mérhető.

Már legelső tapasztalataink alapján is megállapitottuk, hogy a gáz nyomást fejt ki pl. a léggömbre, illetve az elfoglalt térrész falára. Hogyan fejt ki a gáz nyomást a térrész falára? Mitől függ e nyomás nagysága? A térrész falain mindenütt egyforma-e a gáz nyomása? Ilyen és hasonló kérdésekre a választ a gáz közvetlen vizsgálatával nem tudjuk megadni, igy szükségképpen adódik ismét a m o d e l l - - m ó d s z e r használata a megismerés folyamatában.

A gázok már megalkotott a n y a g i m o d e l l - j é v e l, a rázógéppel végezzük a m o d e l l - k i s é r l e t e t a felvetett vizsgálati szempont szerint. Ha a rázógép teret lezáró /eddig rögzitett/ dugattyujának rögzitését oldjuk és biztositjuk a részecskék rendszertelen mozgását a vibrátor müköd-

tetésével, akkor azt tapasztaljuk, hogy a dugattyu egy bizonyos magasságig felemelkedik. Eközben a modell-golyók a térrész falával, igy a dugattyuval is sürün ütköztek. A dugattyu viszont azért állt meg, mert a ráható gravitációs erővel egyensulyt tudott tartani a golyók ütközéseinek együttes hatása. Tehát a golyók ütközéseik folytán erőt fejtenek ki a dugattyura, mely erőt a dugattyu felületével elosztva a modell-golyók által kifejtett nyomást nyerjük.
Az igy nyert ismeretet /a megfelelés birtokában/ átvive a megismerés objektumára azt mondhatjuk, hogy hipotézisünk szerint a gáz nyomásán részecskéinek a térrészt lezáró fallal /falakkal/ való rendszertelen ütközései közben a falra kifejtett erő és a fal felületének hányadosát értjük.
Mitől függhet a gáz nyomásának nagysága? Az egyszerübb következtetések miatt a gáz nyomása /p/ helyett a nyomás és a fal felületének szorzatát /p.A/, azaz a gáz részecskéi ütközése révén a falra kifejtett erő nagyságát fogjuk vizsgálni. E vizsgálathoz ismételten a m o d e l l - m ó d s z e r t használjuk, hiszen egyrészt a gáz "részecskéje" egyelőre csak hipotézisünk eleme, másrészt még ha kétségtelenül bizonyitva is lenne léte, akkor sem tudnánk becsült mérete és igen sürü ütközése miatt a jelenséget közvet-

lenül vizsgálni.

A felvetett kérdés megoldásához ujabb a n y a g i m o d e l l t alkotunk, amelyhez most - részben - m o d e l l k i v á l a s z t á s s a l jutunk. A sürün ütköző modell-golyók mellé olyan felületet választunk, amely a golyók ütközéseinek hatását is jelezni tudja, pl. levélmérleg tányérját. A golyók ütközését alkalmas magasságból megfelelő sürüségü ejtéssel biztositjuk. A modell-golyóknak a levélmérleg enyhén domborodó tányérján való ütközéseinek hatását m o d e l l k i s é r l e t t e l vizsgáljuk. A mérleg mutatójának átlagos kilendüléséből megállapitható, hogy annál nagyobb az az erőhatás, minél nagyobb az ütköző golyók tömege, minél nagyobb ezek száma és a felületre merőleges-érkezés sebessége, illetve minél kisebb az egész ütközés időtartama. A kisérlet során lényegében a m o d e l l m é r é s i funkciót is teljesit, hiszen a végbemenő folyamat mennyiségi jellemzőinek kvalitativ megfigyelését teszi lehetővé. Az általános iskolai ismereteket felhasználva a mennyiségi kapcsolat kvantitativvá tehető, ha a golyóknak a faltól kapott lendülete és a közben eltelt időtartam segitségével megadjuk a fal által a golyókra gyakorolt erő időátlagát, ami természetesen azonos nagyságu a vizsgált erővel. Ha a fe-

lületnek ütköző golyók számának és az ütközések időtartamának hányadosát az ütközések "szaporaságaként" definiáljuk /ez előnyt jelent a korosztály matematikai képzettségét - főleg függvénytani területen - ismerve/, akkor eredményünk igy fogalmazható: a golyók által az A felületre kifejtett erő /p.A/ egyenesen arányos a golyók ütközéseinek szaporaságával, a golyók tömegével és a felületre merőleges sebességének megváltozásával /melyben a két utóbbi helyett "az egy-egy golyó falra merőleges lendületének megváltozása" is mondható/. Ezzel gyakorlatilag a modell-golyók felületre gyakorolt nyomását is megadtuk:

$$p = \frac{n.2.m_o.v_\perp}{A} ,$$

ahol $n = \frac{\Delta N}{\Delta t}$ az ütközések szaporasága,

m_o egy golyó tömege,

$v_\perp$ egy golyó falra merőleges sebessége,

A a fal felülete.

Mielőtt a modell-ismeretünket átvinnénk a megismerendő anyaghalmazra /gázra/, folytassuk tovább a rázógépes m o d e l l ü n k k u t a t á s á t az uj ismeret birtokában. Használjunk ismert számu /N/ és tömegü /m_o/ golyót és állitsuk a vibrátort egy állandó

erősségre. Igy az elmozduló dugattyu egy adott helyzetet foglal el. Ezzel a dugattyu A felületén a golyók ütközésének szaporasága /n/ is állandó lett, és vele együtt a golyók által a dugattyura kifejtett erő /p.A/ és nyomás /p/ is. A dugattyu adott helyzete a gáz térfogatát /V/ is meghatározza. /Jól látható, hogy mivel a m o d e l l ismételten m é r é s i funkciót is teljesit, ezért a mennyiségi meghatározottság megint erőteljesebben érvényesül./ Ha ekkor többletterhelést teszünk a dugattyura, akkor az lefelé elmozdul egészen addig, amig a golyók által kifejtett erőhatás ezt nem ellensulyozza. Ez a "nehezebb" dugattyunál az azonos felület miatt csak nagyobb nyomással biztositható /ami persze azt is jelzi, hogy az ütközések szaporasága is megnőtt, vagy másképpen azt, hogy két ütközés között eltelt átlagos időtartam lecsökkent/. M o d e l l k i s é r l e t ü n k azt jelzi, hogy a golyók által beröpködött térfogat csökkenésével együtt jár a tapasztalt nyomás növekedése. Ha fele akkora térfogatot állitunk igy be, ahhoz kétszer akkora sulyu dugattyu és ezzel együtt kétszer akkora nyomás tartozik. Azt tapasztaltuk tehát, hogy a golyók által beröpködött térfogat a golyók ütközése révén a dugattyura kifejtett nyomással forditottan arányos, azaz p.V állandó.

A p.V szorzat értékét a modellről szerzett két utolsó ismeretünk segitségével meghatározhatjuk, melynek eredményeként a következő összefüggést kapjuk:

$$p.V = 2.N.\frac{1}{2}.m_o.v_\perp^2 .$$

Az összefüggésben felismerhetjük egy részecske A felületre merőleges haladásának mozgási energiáját. A fejezetben a modellkutatás során eddig az egyszerüség kedvéért a részecskék falra merőleges sebességét azonosnak vettük. A tér három irányában rendszertelenül röpködő golyók mozgásának három szabadsági foka van. A kiválasztott A felületü falra merőleges sebesség az egyik szabadsági foknak felel meg. Igy valójában - a modellünkről szerzett korábbi ismereteink alapján - egy részecske mozgási energiája helyett az egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energiának /$\varepsilon_{x\ átlag}$ / kell az előző összefüggésben szerepelnie, azaz

$$p.V = 2.N.\ \varepsilon_{x\ átlag} .$$

Eredményünkből - a m o d e l l i n t e r p r e t á c i ó s funkcióját szem előtt tartva - több következtetést is levonhatunk:

- a p.V szorzat modellkisérletben tapasztalt állandóságának az a feltétele, hogy a részecskék száma és ezek egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energiája ne változzon,
- adott térrészben /az előzőek mellett/ a térrészt határoló bármely felületen azonos nyomás jelentkezik,
- hasonlóan a térrészen belül levő bármely "belső" felületen is ugyanezt a nyomást kell tapasztalnunk.

A modellkutatás során a modellről szerzett uj ismereteinket a golyók ütközése révén a falra kifejtett p nyomásról, a nyomás és térfogat kapcsolatáról, a p.V szorzat állandóságának feltételéről - a modell és a modellezett objektum közötti megfelelés korábbi ismeretének birtokában - átvisszük a modellezett objektumra.

A nyomásról szerzett ismeretek közül nyomásmérővel könnyen igazolhatjuk azt, hogy egy térrészben bárhol azonos a gáznyomás /pl. szobában a levegő nyomása/. Ezzel választ kaptunk fejezetünk elején feltett harmadik kérdésünkre is. A m o d e l l e l ő r e l á t ó funkciója segitségével találhatjuk meg azt az eszközt /Melde-cső/, amellyel gázok nyomása és tér-

fogata közötti forditott arányosság ki is mutatható. A p.V szorzat állandóságának feltételei közül a valóságban a részecskeszám állandósága - akár jogos részecskéről beszélni, akár nem - a gáz tömegének állandóságával biztositható. Az egy golyó egy szabadsági fokára jutó átlagos mozgási energia állandóságának biztositásával azonban nem tudunk mit kezdeni, hiszen az - egyelőre csak a hipotézisünkben létező - részecskék mozgási energiájának állandóságát, vagy annak megváltozását nem tudjuk, hogy mi alapján észlelhetnénk. Éppen ez határozza majd meg a gáz további vizsgálatának megfigyelési szempontját.

Az uj ismeretek egy részének igazságát bizonyitani tudtuk, ez a velük közvetlenül kapcsolatban állókét is valószinüsiti. Ezzel egyrészt a gázokról alkotott hipotézisünk uj ismeretekkel bővült, másrészt hipotézisünk korábbi elemeinek helyessége más megfigyelési szempont alapján is megerősitést nyert.

11. A gázok hőmérséklete

A m o d e l l - m ó d s z e r alkalmazásával sok uj ismeretet gyüjtöttünk a gázról. Annak ellenére, hogy ezek az uj ismeretek igazsága csak valószinü,

mégis eljutottunk egy, a gáz konkrét, mennyiségileg jellemezhető tulajdonságai közötti összefüggéshez. Ez az összefüggés azonban a gáz mérhető tulajdonságai mellett /p illetve V/ olyan tényezőket is tartalmaz, amelyek értelmét csak a hipotézisünknek megfelelően tudjuk /N, illetve $\varepsilon_{x\ átlag}$ /. Hipotézisünk igaz voltát nagyban elősegitené, ha a gáz egy további mérhető tulajdonságát kapcsolatba tudnánk hozni a "részecskék egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energiájával". E konkrét megfigyelési szempont szerint vizsgáljuk meg a gáz viselkedését a következő kisérletben:

Egy kb. 4 cm átmérőjü üvegből fujt gömbhöz forrasszunk vékony kb. 50 cm hosszu üvegcsövet. Kis higanydugóval zárjunk el az üvegcső egy részéből és az üveggömbből álló térrészben valamennyi levegőt. Fogjuk meg kezünkkel az üveggömböt ugy, hogy a kisérlet közben a cső vizszintes legyen! Igen rövid idő mulva azt tapasztaljuk, hogy a higany-dugót a gáz kifelé tolja. /A kisérlet a Melde-csővel is elvégezhető, de jóval időigényesebb és kevésbé látványos./ A bezárt gáz nyomása a dugattyu egyik oldalán mindig egyenlő volt a dugattyu másik oldalán gyakorlatilag változatlan légnyomással. Igy a gáz nyomása végig állandó, azaz nem befolyásolhatta a gáz térfogatának nagyságát.

Csak a bezárt gáz hőmérséklete lett más. Tapasztalatunk szerint a gáz hőmérsékletének növekedése annak térfogatnövekedését okozta.

A tapasztalt kapcsolatot a **modell interpretációs** funkciója segitségével érthetjük meg. Induljunk ki a modell tanulmányozása során nyert összefüggésből:

$$p.V = 2.N.\varepsilon_{x\ átlag} .$$

Ezek szerint, ha a /most **eszmei**/ **modellünkben** az előzőek miatt a nyomás és a részecskeszám állandóságát biztositjuk, akkor **gondolatkisérletünk** eredményeként a térfogat növekedését csak az $\varepsilon_{x\ átlag}$ növekedése okozhatja. Következtetésünket megvizsgálhatjuk az **anyagi modellel végzett modellkisérlet** segitségével. Ha a "rázógépes" modellben a gondolatkisérlet és egyben a valódi kisérlet feltételeit ismét biztositjuk /a golyószám és az - elmozdulható dugattyu sulyának állandóságával - a nyomás állandóságát/, és az $\varepsilon_{x\ átlag}$ növekedését a vibrátorra kapcsolt feszültség növelésével elérhető nagyobb ütésekkel létrehozzuk, akkor a következőt tapasztaljuk: a dugattyú a golyók intenzivebb ütközése követ-

keztében felemelkedve nagyobb teret biztosit a golyók röpködéséhez. A modellünkben tehát p és N állandósága mellett növekvő $\varepsilon_{x\ átlag}$-hoz valóban nagyobb térfogat tartozik.

A modellről szerzett uj ismeretet a modellezés objektumára átvive ugy gondolhatjuk, hogy a gáz részecskéinek egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energia növekedésével növekszik a gáz térfogata /p és N állandósága mellett/. De hasonlót tapasztaltunk a hőmérsékletről is. A hőmérséklet lenne tehát a gáz azon mérhető tulajdonsága, melyről az $\varepsilon_{x\ átlag}$ nagyságára következtethetnénk?

A válasz megadása előtt térjünk vissza eredeti kisérleti tapasztalatunkhoz, hiszen ez lehetőséget ad a hőmérséklet pontosabb megfogalmazására. A hőmérsékletet állandó nyomás és állandó gázmennyiség mellett egyenesen arányosnak vesszük a gáz térfogatával:

$$V \sim T .$$

A definicióhoz azonban e mérési tapasztalaton kivül felhasználjuk hipotézisünk azon eredményét, amely a gáz eddigi mérhető mennyiségei közötti kapcsolatot adta, és igy a

$$p.V \sim N.T \qquad /p \text{ és } N \text{ állandó}/$$

definicióhoz jutunk. Itt p és V egységének korábbi rögzitése miatt az egyenlőséghez egy arányossági té-

nyezőre /váltószámra/ van szükség, melyet k-val jelölünk és Boltzmann - állandónak nevezünk. Igy nyerjük az u.n. gáztörvényt:

$$p.V = k.N.T \ .$$

Ha a gáztörvényt összevetjük a modell kutatása során nyert összefüggéssel, azt kapjuk, hogy

$$\varepsilon_{x\ átlag} = \frac{1}{2}.k.T \ .$$

Tehát a hőmérséklet előbbi definiciója alapján hipotézisünk az alábbi ismerettel bővült: a gáz T hőmérséklete a rendezetlenül röpködő gázgolyók egy szabadsági fokára jutó átlagos mozgási /csak haladási/ energiájával arányos. Ami azt is jelenti, hogy ilyen definició alapján mérve a gáz hőmérsékletét, a mérési adatból a gáz részecskéinek egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energiájára következtethetnénk. Ahhoz azonban, hogy ilyen következtetéseket tehessünk, meg kell valósitanunk az előbb definiált hőmérsékletet mérő hőmérőt, illetve a megfelelő hőmérsékleti skálát. Már a definicióból következik, hogy ezen a hőmérsékleti skálán negativ hőmérséklet nincs. A hőmérő anyagául gázt használva a viz fagyás- és olvadáspontjához tartozó gáztérfogatokat mérve, a gáztörvényt, a hagyományokat és a hőmérsék-

let definiciójét szem előtt tartva bevezetjük az abszolut hőmérsékleti skálát.

Ezek után uj ismeretünk igazságának kérdését is megvizsgálhatjuk. Egy korábbi m o d e l l - e l ő r e - l á t á s során felvetődött, hogy - ha a hipotézisünk helyes -, akkor lennie kell a valóságban olyan folyamatnak, amelyben két, egymással kölcsönhatásba kerülő, különböző halmazátlagu anyaghalmaz közötti energiaáramlás, illetve a halmazátlagok kiegyenlitődésével egy egyensulyi helyzet létrejötte alakul ki. Uj ismeretünk szerint a halmazátlagok különbözősége a hőmérséklet különbözőségét jelenti. Ebből pedig az következne, hogy különböző hőmérsékletü anyaghalmazok között - ha lehetőség van rá - energiaáramlás indul a magasabb hőmérsékletüből a kisebb hőmérsékletü felé, és ez addig tart, amig ki nem alakul egy közös hőmérséklet. A mindennapi tapasztalat e folyamat megindulását és egy közös hőmérséklet kialakulását messzemenően igazolja. A folyamat megfordithatatlansága és a két különböző hőmérsékletü anyaghalmaz hőmérsékletének kiegyenlitődése tulajdonképpen a II. főtétel megnyilvánulását jelenti. /Természetesen más anyaghalmazok kölcsönhatását itt ki kell küszöbölni, vagy megfelelően általánositani kell./

A kisérleti tapasztalatok egyrészt igazolták hőmérsék-

let-definiciónk helyességét, másrészt a gázról alkotott hipotézisünket /egyre bővülő ismeret-elemeivel együtt/ egyre valószinübbé teszik.

A m o d e l l i n t e r p r e t á l ó funkciója segitségével tudjuk megérteni azon megfigyeléseinket, hogy melegebb oldószerben gyorsabb az oldódás, vagy az elkeveredés, illetve pl. a kámfor, naftalin is melegebb környezetben gyorsabban szublimál: ott a nagyobb hőmérséklet az intenzivebb részecske-mozgást jelzi. Igy a gázckról szerzett ismeret beépül a folyadékokról és a szilárdtestekről alkotott hipotézisünkbe is.

A gázokról kialakitott hipotézisünk egyre jobb, egyre szerteágazóbb ismereteket mutat. A gáztörvénnyel pedig a gáz mennyiségileg maghatározható, mérhető tulajdonságai közötti összefüggéshez jutottunk. A gáztörvényben azonban a gáz állapothatározói mellett szereplő "N.k" szorzat akár egyszerü arányossági tényezőként is szerepelhetne, hiszen a részecskék léte még csak valószinü és nem biztosan igaz ismeret. Ennek ellenére a gáztörvény segitségével további uj ismerethez juthatunk. Ha különböző gázok olyan menynyiségét vesszük, amelyek azonos térfogaton és hőmérsékleten azonos nyomásuak, akkor ezek azonos számu részecskéből állnak /Avogadro törvénye/. Ha az

ilyen gázok tömegét megmérjük, azt különbözőnek találjuk. A m o d e l l i n t e r p r e t á l ó funkciója alapján ez azt jelenti, hogy a különböző gázok részecskéi különböző tömegűek. Ezen gázmennyiségek tömegét lemérve és a legkisebbet egységnyinek választva a tömegek arányából az is meghatározható, hogy a gázgolyók tömege hányszorosa a legkisebb tömegű gázgolyó /hidrogén/ tömegének.

12. Az energiacsere lehetőségei

Különböző hőmérsékletű anyaghalmazok érintkezésekor tapasztalatunk szerint mindig megindul magától egy olyan folyamat, amely során a melegebb test hűl, a hidegebb pedig melegszik. A folyamat egy közös hőmérséklet elérésekor leáll, a két anyaghalmaz állapota itt állandósul. Hipotézisünk szerint e jelenségben a II. főtétel nyilvánul meg. A folyamat közben az anyag részecskéinek rendezetlen mozgása során létrejövő ütközések következtében energiaátadás lép fel, amely a nagyobb halmazátlagu testről határozott tendenciáju energiaáramlásban nyilvánul meg a kisebb halmazátlagu test felé. A folyamatot termikus kölcsönhatásnak /hőközlés/ nevezzük. A termikus kölcsönhatás közben a melegebb test lehűl, igy hipotézisünk szerint egy ré-

szecske egy szabadsági fokára jutó átlagos mozgási energiája csökken, a hidegebb testé forditva. A közös hőmérséklet elérése után a termikus kölcsönhatás megszünik.

Ha az előzőeket a gázra és környezetére vonatkoztatjuk, akkor azt kell mondanunk, hogy a gáz energiát vesz fel /vagy ad le/ környezetétől /környezetének/, amig a közös hőmérséklet létre nem jön. Hipotézisünk szerint a gáz energiáján részecskéi mozgási energiájának összegét kell értenünk, amely az egyszerüség miatt golyóalakunak képzelt /3 szabadsági foku/, N számu részecske esetén az előzőek miatt a következő módon adható meg:

$$E = \frac{3}{2}.N.k.T \quad .$$

Ez az energia a környezettel létrejövő termikus kölcsönhatás közben megnő /lecsökken/. A termikus kölcsönhatás során rendezetlen mozgással megvalósuló energiaközlés jön létre. A gáz energiájának növekedését /csökkenését/ hőmérsékletének növekedése /csökkenése/ jelzi.

Egy egyszerü kisérleti tapasztalat azonban megmutatja, hogy a gáz energiája más módon is változhat. Ha pl. egy pumpa dugattyuját szelepének befogásával többször

lenyomjuk, akkor a pumpa hengerének melegedését tapasztaljuk. Ez pedig csak a gázzal és a környezetével van kölcsönhatásban, és mivel a környezet ilyen rövid idő alatt nem változik, csak a gáztól nyerhetett termikus kölcsönhatással energiát. Tehát a gáz energiája a dugattyu lenyomása közben megnőtt, amit a modell interpretáló funkciója szerint jelenthettünk ki. De miért nőtt meg a gáz részecskéinek egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energiája? A választ modell magyarázattal kaphatjuk meg. Korábbi modellkísérletünk alapján tudjuk, hogy ha egy részecske v_x sebességgel ütközik az - egyszerüség kedvéért az x irányra merőleges - álló dugattyunak, akkor azonos nagyságu, ellentétes irányu sebessége lesz az ütközés után. A gázok eszmei modelljével végzett gondolatkisérlet alapján viszonylag könnyen meghatározható, hogy ugyanez a részecske egy feléje közeledő dugattyutól eredeti sebességénél kissé nagyobb nagyságu sebességgel távozik. Most már - megint a modell interpretáló funkciója alapján - mondhatjuk, hogy az ütközés során a részecske x irányu mozgásában tárolt mozgási energiája és /mivel az y és z irányu sebességet a dugattyu nem változtatja meg/ ezzel együtt a

részecske mozgási energiája is megnő. De hasonlóan megnő minden ütköző részecskéé is. Az igy nyert többletenergia a gázrészecskék egymással való rendszertelen ütközése közben egyenletesen szétoszlik a gáz minden szabadsági fokán. Az $\varepsilon_{x\ átlag}$ növekedését tapasztaltuk a gáz melegedésében, amely a termikus kölcsönhatás miatt a henger melegedését eredményezte. A gáz energiája tehát megváltozhat a dugattyu elmozditásával, azaz munkavégzéssel is. Az is kimutatható, hogy a gáz energiájának a megváltozása /ha nincs termikus kölcsönhatás/ éppen egyenlő a végzett munkával. A munkavégzés során tehát az energiacsere rendezett mozgással történő energiaközléssel valósul meg.

A valóság egy ujabb jelenségét tudtuk értelmezni modellünk segitségével. Ezzel viszont a gázról alkotott hipotézisünk ujabb alátámasztást nyert.

A gáz energiája tehát munkavégzéssel és termikus kölcsönhatással egyaránt megváltoztatható. Ez egyaránt érvényes más anyaghalmazokra is.

Zárt anyaghalmaz esetén a környezettel nincs energiacsere, igy az anyaghalmaz energiája állandó. Nyilt anyaghalmaz energiája annyival változik, amennyit környezetétől kap, vagy környezetének átad. Az I. főtételt most már az energiacsere módját is figyelembe véve igy fogalmazhatjuk meg: A környezetével kölcsön-

hatásban álló nyilt anyaghalmaz energiájának megváltozása egyenlő a termikus kölcsönhatás során /rendezetlen módon/ közölt energia és a munkavégzéssel /rendezett mozgással/ közölt energia algebrai összegével:

$$\Delta E = Q + W \ ,$$

ahol Q a termikus kölcsönhatással, W pedig a munkavégzéssel lejátszódó energiacsere mértékét jelzi. Az anyaghalmaz energiaváltozásának ilyen megkülönböztetése azonban csak akkor indokolt, ha az anyaghalmaz is és a környezete is valóban sok részecskéből álló, nagy számu szabadsági fokkal rendelkező halmaz. /Természetesen a m o d e l l k u t a t á s során szerzett eddigi ismereteink átvitele a megismerés objektumára is csak ekkor indokolt./ Az anyaghalmazokról szerzett ismereteink viszont egyelőre csak valószinüek, csak hipotézisbe foghatjuk össze őket. Összefüggésünk csak Q és W mennyiségi meghatározottságának ismeretében válik kvantitativen is használhatóvá.

13. Az energiacsere mennyiségi jellemzése

A legegyszerübb anyaghalmazok, a gázok vizsgálatával folytatjuk megismerő tevékenységünket a felvetett vizsgálati szempont szerint.

A rendezett mozgással létrejövő energiaközlés mértékének meghatározás a könnyebbnek tünő feladatot jelent. A munkavégzés meghatározását először az egyszerüség kedvéért állandó térfogatu gáz esetén adjuk meg. Ezt pl. ugy valósithatjuk meg, ha egy könnyen mozgó könnyü dugattyu egy gázteret ugy zár el, hogy a gáz és a külső levegő nyomása egyenlő legyen, majd a gázt lassan hüteni kezdjük. Ekkor a külső levegő mindig annyira nyomja be a dugattyut, hogy a gáz nyomása a külső nyomással mindig megegyezve állandó legyen. Ugyanis a m o d e l l i n t e r p r e t á c i ó s funkciója segitségével azt mondhatjuk, hogy a gáz hütése csökkenti az egy részecske egy szabadsági fokára jutó átlagos mozgási energiát, igy lényegében a részecskék sebességét is. Az egyre kisebb sebességü részecskék ütközéseinek szaporasága, a gáz nyomása és igy a dugattyura kifejtett erőhatása is csökken. Ekkor a külső nyomás kissé beljebb tolja a dugattyut, csökken a gáz térfogata és igy a kisebb sebesség ellenére növekszik az ütközések szaporasága, amivel visszaáll az eredeti

nyomása a gáznak. E g o n d o l a t k i s é r l e t - t e l igazolhatjuk a gáz ilyen állapotváltozásának lehetőségét. A gáz állandó nyomása közben lejátszódó munkavégzés mértékét megadó összefüggést ezután könnyen megkaphatjuk:

$$W = -p \cdot \Delta V \quad .$$

A rendezett mozgással történő energiaközlés mértékének nagyságát a gáz mennyiségileg jellemezhető tulajdonságai segitségével sikerült meghatároznunk. Ha a dugattyu "befelé" mozog, akkor a térfogat csökken, igy $\Delta V < 0$, tehát a munkavégzés mértéke végül is pozitiv számadattal jellemezhető. A korábbiakból tudjuk, hogy ekkor a részecskék ütközés utáni sebessége és igy energiája, illetve vele együtt a gáz energiája is növekszik. Tehát - a m o d e l l é r t e l m e z ő funkciója alapján azt mondhatjuk, hogy - a munkavégzéssel történő energiacsere során akkor nő a gáz energiája, ha a munkavégzés mértékét pozitiv számadat határozza meg. Ha a dugattyu "kifelé" mozog, akkor a térfogat nő, a $\Delta V > 0$, és a munkavégzés mértékét megadó negativ számadat - az előző gondolatmenethez hasonlóan - a gáz energiájának csökkenését jelenti a lejátszódó energiacsere közben. /Az előző hütés természe-

tesen csak a befelé mozgó dugattyu esetét szemlélteti, de most már azt is csak azzal a kiegészitéssel, hogy a gáz energiájának munkavégzéssel történő növelésénél intenzivebb energiacsökkenést eredményezzen./ Előző gondolatmenetünk lényegében azt is megadja, hogy a munkavégzés állandó térfogat esetén nulla. Minden más esetben nehezebb feladatunk van a munkavégzés mértékének meghatározásánál. Ilyenkor segithet:

- a W kiszámitása az I. főtétel segitségével,
- a p-V diagramon vázolt állapotváltozás alatti terület számértékének meghatározása térfogatváltozás figyelembevételével,
- ha állandó a gáz hőmérséklete, akkor /$\Delta E = 0$/ az I. főtétel egyszerübb alakja adhatja a megoldást.

Sajnos az általános eset igen komoly gondot jelent az első osztályosoknak, igy legfeljebb csak érinteni lehet az előző eseteket.

Vizsgáljuk meg a gázoknál a termikus kölcsönhatás közben lejátszódó energiacsere mennyiségi jellemzésének lehetőségét. Mivel az energiacsere ezen rendezetlen lehetőségének csak akkor van létjogosultsága, ha a gáz és környezete is valóban sok szabadsági foku anyaghalmaz, igy e lehetőség vizsgálata várhatóan to-

vábbi uj ismereteket nyujthat, melyekkel kiegészithetjük hipotézisünket.

A legegyszerübb mennyiségi jellemzés nyilván akkor adódik, amikor az energiacsere másik módjára nincs lehetőség, azaz vizsgáljuk meg először a gáz állandó térfogata esetén lejátszódó termikus kölcsönhatást. Ennek meghatározása ismét csak a m o d e l l - m ó d s z e r segitségével történhet. Az I. főtételből ugyanis / V = állandó miatt/

$$\Delta E = Q_v ,$$

/ahol a "v" index az állandó térfogatra utal/ következik. A gáz energiájának változását a korábbi m o d e l l k u t a t á s o k r a és az előző feltételre alapozva ugy képzeljük el, hogy az csak a hőmérséklet megváltozása miatt változhat:

$$\Delta E = \frac{3}{2}.N.k.\Delta T .$$

A kettő összevetéséből:

$$Q_v = \frac{3}{2}.N.k.\Delta T .$$

Tehát a termikus kölcsönhatással lejátszódó energia-

csere mértéke állandó térfogatu, adott részecskeszámu gáz esetén a hőmérsékletváltozással egyenesen arányos, igy

$$\frac{Q_V}{\Delta T} = \text{állandó.}$$

A m o d e l l e l ő r e l á t ó funkcióját betöltve azt jósolhatjuk, hogy ha mérjük a gázzal állandó térfogaton termikus kölcsönhatással közölt energiát és a hőmérsékletváltozást, ezek egymással egyenesen arányosak. A tapasztalat /pl. egy ismert elektromos merülőforralót és hőmérőt alkalmazva/ ezt igazolta, és ezzel hipotézisünket tovább erősitette.
Az igy definiált mennyiséget hőkapacitásnak nevezzük és C_V-vel jelöljük. Azaz

$$C_V = \frac{3}{2}.N.k \quad ,$$

amelyről könnyen leolvasható, hogy a hőkapacitás értéke csak a /egyszerüség miatt golyóalakunak képzelt/ gázrészecskék számától függ, és a gáz minőségétől független. A hőkapacitás számértéke a részecskék számával egyenes arányosan változik, ami a m o d e l l i n t e r p r e t á l ó funkciója alapján nyilvánva-

ló. Ugyanis a részecskék számának növekedésével egyre több energia szükséges ahhoz, hogy ugyanolyan /pl. 1 K/ hőmérsékletváltozást tapasztaljunk, hiszen a felvett energia arányosan több szabadsági fokon oszlik szét. A gáz hőkapacitása a gáz mérhető tulajdonságai segitségével a gáztörvényből meghatározható.

$$C_v = \frac{3}{2}.\frac{p.V}{T} ,$$

illetve /az előzőekben emlitett módon/ közvetlenül mérhető.

Mindezeket - lényegében - a modellkutatásokra alapozva állapitottuk meg. Ezért a m o d e l l e l ő r e l á t ó funkciója szerint azt mondhatjuk, hogy a hőkapacitás ismeretében a gázt_alkotó golyók_száma is_meghatározható lesz, ha a Boltzmann-állandót már ismerjük. Ez pedig gyakorlatilag azt jelenti, hogy sikerült mérhető mennyiségekkel kapcsolatba hozni a hipotézisünkben szereplő golyószámot.

A hőkapacitás modellből nyert összefüggése szerint - - a golyószám alapján - a gázok a termikus kölcsönhatást tekintve egyformán viselkednek, hiszen azonos golyószámu anyaghalmazuk hőkapacitása azonos. Más szempontokból /pl. sürüség, tömeg/ viszont megkülönböztethetők. A részecskeszám segitségével a gáz tömege és a

gázrészecske tömegének kapcsolata

$$N \cdot m_o = m ,$$

ahol m_o a gázgolyó tömege.
Ha ezt összevetjük a hőkapacitást definiáló összefüggéssel, akkor

$$\frac{Q_v}{\Delta T} = \frac{3}{2} \cdot \frac{k}{m_o} \cdot m$$

kapcsolathoz jutunk. Ebből azt olvashatjuk ki - a modellkutatásból szerzett ismeretekre alapozva -, hogy a különböző gázok azonos tömegének /legyen 1 kg/ azonos hőmérsékletváltozásához /legyen 1 K/ a gáz állandó térfogatát fenntartva már különböző energia szükséges.
Az itt szereplő

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{k}{m_o}$$

tényező minden gázra más és más értéket ad /az m_o-tól függően/, melyet fajhőnek nevezünk és c_v-vel jelölünk.
A modell előrelátó funkciója szerint, ha mérjük különböző gázok 1 kg-ja hőmérsékletének

1 K-el való változtatásához állandó térfogaton szükséges energiát, akkor gázonként más értéket kapunk. A korábban már említett méréshez hasonlóan a tapasztalat jóslásunkat igazolta. Így hipotézisünk ismét megerősítést nyert.

A fajhő és a gázgolyók tömege között - a modellből nyert összefüggésből - felismerhető fordított arányosság a m o d e l l i n t e r p r e t á l ó funkciója alapján könnyen értelmezhető. Ugyanis minél kisebb egy gáz egy golyójának tömege, a gáz 1 kg-jában annál több a részecskék száma, így annál több energia szükséges ahhoz, hogy a gáz hőmérsékletének 1 K-el való emelkedését tapasztaljuk, hiszen a felvett energia annál több szabadsági fokon oszlik szét.

Következésképpen a m o d e l l e l ő r e l á t ó funkciója szerint azt mondhatjuk, hogy a fajhő ismeretében a gázt alkotó golyók tömege is meghatározható lesz a Boltzmann-állandó ismeretében. Ezzel viszont olyan eredményhez jutottunk, mellyel sikerült mérhető mennyiségekkel kapcsolatba hozni az - egyelőre csak a hipotézisünkben szereplő - gázgolyók tömegét.

Összefoglalva: a gáz az állandó térfogat melletti termikus kölcsönhatás során

$$Q_V = C_V \cdot \Delta T = c_V \cdot m \cdot \Delta T$$

módon kiszámitható energiát vesz fel a környezetéből, ha a hőmérséklete növekszik, vagy ad le a környezetének, ha a hőmérséklete csökken. Az összefüggéssel nyert pozitiv számadat jelöli az energiafelvételt, a negativ számadat az energialeadást a rendezetlen mozgással megvalósuló energiacsere közben a m o d e l l é r t e l m e z ő funkciója alapján.

Természetesen a termikus kölcsönhatás nemcsak állandó térfogatu gáz esetén jöhet létre. Azt a folyamatot érdemes külön megvizsgálni, amelyiknél a gáz nyomása a kölcsönhatás közben állandó marad. Egyrészt azért, mert ezt a folyamatot már több alkalommal felhasználtuk az órák során, pl. a gázhőmérő készitésénél, másrészt mert az összes egyéb folyamatnál fellépő munkavégzést mennyiségileg itt tudtuk pontosan jellemezni.

A keresett mennyiségi kapcsolathoz ismét csak a korábbi m o d e l l k u t a t á s során szerzett ismeretekből juthatunk. Ugyanis az I. főtételből

$$Q_p = \Delta E - W ,$$

ahol "p" az állandó nyomásra utal. A korábbiak szerint

$$\Delta E = \frac{3}{2}.N.k.\Delta T$$

és a gáztörvényből

$$W = - N.k.\Delta T$$

helyettesitéssel nyerjük a

$$Q_p = \frac{5}{2}.N.k.\Delta T$$

összefüggést. Azaz az állandó nyomáson végbemenő termikus kölcsönhatás közbeni energiacsere mértéke adott golyószám mellett a hőmérsékletváltozással egyenesen arányos, tehát

$$\frac{Q_p}{\Delta T} = \text{állandó.}$$

Lényegében a m o d e l l e l ő r e l á t ó funkciója alapján azt mondhatjuk, hogy az adott feltételek mellett mérve a gázzal termikus kölcsönhatással közölt energiát és a hőmérsékletváltozást, azok egymással egyenesen arányos mennyiségek. A mérési adatok e jóslatunkat pontosan igazolták.

Az igy definiált - állandó nyomás melletti - hőkapacitás csak a gázgolyók számától függ:

$$C_p = \frac{5}{2}.N.k \ ,$$

és mindig nagyobb, mint az állandó térfogatu változásra jellemző C_v /természetesen azonos részecskeszám e-

setén/. Eredményünk a m o d e l l i n t e r p r e t á l ó funkciója szerint ugy értelmezhető, hogy ha pl. hőmérsékletnövekedést okoz a termikus kölcsönhatással közölt energia, akkor ezzel nő a gáz egy részecskéjének egy szabadsági fokára jutó átlagos mozgási energia. Ez állandó nyomáson - a korábbiak szerint - térfogatnövekedést, és ezzel együtt az energiacsere másik lehetősége szerint negativ munkavégzést, azaz a gáz energiájának csökkenését eredményezi. Mivel végül is a hőmérséklet nőtt, igy a gáz energiája is nőtt a mindkét energiacserét lehetővé tevő folyamatban. Azaz a gáz energiáját csökkentő energiacsere hatását is kompenzálva növelte a termikus kölcsönhatással járó energiacsere a gáz energiáját. Igy ugyanazon hőmérsékletváltozáshoz /pl. 1 K-hez/ érthetően több energiát kell az anyaghalmaznak felvennie, tehát

$$c_p > c_v .$$

A korábbihoz hasonló módon definiálhatjuk az állandó nyomáson lejátszódó folyamat fajhőjét is

$$c_p = \frac{5}{2} \cdot \frac{k}{m_o},$$

melynek viszonya az állandó térfogaton lejátszódó fo-

lyamat fajhőjéhez a hőkapacitásoknak megfelelően

$$\underline{c_p > c_v}\,.$$

Összegezve: a gáz állandó nyomás melletti termikus kölcsönhatása közben

$$Q_p = C_p \cdot \Delta T = c_p \cdot m \cdot \Delta T$$

kapcsolattal kiszámítható mértékű energiacsere jön létre a gáz és a környezete között. Ha a folyamat során a gáz hőmérséklete nő, akkor $\Delta T > 0$ és egyben $Q_p > 0$. Ez egyrészt a gáz termikus kölcsönhatás közbeni energiafelvételét jelenti, másrészt azt is, hogy az energiacsere mértéke e kölcsönhatás közben nagyobb, mint a vele együtt lejátszódó munkavégzéssel történő energiacsere energiát csökkentő mértéke. Ha a hőmérséklet csökken, a folyamat a m o d e l l i n t e r p r e t á l ó funkciója alapján hasonlóan értelmezhető.

A termikus kölcsönhatás közbeni energiacsere mértéke minden más esetben bonyolultabb módon határozható csak meg. Elvileg a lehetőségeink:

- Q kiszámitása az I. főtétel szerint,
- ha nincs a folyamat közben hőmérséklet-

változás, akkor /$\Delta E = 0$/ $Q = -W$,

- ha a lejátszódó folyamat rendkivül gyors, akkor nincs idő a termikus kölcsönhatás megindulásához, igy akkor $Q = 0$,
- ha megakadályozzuk a termikus kölcsönhatást /hőszigeteléssel - bár ez csak elvi lehetőség/, akkor $Q = 0$.

E lehetőségeket azonban egyrészt az első osztályosok számára tulzott elvontságuk miatt, másrészt az igen szoros időbeosztás miatt nehezen lehet az órákon érinteni.

14. A modell-értelmezés és a valóság

Az előző fejezetben megállapitottuk, hogy a gázok hőkapacitása a modellünkből levezetett összefüggések alapján /az egyszerüség miatt V = állandó esetben/ kiszámolható a

$$C_v = \frac{3}{2}\cdot\frac{p\cdot V}{T} \quad / = \frac{3}{2}\cdot N\cdot k /$$

kapcsolat szerint. Ha a különböző gázokból azonos golyószámu mennyiséget veszünk, ezek hőkapacitása azonos nagyságu lesz. Igy a m o d e l l e l ő r e l á t ó funkciója alapján azt jósolhatjuk, hogy a különböző gázok azonos golyószámu mennyiségének /amit

pl. p, V és T rögzitett értékének azonosságával biztosithatunk/ hőkapacitását mérve azt azonosnak és a modellből kiszámitottal egyenlőnek találjuk. A mérést elvégezve azonban azt tapasztaljuk, hogy ez csak néhány gáz esetén ad a modellből kiszámithatóval azonos eredményt /pl. argon, hélium, neon/, a többi gáznál azok mért hőkapacitása mind nagyobb értéknek adódik. Az eltérő mérési adatok viszont két másik számadat valamelyikét /mégpedig a várt érték $\frac{6}{5}$ = 2-szeresét, illetve $\frac{5}{3}$-szorosát/ szolgáltatják. Hogyan lehetséges az, hogy a mért adataink egyes gázoknál a modellből jósolt értékét, másoknál ettől meghatározott módon eltérő értéket határoznak meg? Vajon mi különbözteti meg az egyes gázokat egymástól, hogy egyesek a hipotézisünkben megfogalmazott módon, mások ettől eltérően viselkednek? A felvetett kérdésekre ismét a m o d e l l - m ó d s z e r alkalmazásával nyerünk választ.

Mi is volt - energetikai szempontból - a gázokról alkotott modellünk lényege? A golyók gyakorlatilag csak mozgási energiával rendelkeznek, mely energia a rendszertelen ütközéssel járó energiacserék közben időátlagban egyenletesen oszlik szét a golyók - egymásra merőleges három haladó mozgásának megfelelően - három szabadsági fokán.

Ez az elképzelés az argon, hélium és neon esetében jó hőkapacitás-értékhez vezetett, igy jogosan mondhatjuk, hogy ezeknél a közölt energia kizárólag a haladó mozgás egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energiáját növelte. A többi gáz esetében azonban több energiát kell közölnünk ugyanakkora hőmérsékletemelkedéshez, ami azt jelenti, hogy a többi gáznál a közölt energiának csak egy része fordítódik a haladó mozgás egy szabadsági fokra jutó átlagos energiájának - tehát a modell interpretációs funkciója szerint a hőmérsékletnek - növelésére, másik része másféle energia növelésére használódik fel.
Az anyaghalmaz /most éppen gáz/ részecskéit csak a legegyszerübb lehetőségek egyike miatt gondoltuk tulajdonképpen golyóalakunak. Próbáljuk modellünket ugy módositani, hogy a részecskék nem gömbölyüek, hanem különböző kiemelkedések vannak rajtuk. Ha az ilyen eszmei modellünkkel az ütközések megfigyelése szempontjából gondolatkisérletet végzünk, akkor az ütközéskor lejátszódó energiacsere folytán nemcsak a részecskék haladó mozgásának energiája, hanem a forgó mozgásában tárolt energiája is megváltozhat. Egy részecske forgását - a haladáshoz hasonlóan - egyértelmüen ismerhetjük, ha három egymásra merőleges irányból nézve /három egy-

másra merőleges tengely körüli/ forgását ismerjük. A rendszertelen ütközések következtében az anyaghalmaz mozgási energiája időátlagban egyenletesen oszlik el a most már hat /három haladó, három forgó/ energiatárolási lehetőség /szabadsági fok/ között. Ha az ilyen rendszer energiát vehet fel környezetétől, akkor ez is egyenletesen oszlik el, és növeli egy szabadsági fok átlagos energiáját.

A modellkutatás során szerzett ismereteinket ha átvisszük a megismerés objektumára /gázra/, akkor a termikus kölcsönhatással közölt energia - a most uj ismerettel gazdagodott hipotézisünk szerint - egyenletesen oszlik el a gáz hat szabadsági fokán. Igy kevesebb energia jut a részecske haladó mozgásának egy szabadsági fokára /ha Q azonos volt, éppen fele annyi/, azaz a gáz hőmérséklete kevésbé változik /éppen feleannyival/. Lényegében ezen ismeret igazságát bizonyitották a hőkapacitásra kapott mérési eredmények.

Ezzel a modell interpretáló funkciója alapján megérthetjük azon gázok viselkedését, melyek hőkapacitása mérésénél a "kétszeres" számadat jelentkezett /pl. ammónia, metán, ózon/. Ugyanakkor, ha az értelmezésben következetesek akarunk maradni - - felvetődik az a kérdés, hogy a hélium stb. /mérési

adattal is alátámasztott/ golyóalaku részecskéi miért nem foroghatnak? Mivel egyik gáznál a részecskék forgásának hipotézisbe való felvétele magyarázta a gáz viselkedését, a másik gáznál pedig még további, az előzőnek éppen ellentmondó problémákat vetett fel, a megismerés e szintjén érdemes a továbbiakban a gázok viselkedésének "golyókkal" való értelmezését tovább nem folytatni.

Természetesen - a hőkapacitás /és a fajhő/ tapasztalt értékeitől eltekintve - az összes előző tapasztalatunk a modell interpretáló funkciója alapján továbbra is jól értelmezhető a részecske legegyszerübb /golyó/ formája segitségével. Illetve pl. a gáztörvény levezetésekor csak a részecskék egy szabadsági fokára jutó átlagos energiáját használtuk ki, és nem kellett figyelembe vennünk az összes szabadsági fokok számát. Igy a gáztörvény továbbra is érvényes összefüggést ad.

Az előzőek ellenére, ha mégis fenntartjuk a forgás - - nem forgás lehetőségét, akkor a hőkapacitás $\frac{5}{3}$-szoros számadatát is értelmezhetjük a modellünkkel. Ugyanis ha feltételezzük, hogy egy tengely körüli forgása nem, de a másik kettő körüli forgása lehetséges a részecskének, akkor a szabadsági fokok száma öt lenne, amellyel számolva e gá-

zok hőkapacitását a mért adattal egyezőt kapnánk. Az ilyen gáz /pl. oxigén, hidrogén, nitrogén/ részecskéit pl. sulyzó alakunak képzelhetjük.

Hipotézisünk alapján - a modellre támaszkodva - megint uj ismereteket szereztünk. A mérésből kapott hőkapacitások arányából /azonos részecskeszámu gázok esetén/ a gáz részecskéinek szabadsági fokaira, a szabadsági fokokból a részecskék alakjára tudunk következtetni /pl. golyó, sulyzó, stb./. A szabadsági fok ismerete módositja a gáz energiáját megadó összefüggésünket:

$$E = \frac{f}{2}.N.k.T \ ,$$

ahol f a szabadsági fokok száma.

De módositja a /Boltzmann-állandó ismerete után/ a részecskék számát

$$C_v = \frac{f}{2}.N.k$$

és a részecskék tömegét megadó

$$c_v = \frac{f}{2}.\frac{k}{m_o}$$

összefüggéseinket is.

15. A kölcsönhatás

A gázok megismerését megkönnyitette az, hogy részecskéik általában egymástól távol vannak, és igy kölcsönhatásuk az idő tulnyomó részében elhanyagolható. A folyadékok és a szilárd anyagok viselkedésének megértéséhez viszont figyelembe kell venni részecskéi állandó közelsége miatt a köztük fellépő kölcsönhatást is. A kölcsönhatás megismeréséhez a folyadékokkal - a kettő közül a könnyebben vizsgálható anyaghalmazzal - - végzett kisérletekkel közelitünk. A kisérletek tapasztalatai:

- a folyadék felülete nálánál nagyobb sürüségü /viszonylag nagy felületü/ tárgyat is megtart,
- ilyen kisérletnél a felület kissé behorpad,
- az előzőekhez hasonló jelenség a folyadék belsejében nem tapasztalható,
- a folyadékhártya /pl. cérnaszállal elválasztott kereten/ a lehető legkisebb felületre huzódik össze,
- a hártya egyik felének átszakitása előtt a cérnaszál bármilyen helyzetben megmarad a vizszintes hártyán,

- a hártya felülete munkavégzéssel növelhető.

Kisérleti tapasztalatainkat a folyadékról korábban alkotott m o d e l l ü n k alapján é r t e l m e z n i tudjuk. A modellről szerzett ismereteink szerint a folyadék részecskéi között állandó kölcsönhatás van, melynek következtében a folyadék részecskéi kötött állapotban vannak. A folyadékok belsejében azonban a részecskék - az ütközések következtében - a helyüket változtatva is mindig ugyanannyi társukkal kerülnek kölcsönhatásba, igy kölcsönhatási energiájuk egyforma negativ mértékü. A felületen - és részben annak közvetlen közelében is - lévő folyadékrészecskék kevesebb társuk kölcsönhatása miatt kevésbé kötött állapotuak, azaz energiájuk kevésbé negativ. Igy érthető, ha a folyadékhártya a lehető legkisebbre huzódik össze, mert ezáltal több részecske kerülhet a nagyobb energiáju felületi helyekről a negativabb energiáju belső helyekre. Teljesen hasonlóan értelmezhetjük azt a kisérleti tapasztalatot is, hogy a felület növeléséhez munkavégzés szükséges. A felület növelése ugyanis azt jelenti, hogy részecskék kerülnek a mélyebb energiáju belső helyekről a felületre, azaz a felület növelése a folyadék energiájának növekedését jelenti. Az energia növekedését viszont - jelen esetben - csak munkavégzéssel érhetjük el. A felület "behorpadásával",

azaz a felület nagyságának növekedésével járó energianövekedést a ráhelyezett test "magassági" energiájának csökkenése fedezte. A felületi részecskék kitüntetett helyzete miatt tapasztaljuk tehát e jelenségeket, és a belső helyek teljesen egyforma jellege miatt nem tapasztalunk hasonlót a folyadékok belsejében.

A modellről szerzett egyik korábbi ismeret az volt, hogy a részecskék közötti hatótávolság viszonylag kicsi. Ha különböző mennyiségü viz felületére vékony müanyag korongot helyezünk, majd érzékeny rugóval azt felemeljük, mindkét esetben azonos erőt mérhetünk. Ha a korong felületét utána megvizsgáljuk, azt vizesnek találjuk. Lényegében tehát a korongon levő és a visszamaradó vizrészecskék egymástól való elszakitásához szükséges erőre tudunk következtetni különböző mennyiségü folyadék részecske esetén. A m o d e l l i n t e r p r e t á c i ó s funkciója szerint ez azt jelenti,hogy egyrészt e kölcsönhatásban csak a közvetlen közelben lévő részecskék vesznek részt, tehát - a részecskék méretéről becslés utján nyert ismeret alapján - igen kicsi ez a hatótávolság, másrészt, hogy a müanyag és a viz részecskéi között is tapasztalható, ráadásul erősebb kölcsönhatás, mint két vizrészecske között. Uj ismeretként leszürhető

tehát, hogy kölcsönhatás nemcsak azonos, hanem különböző anyagok részecskéi között is fellép.

A kölcsönhatás erősségének az anyagi minőségtől való függését olyan kisérletekben is tapasztalhatjuk, ahol a folyadékból egy-egy cseppet ejtünk különböző felületekre. Vizet cseppentve tiszta üvegre, a folyadék szinte szétterül a felületen /nedvesiti azt/, mig olajos üvegen csaknem gömbölyü marad a csepp formája. M o d e l l ü n k k e l mindezt ugy é r t e l m e z h e t j ü k, hogy az üveg és vizrészecskék közötti kölcsönhatás lényegesen kötöttebb állapotot jelent egy vizrészecske számára /azaz negativabb energiáju állapot/, mint a társaival való kölcsönhatás, illetve az olaj- és vizrészecskénél éppen forditva. Hasonló kisérletekkel a különböző anyagok részecskéi közötti kölcsönhatás erőssége össze is hasonlitható /pl. most a viz és üveg részecskéi közötti lényegesen nagyobb, mint az olaj és a viz részecskéi közötti/. Ha pedig a vizcsepp olajos felületen, vagy higanycsepp üvegfelületen felvett közel gömbalakját nézzük, akkor ez a saját részecskék közötti erősebb kölcsönhatás /mélyebb kölcsönhatási energia/ mellett azt is jelzi, hogy adott térfogatu anyagnál a gömbalakhoz tartozik a legkisebb felület.

A különböző anyagi minőségü részecskék közötti kölcsön-

hatást mutató jelenség a hajszálcsövesség. A jelenséget a m o d e l l i n t e r p r e t á c i ó s funkciója szerint pl. tiszta üvegcső és viz esetén a következő módon értelmezhetjük. Ha a vizrészecskék az üveg részecskéivel kerülnek kölcsönhatásba, akkor kötöttebb állapotba jutnak, igy energiájuk negativabb lesz. Ez az energiacsökkenés fedezi a vizoszlop részecskéinek "magassági" energia növekedését. A felemelkedés maga pedig ugy jön létre, hogy az üveg falához a nagyobb kölcsönhatás miatt szinte odasimuló folyadékrészecskék társaiktól távolodnak, ezzel nő a két vizrészecske közötti kölcsönhatás, amely magyarázza uj és uj részecskék közeledését, végül a folyadékoszlop felemelkedését. Az egész folyamat addig tart, amig a vizrészecskék vonzása még képes megtartani a vizoszlopot elszakadás nélkül. A jelenség azért szembetünőbb kis átmérőjü csőnél, mert a nagyobb keresztmetszet esetén már igen kis emelkedés annyi energiát igényelne, amennyit a részecskék kölcsönhatási energiájának mélyülése már nem tudna fedezni. Ha pedig higannyal, vagy olajos üvegcső esetén ismét vizzel végezzük a kisérletet, akkor a szükségszerüen kialakuló gyengébb kölcsönhatás miatt a folyadék részecskék egy része kevésbé kötött állapotba kerül. Az ehhez szükséges többlet-energiát a folyadékoszlop

süllyedése fedezi.

Hasonló módon értelmezhetjük a folyadékok felületének a tároló edény falánál tapasztalt viselkedését.

A folyadékokról alkotott hipotézisünk a kölcsönhatás vizsgálatával több uj elemmel bővült:

- a részecskék kölcsönhatásának hatótávolsága valóban igen kicsi,
- a kölcsönhatás nemcsak azonos anyag részecskéi, hanem különböző anyag részecskéi között is fellép,
- a kölcsönhatás mértéke függ a részecskék anyagi minőségétől.

Az előző kisérleti tapasztalatok pedig részben a hipotézisünk korábbi elemeinek igazságát erősitik, részben a tapasztalt uj ismeretek igazságát valószinüsitik.

16. Egy lehetőség a kölcsönhatás mennyiségi jellemzésére

Az előző fejezetben megállapitottuk, hogy a folyadék részecskéi között igen rövid hatótávolságu erők hatnak. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy egy-egy részecske kölcsönhatási energiáját csak saját közvetlen környezete határozza meg. Igy a folyadék belsejében bármely részecske kölcsönhatási energiája azonos. Ke-

vésbé negativ, azaz nagyobb, de egymáshoz viszonyítva azonos kölcsönhatási energiáju minden felületen lévő folyadék részecske. Végezzünk a kölcsönhatás szempontjából alkotott e s z m e i m o d e l l ü n k k e l olyan g o n d o l a t k i s é r l e t e t, melynek során részecskéket juttatunk a folyadék belsejéből a felületre. Az elmondottak alapján bármely részecske felületre juttatásához azonos energiabefektetésre van szükség. Egy-egy részecske kijuttatásával viszont a felület is mindig azonos mértékben növekszik. Tehát egy adott folyadék esetén a felület növeléséhez szükséges energia és a létrejövő felületnövekedés egymással egyenesen arányos, azaz

$$\frac{\Delta E}{\Delta A} = \text{állandó} .$$

A kölcsönhatás erőssége függ a részecskék anyagi minőségétől. Ha tehát eredményünket más és más folyadékra vonatkoztatjuk, akkor azonos felületnövekedést más és más energiabefektetéssel érhetünk el különböző folyadékoknál. Az előző hányadossal definiált felületi feszültség tehát a folyadék részecskéi közötti kölcsönhatás mennyiségi jellemzésére alkalmas. A felületi feszültséget α-val jelölve a

$$\frac{\Delta E}{\Delta A} = \alpha$$

kapcsolatot nyerjük.

Ha a felület növelését - drótkeret és megfelelő folyadék segitségével - kisérlettel megvalósitjuk, akkor azt tapasztaljuk, hogy a felületet lezáró oldal egyenletes mozgatásához mindig azonos erőre van szükség. Igy meghatározhatjuk a modellből nyert összefüggésben szereplő betáplált energiát. Ugyanis a folyadék energiájának növekedése az előbb megfigyelt állandó erő munkájának eredménye:

$$\Delta E = W .$$

Ha a keretet lezáró l hosszuságu oldal s uton mozdult el, akkor

$$W = F.s .$$

A hártya mindkét felületét figyelembe véve

$$\Delta A = 2.l.s .$$

Ezért a vizsgált folyadék felületi feszültsége az

$$\alpha = \frac{F}{2.l}$$

összefüggésből meghatározható, amelyből

$$F = \alpha.2.l$$

adódik.

Eredményünket a m o d e l l r ő l szerzett ismereteink alapján é r t e l m e z h e t j ü k. Ha a keret mozgatható oldalával elmozdul a folyadékhártya is,

ez azt jelenti, hogy a keret és a folyadék részecskéi között erősebb a kölcsönhatás mint két folyadékrészecske között. Igy az l oldal bármely helyzetének megtartásához szükséges F erő nagysága az l oldal mentén elhelyezkedő folyadékrészecskék közötti erőhatást adja. Ezért lesz az igy kiszámolható felületi feszültség a folyadékra jellemző. Az erő nagyságát viszont nem befolyásolja a felület pillanatnyi nagysága, hiszen az s nem szerepel az összefüggésben. A részecskék közötti kölcsönhatás rövid hatótávolságából éppen ez következik. A hártya kerületét megadó 2.l -lel tapasztalt hosszuság mellett az egyenlő méretü folyadékrészecskékből arányosan több fér el. A folyadékhártya által a felület valamely határára kifejtett erőt a folyadékról alkotott e s z m e i m o d e l l b ő l vezettük le. A folyadékra átvitt ismeret igazságát különböző l hosszuságu oldalak és az F erő mérésével igazolhatjuk. Ezzel a folyadékról alkotott hipotézisünk részecskék közötti kölcsönhatásra vonatkozó elemei megerősitést nyertek.

Most már é r t e l m e z n i tudjuk az előző fejezetben emlitett azon kisérleti tapasztalatot is, hogy a cérnaszál a folyadékhártyán bármely helyzetben megmarad. Ugyanis ekkor a cérna azonos hosszuságu határvonalat jelent a mindkét oldalán meglévő folya-

dékfelületen, igy mindkét oldalról azonos erőt fejt ki rá a felület. És más oldalról értelmezhető a hártya egyik oldalának megszünésekor a fonal kifeszülése is, illetve a folyadék felületének lehető legkisebbre való összehuzódása.

A folyadék részecskéi közötti kölcsönhatás mértékére jellemző felületi feszültség az előző módszerrel csak azoknál a folyadékoknál határozható meg, amelyeknél a kisérlethez elég nagy hártyát lehet kifesziteni. Az ugynevezett csepegtetéses módszerrel azonban - a csepegtető anyagát nedvesitő - bármely folyadék felületi feszültsége meghatározható. Mérési eredményeink azt mutatják, hogy különböző folyadékok felületi feszültségei valóban eltérőek. Ez pedig a m o d e l l i n t e r p r e t á c i ó s funkciója szerint azt jelenti, hogy a különböző folyadékok részecskéi közötti kölcsönhatás mértéke valóban a golyók anyagi minőségétől függ.

17. A kölcsönhatás mennyiségi jellemzésének egy másik lehetősége

A párolgás, forrás közben részecskék távoznak a folyadékból. Ehhez kötött állapotból szabad állapotba kell, hogy kerüljenek. Igy e jelenségek vizsgálata várhatóan

ismét felvilágositást adhat a kölcsönhatás mértékéről.

A párolgást a m o d e l l i n t e r p r e t á l ó funkciója alapján könnyen értelmezhetjük. A véletlen energiacserék révén a részecskék közül egyesek sokkal nagyobb mozgási energiára tehetnek szert, mint a halmazátlag. Ha ez meghaladja a kölcsönhatási energia mértékét és a részecske éppen a felületen van, akkor szabad állapotba kerülhet. A párolgás tehát felületi jelenség. Ez minden hőmérsékleten végbemehet, igy a folyadék minden hőmérsékleten párolog. A magasabb hőmérsékleten a nagyobb átlagos mozgási energia miatt ez sürübben bekövetkezhet, amivel jól értelmezhetjük a folyadék gyorsabb párolgását.

Azonos hőmérsékleten pl. szeles időben intenzivebb a párolgás. Ezt ugy értelmezhetjük, hogy egyébként a szabaddá vált, de el nem távolitott részecskék ütközéseik révén egymást részben visszalökdösik a folyadékba, igy a valóban szabaddá váló részecskék száma akkor kevesebb lenne. Ha a folyadék lezárt edényben van, akkor viszonylag hamar olyan helyzet áll elő, hogy a szabaddá váló, illetve az ujra kötött állapotba kerülő részecskék száma azonos lesz. Igy a folyadék feletti zárt térrészben a szabad folyadékrészecskék száma már nem változik. Ilyenkor telitett gőzről

beszélünk. Adott hőmérsékleten a modell értelmező funkciója alapján egy folyadék telitett gőzének nyomása adott értékü. A hőmérséklet növekedésével pedig nő a térrészben a szabad részecskék száma és ezzel a telitett gőz nyomása is.

A véletlenszerü ütközések következtében természetesen a folyadék belsejében is lesznek rövid időre szabad állapotba kerülő részecskék, melyek száma a hőmérséklet növekedésével növekszik. Ezek kis térrészt is kitölthetnek, melyekben szintén telitett gőz alakul ki, és a nyomás itt is növekszik, növekvő hőmérséklettel. Ha eszmei modellünkkel gondolatkisérletünket tovább folytatjuk, akkor további melegitéssel elérhetjük e térrészekben a külső nyomással egyező telitett gőz-nyomást. Ezen a hőmérsékleten /forráspont/ e térrész könnyen növekszik, majd a folyadéknál kisebb sürüségü buborék a felszinre jut. Ezt a jelenséget forrásnak nevezzük. Gondolatkisérletünket a tapasztalat messzemenően alátámasztja.

A felvetett probléma a kölcsönhatás erősségének vizsgálata volt. Azon a hőmérsékleten, ahol a folyadék telitett gőzének nyomása a külső nyomással egyenlő, a részecskék mind a felületen, mind a folyadék belsejében egyaránt és lényegében egyforma körülmények kö-

zött kerülhetnek szabad állapotba. A *modell interpretációs* funkciója alapján azt mondhatjuk, hogy bármelyik részecske akkor juthat szabad állapotba, ha ütközésekkel szerzett mozgási energiája eléri kölcsönhatási energiájának mértékét. Ez az anyaghalmaz szempontjából azonos energiát jelent akár belső, akár felületi részecskéről van szó. Bár a felületen levő részecske látszólag a kevésbé kötött állapotból könnyebben szabadulhat, de a helyére egy mélyebb kölcsönhatási energiáju belső részecske felületre kerülése éppen ezen energiakülönbözetet igényli. A távozó részecske közvetlenül társaitól ütközéssel nyeri ezt az energiát, igy az anyaghalmaz energiája csökkenne, ha ezt nem pótolnánk. A tapasztalat szerint a forrás adott körülmények között állandó hőmérsékleten megy végbe. Igy az egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energia állandó. Tehát a forráspontonbetáplált energia csak a távozó részecskék átlagostól eltérő többlet mozgási energiáját pótolja. Az ehhez szükséges energia az előzőek szerint egyenesen arányos a távozó részecskék számával, azaz

$$\frac{Q}{N} = \text{állandó} ,$$

ahol Q a termikus kölcsönhatással közölt energia, N a

szabad állapotba került részecskék száma. Mivel a részecskék tömege azonos /m_o/, igy az elforralt folyadék tömege $m = N.m_o$. Az m közvetlenül mérhető, igy azt mondhatjuk, hogy a forrásponton a folyadékkal termikus kölcsönhatással közölt energia és az elforralt folyadék tömege egyenesen arányos:

$$\frac{Q}{m} = \text{állandó} = L_f \text{ , ahol}$$

L_f a folyadék forráshője.

A modellből nyert összefüggés és a m o d e l l e l ő r e l á t ó funkciója alapján azt jósolhatjuk, hogy a folyadékkal végzett kisérlet eredménye a

$$\frac{Q}{m} = \text{állandó}$$

összefüggést adja. A kisérletek a jósolt összefüggést igazolják, igy közvetetten a folyadékról alkotott hipotézisünket is alátámasztják.

A $\frac{Q}{N}$ és igy vele együtt a $\frac{Q}{m} = L_f$ hányados a részecskék kölcsönhatási energiájával szoros kapcsolatban van. A forráshő kisérlettel meghatározott értéke folyadékoknál más és más, amely egyben ismét a kölcsönhatási energia folyadékonkénti különbözőségét jelenti. Az a tény pedig, hogy a forráshő értéke független a folya-

dék mennyiségétől ismét ugy értelmezhető, hogy a részecskék közötti kölcsönhatás igen rövid hatótávolságu.

A felületi feszültség értékei arról tájékoztattak, hogy az egyes folyadékok részecskéi között milyen erős a kölcsönhatás. Erről ad felvilágositást a forráshő is. Igy a m o d e l l e l ő r e l á t ó funkciója szerint azt jósolhatjuk, hogy a nagyobb felületi_feszültségü_folyadék forráshője_is nagyobb. Méréseink alátámasztják e jóslást, amellyel a folyadékokról alkotott hipotézisünk ismét megerősitést nyert.

18. Megmérjük a golyók méretét

Egy becslést már végeztünk a golyó méretére, amelynek egyetlen eredménye a golyókkal kapcsolatos "igen kicsi" és "igen nagy számu" megfogalmazásunk jogossága volt. Uj ismereteink alapján már konkrét mérést végezhetünk.

E mérés természetesen nem jelentheti az anyaghalmaz golyói méretének közvetlen mérését, igy ismét a m o d e l l - m ó d s z e r t kell alkalmaznunk.

A m o d e l l k u t a t á s a i n k eddigi eredményeit felhasználva a m o d e l l m é r é s i funkciója alapján határozzuk meg egy folyadék pl. a viz ré-

szecskéjének méretét. Egy adott vizmennyiség golyóit kétféle eljárással juttathatjuk kötött állapotból szabad állapotba. Ehhez mindkét eljárás során ugyanazt a kölcsönhatást kell megszüntetnünk, melyhez azonos energiát kell felhasználnunk.

Az egyszerübb meggondolások miatt képzeljünk el egy 1 oldalélü "vizkockát" és a folyadékról alkotott e s z m e i m o d e l l ü n k k e l végezzük el a következő g o n d o l a t k i s é r l e t e t. Ha a vizgolyó átmérőjét d-vel jelöljük, akkor szeleteljük fel az 1 oldalélü kockát d vastagságu szeletekre. Ekkor minden vágásnál 2.1^2-el növeljük a folyadék eredeti felületét. Ha a szeletelést mind a három egymásra merőleges él mentén elvégezzük, akkor az egész 1 élü kockát d élü kis kockákra vágjuk. Igy az uj felületek és a viz felületi feszültségének ismeretében az eljáráshoz szükséges energia

$$E = 3.\frac{1}{d}.2.1^2.\alpha \ .$$

/Az igen sok uj kis kocka felülete mellett az eredeti felület elhanyagolható./ Mivel elképzelésünk szerint minden kis vizkockában éppen egyetlen vizgolyó fér el, ennyi energia szükséges ahhoz, hogy a vizmennyiség összes golyója kötött állapotból szabad állapotba ke-

rüljön.

A másik eljárás során elforralva a vizet jutunk ugyanehhez az eredményhez. A viz sürüségének /ρ/ és forráshőjének ismeretében az elforraláshoz szükséges energia

$$E = \rho . l^3 . L_f .$$

A két összefüggés egybevetéséből nyerjük a vizgolyó átmérőjét:

$$d = \frac{6 . \alpha}{\rho . L_f} .$$

Sikerült tehát a vizrészecske méretét a folyadék már mérhető mennyiségeivel kifejezni. Az igy kapott érték az elhanyagolások miatt csak egy jó becslést jelent, de mégis a részecske egy konkrét méretét adja. Ezért e mérésünk után a részecske létére tett korábbi elképzeléseink már végleges igazsággá váltak. Ezek a részecskék lesznek párolgással a légnemü, fagyással a szilárd anyagok részecskéi. A tiszta anyaghalmazokban /sokaság/ tehát valóban léteznek egyforma és meghatározott méretü részecskék, amelyeket folyadék állapotban egymástól aránylag könnyen el tudunk választani. Ezzel a részecskék létezése már nem a hipotézisünk, hanem egy e l m é l e t eleme lett.

Az előző módszerrel különböző folyadékok részecskéinek mérete is meghatározható. A mérések szerint kü-

lönböző folyadékok részecskéi valóban különböző méretűek. A részecskék átmérőjének ismeretében pedig a folyadék adott térfogatában lévő részecskék száma és egy részecske tömege is kiszámítható.

19. A Boltzmann-állandó mérése

A gázok vizsgálatakor annak mennyiségileg meghatározott jellemzői közötti kapcsolatként jutottunk el a gáztörvényhez. A gáztörvényben szereplő "N.k" szorzatnak akkor csak a gázokról alkotott modellben volt konkrét jelentése, a gázokra vonatkozó hipotézisünkben csak valószinü ismeretként jelentkezett. Most már biztosan tudjuk, hogy N valódi részecskeszámot jelent. Igy a k arányossági tényező konkrét meghatározására is lehetőségünk van.
Az anyaghalmazt alkotó részecskék számát csak egyes folyadékok esetében tudjuk meghatározni. Ha ismert térfogatu folyadékot elpárologtatunk, akkor pontosan ismerjük az adott térrészbe jutó többlet részecskeszámot. A gázról alkotott m o d e l l e l ő r e l á t ó funkciója szerint a térrészben a részecskeszám növekedésével meg kell nőnie a gáznyomásnak. Megfelelő kisérlettel e jóslás igazolható, és a többletnyomás mérhető is. Ha a vizsgált térrészben ere-

detileg pl. ismert nyomásu, térfogatu és hőmérsékletü levegő volt, akkor ezekkel a levegőre felirt gáztörvény

$$p.V = N.k.T \ .$$

Ebbe a gáztérbe juttassunk be ismert térfogatu étert. Az éter alacsony forráspontja miatt szobahőmérsékleten is gyorsan párolog. Igy megnő a részecskeszám /$N_é$-vel/, majd tapasztaljuk az éter által okozott többletnyomást / $p_é$ /, melyet a térrészhez kapcsolt folyadékmanométerrel mérünk. Ha az eredeti térfogat viszonylag nagy, akkor a térfogatnövekedés elhanyagolható, a hőmérséklet gyakorlatilag nem változik. Az uj helyzetre felirva a gáztörvényt:

$$/p + p_é/.V = /N + N_é/.k.T \ .$$

A két összefüggésből

$$p_é.V = N_é.k.T \ .$$

Az éter felületi feszültsége, sürüsége és forráshője segitségével ismert térfogatából részecskéinek száma az előzőek szerint kiszámitható. Akkor pedig a

$$k = \frac{p_é.V}{N_é.T}$$

alapján a Boltzmann-állandó meghatározható. Bár mérési eljárásunk közben kis közelitést alkalmaztunk, eredményünk jól megközeliti /nagyságrendben meg is adja/ a

$$k = 1{,}38.10^{-23}\ \frac{J}{K}$$

értéket. A modell előrelátó funkciója szerint azt várhatjuk, hogy más folyadékokkal elvégezve a kisérletet k-ra azonos értékeket kell kapnunk. A Boltzmann-állandót ugyanis ugy vezettük be, hogy váltószám legyen az általunk definiált hőmérséklet és az egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energia között. Jóslatunkat a mérések alátámasztják, és vele együtt a gázokról alkotott hipotézisünket is. A gáz modelljének kutatása során olyan ismereteket szereztünk, hogy a gáz igen sok részecskéből álló anyaghalmaz. A gázok részecskéinek száma a Boltzmann-állandó és a gáz bármely állapota nyomásának, térfogatának és hőmérsékletének ismeretében a gáztörvényből most már meghatározható:

$$N = \frac{p.V}{k.T} .$$

A gáz tehát valóban igen sok részecskéből álló anyaghalmaz. Igy indokolttá válik a gáz és környezete kö-

zötti energiacsere rendezett és rendezetlen módjának megkülönböztetése is.

Adott gázmennyiség részecskeszámának pontos ismeretével és hőkapacitásának állandó térfogaton történő mérésével a modellkutatás során nyert összefüggés alapján a gáz részecskéje szabadsági fokainak száma is megadható. A szabadsági fok ismeretében akár a gáz energiája, akár a fajhő mérése után a gáz részecskéjének tömege is meghatározható.

20. Egy uj felismerés

Az anyaghalmazok valóban létező részecskéit molekulának nevezzük. A folyadékok részecskékre való bontásához szükséges energiát a folyadék mennyiségének ismeretében pl. a forráshő segitségével meghatározhatjuk. Ha a folyadék részecskéinek számát is kiszámitjuk, akkor megadhatjuk, hogy egy-egy molekulájára kb. mennyi energiát kell összpontositani, hogy az kötött állapotból szabad állapotba kerüljön.

Igy meghatározható az az energia is, amennyi ahhoz szükséges, hogy egy vizmolekula folyadék állapotból vizgőz állapotba kerüljön. A viz más folyamat során is gáz-állapotba juthat. A vizbontás során betáplált elektromos energia, illetve a keletkezett gázok ré-

szecskéinek száma a gáztörvényből meghatározható. E gázok egyike sem vizgőz, de a vizből keletkezett. A nagyobb részecskeszámu pukkanva elég /hidrogén/, a másik a parázsló pálcát is lángra lobbantja /oxigén/. A két gáz fajhőjének ismeretében ezek után tömegük meghatározható, melyek összege megadja azon vizmennyiség tömegét, melyből keletkeztek. Igy most is kiszámitható a folyadék-állapotból "kilépő" egy-egy vizmolekulára koncentrált energia, amely sokszorosan többnek bizonyult, mint a vizmolekulák kölcsönhatását megszüntető energia. Mire forditódott ez az energia? Hogyan keletkezett itt oxigén és hidrogén? A kérdésekre a választ a m o d e l l - m ó d s z e r r e l adhatjuk meg.

Mivel az oxigén és a hidrogén a betáplált energia hatására a vizből keletkezett, a m o d e l l é r t e l m e z ő funkciója alapján azt kell mondanunk, hogy a viz molekulája eleve e két anyag részecskéiből állt. Ezt mindeddig azonban nem vettük észre, mert e részecskék tulságosan erősen kötődtek egymáshoz. Igy az is értelmezhető, hogy e kölcsönhatás megszüntetéséhez miért kell lényegesen több energia, mint a vizmolekulák csupán egymástól való szétválasztásához. Ha tehát megfelelő mértékü energiát összpontositunk egy vizmolekulára, akkor ez a molekulát összetartó köl-

csönhatás megszűnését eredményezi. A molekulát összetartó kölcsönhatást kémiai kötésnek nevezzük.
A vizbontást tehát ugy értelmezhetjük, hogy a viz molekulájának "széttörésével" a hidrogén és oxigén részecskéihez /molekuláihoz/ jutunk. A *modell előrelátó* funkciója szerint, ha meghatározzuk a molekulák tömegét, akkor ezek között a következő kapcsolatot jósoljuk:

$$m_{o\ viz} = m_{o\ hidrogén} + m_{o\ oxigén} .$$

A számitások azonban nem igazolták jóslatunkat. Sőt az oxigénmolekula tömege nagyobbnak bizonyult a vizmolekula tömegénél. A probléma megoldásához használjuk fel a *modellkutatások* során szerzett egyéb ismereteinket. Az oxigén és a hidrogén hőkapacitásának a modellkutatás során kapott összefüggésből számolt és a valóságban mért értékei közötti ellentmondást azzal tudtuk feloldani, hogy részecskéit "sulyzó" alakuaknak gondoltuk. A viz, hidrogén és oxigén molekulák tömegeit és a vizbontás eredményét ismerve a *modell értelmező* funkciója alapján ugy gondolhatjuk, hogy egy vizmolekula egy hidrogén-sulyzó és egy fél oxigén sulyzóból áll. A megfelelő mértékü energiaközlésre az ezeket össze-

tartó kölcsönhatás megszünik, majd uj kémiai kötésként hidrogén és oxigén molekulák jönnek létre. Azaz a hidrogén, oxigén részecske, amelyet eddig egységes egésznek gondoltunk, maga is két részecskéből álló. Uj ismereteink igazságát bizonyitja, hogy a vizbontásnál keletkezett hidrogén molekuláinak száma közel kétszeresének adódott mint az oxigénmolekulák száma. Ha pedig a hidrogént meggyujtjuk, akkor nemcsak a vizet kapjuk vissza, hanem a korábban betáplált energiát is.

A vizmolekula alakjára a vizgőz adott mennyisége hőkapacitásának mérése és molekulái számának gáztörvényből való meghatározása után szabadsági fokának számolásából következtethetünk. Mivel ez /közelitően/ 6-nak adódik, a vizmolekula nem lehet lineáris.

Az anyaghalmazok molekulákká kémiai kötéssel összeálló részecskéit atomoknak nevezzük. A gázoknál a szabadsági fokok ismeretében az atomok térbeni elrendeződésére következtetünk. Igy következtetünk az ammónia, metán, ózon térbeni elrendeződésére, igy alkot lineáris molekulát a hidrogén, oxigén, nitrogén. A hélium, argon és neon három szabadsági foka igy utal arra, hogy részecskéi önálló atomok.

21. Eredményeink

Dolgozatom elején a gázok viselkedésének, belső szerkezetének megismerését tüztem ki végső célul. Ez egyben a gimnáziumi uj első osztályos fizika tanterv egy részének célkitüzése is. A megismerési folyamat során a gázok közvetlen vizsgálatával, illetve igen sokszor csak a közvetett vizsgálattal, a m o d e l l - m ó d s z e r alkalmazásával lehetett uj ismeretre szert tenni. Voltak olyan ismeretelemek is, amelyekhez csak a folyadékok vizsgálatával juthattunk el. Végül is a gázokról az alábbi ismereteket tudjuk az első osztályosok gondolkodási szintje és a tantervi követelmények alapján összegyüjteni.

A gáz valóban létező részecskékből álló anyaghalmaz. A részecskéket molekuláknak nevezzük. A molekulák mérete meghatározható, 10^{-10} méter nagyságrendü, de anyagi minőségtől függően anyagonként más és más. A molekulák száma igen nagy, amely adott gázmennyiség esetén meghatározható. A molekulák tömege anyagi minőségtől függ, általában 10^{-26} kg nagyságrendü. A molekulák nagy sebességü, rendezetlen mozgásukkal töltik ki a rendelkezésükre álló térrészt, amit a gáz térfogatának nevezünk. Mozgás közben nagyszámu ütkö-

zéseik révén erőt fejtenek ki a térrész falaira. Az ebből adódó gáznyomást a falakon és a gáz belsejében bármely felületen azonosnak mérhetjük. A molekulák mozgásuk közben egymással is ütköznek, mozgásuk rendezetlensége éppen ebből adódik. Rendezetlen mozgásuk következménye az egyenletes térkitöltés lett. Ütközéseik során a molekulák között rendezetlen energiacsere játszódik le. Az ütközések rugalmasak, az ütközésekkel csak energiacsere történik, így a fallal való ütközéskor pedig a molekula egyik szabadsági fokáról a másikra tevődik át mozgási energiájának egy része. Az ütközések eredményeként egy-egy molekula igen sok energiát összegyűjthet, de a gáz minden részecskéjének minden szabadsági foka időátlagban azonos mozgási energiával rendelkezik. Állandó nyomás és állandó molekulaszám mellett a gáz hőmérsékletét ugy definiáltuk, hogy legyen térfogatával egyenesen arányos. Igy a gáz hőmérséklete a rendszertelen mozgás energiájából az egy szabadsági fokra jutó átlagos mozgási energiával arányos:

$$\frac{1}{2}.k.T = \varepsilon_{x\ \text{átlag}} ,$$

ahol k a Boltzmann-állandó, melynek értéke a kísérletekből $1{,}38.10^{-23}\ \frac{J}{K}$-nek adódott. Ha a gáz egy ré-

szének hőmérséklete valamely okból megváltozik, akkor a rendszertelen ütközések következtében energiaáramlás indul a magasabb hőmérsékletű térrészből az alacsonyabb térrész felé. Az energiaáramlás a hőmérsékletek kiegyenlitődéséig tart.

A gáz mérhető jellemzői közötti kapcsolatként nyertük a gáztörvényt:

$$p.V = N.k.T \ .$$

Környezetével kölcsönható gázmennyiség energiája annyival változik, amennyit környezetétől kap, vagy annak lead. Ekkor energiája munkavégzéssel, vagy termikus kölcsönhatással változhat. A gáz és környezete között rendezett mozgás közben lejátszódó energiaátadást munkavégzésnek, a rendezetlen mozgás során történő energiaátadást termikus kölcsönhatásnak /hőközlésnek/ nevezzük. Az I. főtétel az energia megmaradását fejezi ki:

$$\triangle E = Q + W \ .$$

A gázzal termikus kölcsönhatással közölt energia és a kölcsönhatás során mérhető hőmérsékletváltozás hányadosát hőkapacitásnak nevezzük. A hőkapacitás és a gáz tömegének hányadosa a gáz fajhője. A hőkapacitás a molekulák számával, a fajhő a molekulák tömegével van szoros kapcsolatban. A hőkapacitás mért értékei se-

gitségével meghatározható a gázmolekula szabadsági fokainak száma, ebből pedig a molekula alakjára következtethetünk.

A molekulák kölcsönhatásának különbözősége nem mutatkozik meg a gázok viselkedésében. A gázmolekulák ütközésekor azonban ugyanolyan kölcsönhatás lép fel közöttük, mint a folyadékoknál, de a kis hatótávolság miatt ez csak nagyon rövid ideig érvényesül. A sok molekula miatt a rendszertelen közeledések és távolodások a gáz energiáját végeredményben alig befolyásolják. Igy a gáz energiája lényegében molekuláik mozgási energiáinak összege.
A gáz molekuláját sokáig egységes egésznek gondoltuk. A molekuláról azonban kiderült, hogy maga is két, vagy több részecskéből, atomokból áll. Az atomokat a molekulák közötti kölcsönhatásnál egy-két nagyságrenddel erősebb kölcsönhatás, a kémiai kötés szervezi molekulává.

A felsorolt ismeretek többsége gnoszeológiai szempontból a hipotetikus szintről felemelkedett a bizonyitott, igazolt ismeretek szintjére. A gázra vonatkozó hipotézis helyett egyre indokoltabb g á z e l m é l e t r ő l beszélni.

I R O D A L O M

1. Kocsondi András: Modell-módszer
Akadémiai Kiadó, Budapest 1976.

2. Marx György: Kimerithetetlen anyag
Magvető Kiadó, Budapest 1969.

3. Marx György: Mit tanitsunk fizikából?
A fizika tanitása 1981/3.

4. Marx György: Jövőidőben
Magvető Kiadó, Budapest 1979.

5. Budó Ágoston - Pócza Jenő: Kisérleti fizika I.
Tankönyvkiadó, Budapest 1962.

6. Tóth Eszter - Holics László - Marx György:
Atomközelben
Gondolat Könyvkiadó, Budapest 1981.

7. Bakányi - Fodor - Marx - Sarkadi - Tóth - Ujj:
Fizika I.
Tankönyvkiadó, Budapest 1981.

8. Fodor Erika - Sarkadi Ildikó: Fizika I. munkafüzet
Tankönyvkiadó, Budapest 1981.

9. Tóth Eszter: Utbaigazitó a fizika tanitásához a
gimnázium első osztályában
ELTE Sokszorositó üzem, Budapest
1981.

10. Fényes Imre: A fizika eredete
Kossuth Könyvkiadó, Budapest 1980.

11. Simonyi Károly: A fizika kulturtörténete
Gondolat Kiadó, Budapest 1978.

12. George Gamow - John M. Cleveland: Fizika
Gondolat Kiadó, Budapest 1973.

13. Jay Orear: Modern fizika
Müszaki Könyvkiadó, Budapest 1971.

14. Müller Antal: A mai fizika és a marxista világkép
Tankönyvkiadó, Budapest 1978.

15. L.D. Landau - A.I. Kitajgorodszkij: Fizika mindenkinek
Gondolat Kiadó, Budapest 1975.

16. Jánossy Lajos: Fejezetek a mechanikából
Minerva, Budapest 1975.

17. Holics László: Anyagszerkezet I.
JATE Sokszorosító üzem, Szeged 1977.

18. Párkányi László - Soós Károly: Fizika a gimnázium szakosított tantervü III. osztálya számára /I. kötet/
Tankönyvkiadó, Budapest 1975.

19. Marx W. Wartofsky: A tudományos gondolkodás fogalmi alapjai
Gondolat Kiadó, Budapest 1977.

20. Pálvölgyi Lajos: A modellezés lehetőségeiről a pedagógiában
Akadémiai Kiadó, Budapest 1981.

T A R T A L O M

I. A TUDOMÁNYOS MEGISMERÉS ÉS A MODELL-MÓDSZER 1. o.

A modell-módszer és a modell 1. o.

A modellezés strukturája 4. o.

A tudományos modellek osztályozása 7. o.

A modellek ismeretelméleti /gnoszeológiai/ funkciói 8. o.

II. AZ UJ FIZIKATANTERV ÉS A GIMNÁZIUMI UJ ELSŐ OSZTÁLYOS FIZIKA 11. o.

III. A MODELL-MÓDSZER A GIMNÁZIUMI ELSŐ OSZTÁLYOS FIZIKÁBAN 18. o.

1. Motiváció 18. o.

2. A modell-módszer megismerése 19. o.

3. Gázok 23. o.

4. A folyadék 29. o.

5. Szilárd anyagok 35. o.

6. Becslés a golyók méretére 41. o.

7. A részecske mozgásáról - térkitöltés szempontjából 44. o.

8. A részecskék mozgásáról - energiaeloszlás szempontjából 48. o.

9. Egy modell-előrelátás 54. o.

10. A gázok térfogata és nyomása 58. o.

11. A gázok hőmérséklete 65. o.

12. Az energiacsere lehetőségei 72. o.
13. Az energiacsere mennyiségi jellemzése 77. o.
14. A modell-értelmezés és a valóság 89. o.
15. A kölcsönhatás 95. o.
16. Egy lehetőség a kölcsönhatás mennyiségi jellemzésére 100. o.
17. A kölcsönhatás mennyiségi jellemzésének egy másik lehetősége 104. o.
18. Megmérjük a golyók méretét 109. o.
19. A Boltzmann-állandó mérése 112. o.
20. Egy uj felismerés 115. o.
21. Eredményeink 119. o.

IRODALOM 123. o.
TARTALOM 126. o.