

A következőkben végig tekintünk a fizika mindazon jelenségein, melyek a rezgésekre vezethetők vissza. Meg fogjuk mutatni, minő gondolatkapcsolás következtében töltötték be lassanként azt az űrt, mely az egyes rezgésfajok között sok ideig fennállott és részben ma is fennáll. Ily irányú kutatások tették a fizikát teremtő tudományá, mely nem elégszik meg immár a természet nyújtotta jelenségek egyszerű magyarázatával, hanem új s ismeretlen jelenségek után kutat, részben olyanok után, melyeket eddig az ember - bár megvoltak - nem vett észre; de részben olyanok után is, melyeneket a természet önmagától soha sem hoz létre. Eladdig az ember a természet szolgája volt, ily kutatások révén lassanként urává válik, kinek parancsszavára csodálatos tünemények jelennek meg, ismétlődnek, vagy tűnnek el a szerint, miként a parancsszó hangzik.

Rezgő mozgás a természetben gyakran fordul elő, könnyű is azt megindítani. Az összes szabadon függő testek, egyensúlyi helyzetükből való kilendítés után ide-oda mozognak. A mozgás magától folytatódik rövidebb vagy hosszabb ideig, a szerint, milyen a függő test, a felfüggesztés és a levegő mozgása. A falevél is rezeg, ha szél fúj. Egészen hasonló okok indítják meg a partról a patak vizébe benyuló fűszálnak vagy gallynak mozgását is. A mi ott a szél volt, az itt a patak tova rohanó vize. Az említett rezgések még egyenként láthatók, ha azonban a mozgás elég gyors, az egyes rezgések többé nem különböztethetők meg. Ha rugalmas pálcza, vonalzó, evőkés, közötti vagy más hasonló test egyik végét szorítóval megrögzítjük, a másik végét pedig megpendítjük, rezgő mozgás keletkezik. Ha a szabad vég elég hosszú, a mozgás még látható, csak egyes részei nem különböztethetők meg.

Ha a szabad vég rövid, a mozgás már szabad szemmel nem látható, de tükrök segítségével könnyű szerrel megmutatható. Kedvező körülmények között ez esetben már egy más jelenség is lép fel, mely éppen a sebes rezgések folyamánya. Hangot hallunk. Összes hangszereink kivétel nélkül rezgő mozgásokat keltenek. De tovább is mehetünk, s azt mondhatjuk, hogy minden hang 8212; akár zenei hang, akár zörej, durranás, recsegés stb. legyen is az 8212; rezgő mozgásból keletkezik. Mindenütt, a hol két test elég sebesen összeütközik, rezgések teremnek. Nem léphetünk, nem dolgozhatunk a nélkül, hogy rezgő mozgások teremtőivé ne váljunk. Mikor e betűket a papirosra rakom, tollam hegye rezgő mozgást kelt, mely elég erős arra, hogy a fülemhez jusson.

Mi szükséges ahhoz, hogy rezgő mozgás jöjjön létre? Ha az előbb leírt esetek nagy számán végig tekintünk, lehetetlen, hogy magunktól is rá ne találjunk a szükséges és elegendő feltételekre. Valamennyinél ugyan úgy áll a dolog mint a felfüggesztett golyónál; ha az nem függ, ha nincs megkötve, ha szabad: hiába lököm meg, mozgást fog ugyan végezni, de nem rezgő mozgást. Szükséges tehát, hogy az illető test, melyet rezgésbe akarunk hozni, bizonyos megkötött állapotban, kényszerített helyzetben legyen; szükséges továbbá, hogy eme kényszernek valamely egyensúlyi helyzet feleljen meg. A teljesen szabad test, melyet mozgásában nem korlátoz semmi, nem végezhet rezgő mozgást. Ha ez a feltétel megvan, akkor még csak az szükséges, hogy a testet az egyensúlyi helyzetből kizavarjuk. A kizavarást elvégezhetik egyes vagy folytonosan következő lökések. Összefoglalva kimondhatjuk:

*Rezgő mozgás csak akkor jön létre, ha a test kötött helyzetben van, és ha valami külső hatás őt az egyensúlyi helyzetből kizavarja.*

A felsorolt rezgéseket bizonyos szempont szerint osztályozni is lehet. Az elvét megértjük, ha felfüggesztett golyóra gondolunk. Más fajta rezgés keletkezik akkor, ha a golyónak csak egy lökést adok és azután teljesen magára hagyom; más fajta akkor, ha rezgése közben is kap lökéseket. Az első esetben a mozgás szabályosabb, mint az utóbbiban. Ha a test az egyensúlyi helyzetből való kizavarás után nem kap újabb lökéseket, akkor azt mondjuk, hogy létre jön a test *saját rezgése*. Az ellenkező esetben a test *kényszer-rezgést* végez.

A rezgőmozgásra nagyon jellemző az az idő, a meddig egy rezgés tart. Ezt az időt attól a pillanattól kezdve számítjuk, melyben egyensúlyi helyzetén valamelyik irányban áthalad, addig az időpillanatig, melyben azon újból ugyanazon irányban halad át. Az így meghatározott idő a rezgésidő vagy periódus ( $T$ ). Sokszor inkább az 1 másodperc alatt végzett rezgések számát számláljuk meg s a nyert számot rezgésszámnak ( $n$ ) hívjuk. Világos, hogy e meghatározás szerint

$$n \cdot T = 1 \text{ (sec).}$$

Határozzuk meg valamely test rezgésszámát sok esetben, akkor, midőn aprók a rezgések és akkor is, midőn erősebb lökés után nagy rezgéseket végez: valamennyi esetben ugyanazt a számot nyerjük. Folytassuk kísérleteinket a legkülönbözőbb testekkel: tapasztalni fogjuk, hogy a nyert rezgésszámok függetlenek a rezgés nagyságától és az időtől. *Mindaddig, míg a test felfüggesztési módja, szerkezete és megkötöttsége meg nem változik*, a rezgési idő is állandó marad. A rezgésidő vagy a rezgésszám tehát az illető test olyan jellemző állandója, mint pl. térfogata, súlya.

A kényszerrezgésekre a dolog természeténél fogva már nem áll az előbbeni tétel. A rezgésidő más és más lesz, a szerint milyen sorrendben következnek a zavaró lökések. Vannak azonban olyan kényszerrezgések, melyek rezgésideje szintén állandó. Ilyen eset áll elő, ha a lökések folytonosak, egyirányúak és egyenlő erejűek és másodsor, ha a lökések ugyanakkora időközökben követik egymást, a mekkora a test jellemző rezgésideje. Az utóbbi esettel van dolgunk a fali óra ingájánál.

Van-e a rezgő testnek arra a közegre valami hatása, melyben mozog? Az esetek túlnyomó többségénél e közeg a levegő. Micsoda változást idéz elő rezgő test a nyugvó levegőben? Kétséget nem szenved, hogy azt is mozgásba hozza. De minő mozgásba? A mozgás irányában a levegő megsűrűsödik, az ellenkező irányban pedig megritkul. Tehát a rezgő test körül folytonos sűrűsödések és ritkulások keletkeznek. A kísérleti és az elméleti számítások kölcsönösen arra az eredményre jutottak, hogy a rezgés középpontjából kiinduló sűrűsödések és ritkulások a nyugvó, homogén levegőben ugyanakkora sebességgel terjednek tovább minden irányban. Ez a sebesség tehát független a rezgő test minémiségétől, független a rezgések számától, független a már megtett úttól. A zongora húrjaiból, az orgona sípjáiból, a kalapács

ütésétől, a puskapor robbanásától kiinduló lassú és gyors rezgések a levegőben minden irányban egyazon sebességgel terjednek. Ez a sebesség körülbelül 335 méter másodpercenként, de a levegő állapotának változásával kis mértékben szintén megváltozik.

Miután a sebesség minden irányban ugyanakkora, azért a rezgés középpontja körül írt gömbfelületek összes pontjai egy időben egyforma mozgást végeznek; ha a gömbfelület egyik pontja körül ritkulás van, akkor az egész gömbfelület ritkul. A tovaterjedésnek ezt a módját hullámfelületekben való tovaterjedésnek nevezik. A homogén és nyugvó levegőben a hullámfelületek gömbfelületek.

Az a távolság, a mennyire a rezgés a rezgési idő alatt terjed, a hullámhosszúság ( $\lambda$ ), és ha a tovaterjedés sebessége  $v$ , akkor

$$\lambda = vT,$$

vagy

$$\lambda = \frac{v}{n}.$$

Szerzett ismereteinkkel haladjunk végig az összes lehetséges rezgéseken a leglassúbbtól a leggyorsabbig. A tenger időszakos mozgása: az árapály és dagály oly rezgés, melynek periódusa közelítőleg 12 óra 25 p. Ennél gyorsabbak a közönséges egyszerű ingák lengései, melyek típusa a zsinórra függesztett golyó. A periódus függ a zsinór hosszától ( $l$ ), nevezetesen

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

hol  $g$  a szabadesés gyorsulása. A rezgést gyorsabbá tehetem, ha a zsinórt megrövidítem. Ha ez 1 m. hosszú, akkor a rezgési idő közelítőleg 2 mp. (a fél periódus, vagyis a lengési idő 1 mp.) Ha a zsinórt megfelelően rövidítem, eljuthatok olyan rezgésekhez, melyeknek periódusa  $\frac{1}{4}$  mp. Lejjebb már nem igen mehetnek. De van más eszközöm, melyekkel a rezgésszámot megnövelhetem. Ha vékony acélrudat szorítóval az asztalhoz erősítek és a másik végét megpendítem, már jóval gyorsabb rezgések keletkeznek. A periódust a következő képlet adja

$$T = C\frac{l^2}{d},$$

a hol  $C$  bizonyos a pálcza rugalmasságától, fajsúlyától és megerősítésének módjától függő állandót,  $l$  a hossza,  $d$  pedig a keresztmetszete. A pálcza körül sűrűsödések és ritkulások keletkeznek, melyek a levegőben  $335 \frac{m}{sec}$  sebességgel terjednek tovább. Ha a pálcza rezgésszáma pl. 12, akkor a teremben lévő minden tárgy másodpercenként 12 lökést kap a sűrített levegőhullámtól; ha a rezgésszám 18, akkor a lökések száma is 18 és így tovább. Mindig annyi levegőhullám vonul végig a termen, a mekkora a rezgésszám. E lökéseket a könnyebben mozgó tárgyak (pohár, ablaküveg) meg is érzik s maguk is kényszerrezgésbe jutnak.

Nevezetes jelenség lép fel, ha a rezgésszám eléri a 20-at. Egyszerre mély hangot hallok. Mi történt itt? Fizikai tekintetben semmi más, mint akkor, midőn csak 12 volt a rezgésszám; most is csak oly nagy rezgéseket végez a pálcza mint akkor, most is végig vonulnak a léghullámok mint akkor, most is úgy érik fülem dobhártyáját, mint akkor. A különbség csak abban van, hogy hallószervezetem nem tudósít engem oly lökésekről, melyeknek rezgésszáma kisebb 20-nál. Miért van ez így, miért éppen 20 az a szám, melyet már megérzünk? Oly kérdések, melyekre feleletet adni nem tudunk. Egyébként e szám az ember szerint változik, egyiknél valamivel alacsonyabb, másiknál magasabb.

Ahhoz, hogy hangot halljak, az kell, hogy a térben valahol oly rezgések keletkezzenek, melyeknek rezgésszáma legalább 20, és hogy e rezgések a fülem dobhártyáig jussanak. Mindegy, akármi kelti e hangot. A szférák zenéje, melyről a görög filozófusok álmadoztak, fizikailag nem lehetetlen, csak az szükséges, hogy másodpercenként legalább 20 rezgés keletkezzék. A tényleges viszonyok természetesen messze e határ mögött maradnak, mert a leggyorsabban mozgó bolygónak, Mars első holdjának periódusa is 7 óra 39 perc. Ha a kezemet másodpercenként 20-szor tudnám ide-oda lengetni, akkor ez a mozgás is hangot hozna létre. Ez volna a legegyszerűbb hangszer.

Az eszközöknek egész sokasága áll az ember rendelkezésére, melyekkel 20-nál több rezgést tud kelteni. Hangvillák, harangok, húros hangszerek, sípok, rezgő lapok és hárták stb. mind e célra készülnek. De ha tisztán az a célom, hogy hangot hozzak létre, nem is szorulok rájuk, jó arra bárminő tárgy.

Minél nagyobb a rezgésszám, annál magasabb hangot hallok. Hogy én az egyik hangot magasabbnak mondom, mint a másikat, annak fizikai oka csak az, hogy az egyiknek rezgésszáma nagyobb mint a másiké. A hangok tehát magasság szerint folytonosan következnek egymás után s így tulajdonképpen végtelen sok különféle hang áll a rendelkezésünkre.

A zene ezekből csak bizonyosakat választ ki; nagyon keveset, a hangok óriás tömegéből. Például a zongora hangjainak rezgésszámai a kis  $c$ -től kezdve

$c$	$cis$	$d$	$dis$	$e$	$f$	$fis$	$g$
129, 3	136, 9	145, 0	153, 6	162, 9	172, 6	183, 2	193, 6
	$gis$	$a$	$b$	$h$	$c_1$		
	205, 1	217, 4	230, 3	243, 9	258, 6	.	

Ha a rezgésszámot továbbra is növelem, magasabb és magasabb hangokat kapok. Van e növelésnek határa? A zenében csakhamar vége szakad, 6000 rezgésnél magasabb hangot nem igen használnak. De azért e rezgéssel nem értük el a hallható hangok felső határát. A kísérleti megállapítás nehéz, mert a hangenergia mérésére nincs más eszközünk, mint saját fülünk. A legmagasabb hallható síphang 14.000, hangvillahang pedig 16.384 másodpercenként rezgésekből ered. Elértük-e a rezgések felső határát? Bizonyára nem! A természeti jelenségek folytonosságában való hitünk azt követeli, hogy ennél nagyobb rezgésszám is legyen. Ez a szilárd meggyőződés vezette a kutatókat, midőn gyorsabb rezgések után kutattak. Meg is találták őket. König, német tudós, 26.840 rezgést mért le. A hangot nem hallotta, hanem annak egy alacsonyabb hanggal való lüktetését figyelte meg, s a lüktetések számából kiszámította a főntebbi rezgésszámot. A lüktetések akkor jönnek létre, ha két nem egyenlő rezgésszámmal bíró rezgés egyidőben közel egymás mellett keletkezik. A rezgések az idő folyamán majd erősítik, majd gyöngítik egymást. E jelenséget *interferentia* jelenségnek is nevezzük. Az interferentia lényege tehát abban áll, hogy két mozgás vagy erősíti vagy lerontja egymást. Ha  $n_1$  és  $n_2$  a két egyszerre hallatszó hang rezgésszámai és  $n$  a lüktetések száma akkor

$$n = n_1 - n_2.$$

Ugyanezen módszerrel Melde 30.000 rezgést mért le. König még más úton, nevezetesen a Kundt-féle poralakokkal 90.000 rezgést is le bírt mérni. E módszer tulajdonképpen szintén az interferentián alapszik. A lüktetések időbeli, a Kundt-féle poralakok pedig térbeli interferentiából keletkeznek. Ha a hullám ugyanazon irányban verődik vissza egy falról, a melyen érkezett, akkor az előre és a visszahaladó hullámok a tér egyes helyein erősítik, más helyén pedig lerontják egymást. Lesz tehát a levegőben olyan hely is, a hol nincs rezgés. Ezeket a helyeket *csomóhelyek*nek nevezzük. Ha vízszintes üvegcsőbe finom port hintünk és a szájánál igen erős hangot keltünk, akkor a csomó helyeken a por összegyűlekszik.

Az eddig kimutatott legsebesebb rezgés tehát 90.000 rezgés másodpercenként. Kétségtelen, hogy a közönséges anyag is még sebesebb rezgésekre képes; kétségtelen, hogy ezek meg is vannak, csak nincs szervünk, mely őket észrevesse. Már a 20.000 rezgést sem vehetjük észre sem fülünkkel, sem szemünkkel, sem másféle érzékszervünkkel közvetlenül; pedig a mint láttuk, kétségtelenül lemérhető a rezgés is. Ez a szám nem lehet határ, a rezgések itt nem végződhetnek. Érzékszerveink gyarló volta nem lehet elég ok arra, hogy magasabbra is ne kövessük őket. Utánuk kell mennünk a százezrekbe, a milliókba és százmilliókba, sőt a billiókba is.

De hát vannak-e ily képzelhetlenül gyors rezgések? És ha vannak, mi az általuk keltett mozgások lényege?

1. Az, hogy a rezgési centrumtól a mozgás minden irányban egyenes vonal alakjában terjed tovább.
2. Az, hogy homogén közegben a tovaterjedési sebesség állandó.
3. Ha a keltett mozgás visszaverődik, akkor a visszaverődés szöge egyenlő a beesési szöggel.
4. A leglényegesebb tulajdonsága az, hogy interferenciára képes, vagyis két rezgés alkalmas körülmények között vagy erősíti vagy gyöngíti egymást. Az erősítés és gyöngülés bekövetkezik a tér ugyanazon helyén az egymásra következő időközökben, vagy a tér különböző helyein ugyanazon pillanatban. Erre az anyag nem képes. Ha anyaghoz anyagot adok, a kettő nem semmisítheti meg egymást.

Mindama jelenségek, melyek a főntebbi tulajdonságokkal bírnak, rezgésekből származnak. De miképp állíthatók elő azok a képzelhetlenül gyors rezgések? Sok fejtörést okozott e kérdés, sok ennek megoldására törekvő kísérlet hiúsult meg. *Lord Kelvin*, a híres angol fizikus, már az ötvenes években elméleti számításai révén arra az eredményre jutott, hogy a leydeni palack elektromosságainak kisülése rezgés természetével bír. A kiszámított rezgésszám sok millióra ment fel. Hogy ezt az eredményt megérthessük, gondoljunk két elektromossággal töltött golyóra. Ha ezeket egymáshoz közelítem, látom, hogy szikra ugrik köztük át. Azt mondjuk, hogy szikra. Sokáig azt hittük, hogy az csakugyan *egy* szikra. Kelvin elméleti számításai azt mondják, hogy nem az, hanem igen sok ide-oda ugró szikráknak sorozata. Olyan gyorsan követik egymást, hogy egy szikrába látjuk őket összeolvadva. Úgy is kell lenni, mert a számítás szerint egy ide-oda való ugrás csak oly rövid ideig tart, a mekkora a másodpercznek több milliomod része. De úgy van-e? Ki lesz az a mérész, ki ezt a képzelhetlenül gyors rezgést megméri? Egyszerre nem is ment. Az elmélet még nem volt eléggé elkészítve. Ezt a munkát elvégezte Lord Kelvin honfitársa, Maxwell. Úgy okoskodott, hogy ha az elektromos szikra rezgés, akkor e rezgésnek, éppúgy mint a többinek, az említett 1. tulajdonság értelmében a térben el kell terjednie. Maxwell bizonyos feltevések alapján ki is számította ezt a sebességet. Arra a meglepő eredményre jutott, hogy ez ugyanakkora, mint a fény sebessége, t. i.  $300.000 \frac{km}{sec}$ . Maxwell gondolatát tovább fűzte *Heinrich Hertz*, a szintén korán elhunyt nagynevű német tudós. Azt mondotta, hogy e rezgésnek alkalmas falról vissza kell verődnie, és akkor az előrehaladó és a visszavert hullámok interferálni fognak. A fal előtt lesznek olyan helyek, hol a rezgések egymást erősítik, de lesznek olyanok is, hol egymást megsemmisítik, vagyis keletkeznek csomóhelyek. Ezeknek egymástól való távolsága egyenlő a félhullámhosszal s így a hullámhosszúság lemérhető. Miután a terjedési sebesség is ismeretes, a

$$\lambda = \frac{v}{n}$$

kifejezésből az  $n$  rezgésszám kiszámítható.

Az a kérdés, helyes-e az előbbeni következtetés? A kísérlet próbaköve alá kell vetni. Ezt tette Hertz. Miután az embert a természet nem áldotta meg olyan érzékszervvel, mely az elektromos rezgéseket észre vegye, oly eszközzel kellett gondoskodni, mely azt helyettesítse. Ez pedig nagyon egyszerű: bármilyen fémdrót megfelel, csak köralakban kell összehajtani, úgy hogy a két vége egymáshoz közel kerüljön, de ne érintkezzenek. Ez a Hertz rezonátora. Így

nevezte, mert úgy működik, mint a rezonátor. Ismeretesek azok a kísérletek, melyeknél megmutatják, hogy ha az egyik hangvillát megütjük, akkor a tőle több méter távolságra levő másik hangvilla, vagy a zongora valamelyik húrja vagy egy tölcser alakú test, vagy az ablak tábla is elkezd rezegni. Úgy mondjuk, hogy rezonálnak. Nincs is benne semmi csodálatos, egyszerűen az történik, hogy az első rezgő testből jövő lökések a többi testet is megindítják. Nos hát, éppen így működik Hertz elektromos rezonátora. Ha a két golyó között az elektromosság kisül, a mi nem egyéb mint elektromos rezgés, akkor a térben tovahaladó elektromos lökések a meghajtott drótot is rezgésbe hozzák, és annak két vége között is át fognak ugrálni a szikrák.

Ez az eszköz volt Hertz elektromos szeme. Egyszerűen azt tette, hogy a kiinduló elektromos rezgések útjába fémpalát állított, s a rezonátor segítségével megfigyelte, vannak-e előtte a visszaverődés folytán keletkezett csomóhelyek. Voltak. Le is mérte őket. Egyik mérése szerint a  $\lambda = 0,3 \text{ m}$ , nos hát akkor a sokszor említett összefüggés alapján

$$n = \frac{300.000.000}{0,3} = 900.000.000.$$

Íme tehát nincs abban lehetetlenség, hogy ilyen gyors rezgéseket is lemérjünk.

Ismerünk mi olyan villamos szikrát, mely a természetnek magának fősége tüneménye. Ez a villám. Ha villámlást látunk, jusson eszünkbe, hogy abban az elektromosság elképzelhetlenül gyorsan ugrik a földből a felhőbe s onnét vissza. Olyan gyorsan, hogy másodpercenként sok milliószor teszi meg ide-oda az útját. E rezgések szétterjednek a levegőben, eljutnak mindenhová, eljutnak igen gyorsan, mert másodpercenként 300.000 km-nyi utat tesznek meg. Az a hangrezgés, mely velük egy időben születik, végtelen lassúsággal halad a nyomunkban, hiszen másodpercenként csak 335 m-nyire jut!

Hertz elhalálozott s munkájának gyakorlati gyümölcseit Marconi élvezi, ki az elektromos rezgéseket a drótnélküli telegrafiában használta fel.\*<sup>1</sup>

De folytassuk kutatásainkat. Törekedjünk még magasabbra. Ha az eddigi nagy számoktól és a jelentésüket képező óriás sebességtől nem ijedtünk meg, megbírjuk a még gyorsabb rezgéseket is. "Mert több dolog van a föld s az ég között, mint a mennyit értelmünk felfogni képes". De a mit fel bír fogni, azok is nagyon csodálatosak. Való igaz, hogy nem csak az a tény, mit látunk, hallunk vagy tapintunk. De vannak oly igazságok is, melyek a tények szűk határain is messze túlterjednek. Érzékszerveinknek megvan a maguk határa, de az értelem korlátlan a nézésében. A teljesen sötét szobában minden habozás nélkül rátalálunk a meleg kályhára. Tudjuk merre van, még az esetben is, ha először vagyunk ott. Tudjuk, mert érezzük, hogy arcunkra meleg sugarak érkeznak. E sugarakat követve, felkereshetjük azt a testet is, mely őket szétküldte.

Ha azonban kérdezzük, mik azok a meleg sugarak, a nagy természetnek mely megnyilatkozásai, akkor cserbe hágy egész érzéki készletünk, rá vagyunk utalva az értelemre. Nos tehát az értelem ismét azt mondja, hogy az a test, melyből a meleg szétárad, igen gyors rezgések fészke. Szüntelenül rezegnek legapróbb részei, melyekből össze van téve. Szüntelenül, fáradhatlanul. Nincs mód azokat megsemmisíteni. Valójában könnyebb volna a Földet kizavarni pályájából, mint e rezgéseket megsemmisíteni.

Rezegnek a szobámban lévő összes tárgyak legkisebb részei, rezegnek a falak, ajtók, ablakok és bútorok, rezegnek a saját testem legapróbb alkatrészei. És e végtelenszer végtelen sok apró rezgések mindegyike hullámokat kelt, melyek  $300.000.000 \frac{m}{sec}$  sebességgel száguldanak minden irányban a térben tova. És mi a hullámoknak eme mérhetetlen zűrzavarában élünk, dolgozunk és azt mondjuk: jó, hogy megvan ez az észbontó chaosz, jó, hogy e hullámok rajtunk keresztül vonulnak; mert ha ez nem így volna, menten megfagynánk, menten halottá válnánk. Minden test egy óriás hangyaboly, melyben minden mozog, sűrög-forog, száguld ide-oda, melyben szilárd nyugvó pont nincs, legfőlegb egy pillanatig; addig, míg a vele szembe jövő másik hangyával az összeütközés tart; de nem veszedelmes ez sem, nyomában új élet kel, új irányú mozgás. A mozgás az élet, a nyugalom a halál. De nyugalom nincs, csak kisebb sebességű mozgás. Még a zero alatt eddig elért legalacsonyabb hőmérsékletnél sincs. Dewar, a jeles angol fizikus állította azt elő: 256 fok Celsius a zero alatt már oly alacsony hőmérséklet, hogy benne a levegő kőkeménnyé fagy, a hidrogén pedig kékes színű folyadékká sűrűsödik. De felfogásunk értelmében a test alkatrészei ebben sem nyugsznak, csak kisebb sebességű és amplitudójú rezgéseket végeznek. Minél jobban emelkedik ettől kezdve a hőmérséklet, annál élénkebbé válik a rezgés. Azonban nem rezeg mindegyik részecske ugyanakkora sebességgel, vannak köztük lassúbbak és gyorsabbak. A leglassúbb mozgás, a mit eddig le bírtak mérni, 100 billio másodpercenként. A mint a test hőfoka emelkedik, gyorsabb rezgések keletkeznek, körülbelül 500° Celsiusnál mindegyik szilárd testben már vannak 400 billiós rezgések is.

Ekkor azonban új jelenség lép fel: a szemem, mely az eddigi alacsonyabb rezgésekkel szemben közömbös volt, most egyszerre működésbe lép és tudtomra adja, hogy van egy test, mely 400 billio másodpercenkénti rezgést bocsát ki; ezt a jelentést én mint sötét vörös színt veszem tudomásul. Teljesen ugyanaz történt, mint a hangrezgéseknél. Hiába éri fülem dobhártyáját másodpercenként 12 rezgés, én ezen a réven nem szerezhetek róla tudomást; de a mint 20 rezgést kapok, a fül rögtön működésbe lép és mély hangról tudósít. Éppúgy itt is; hiába érik szemem retináját 300 billiós rezgések, arról ő nem vesz tudomást, de a mint a rezgések száma eléri a 400 billiót, rögtön vörös fényről tudósít.

Ha a szilárd testet tovább melegítem, újabb és újabb rezgések lépnek fel, melyek a lassúbbakkal együtt azt okozzák, hogy a nevezett testet sárgásnak, végre egészen fehérén izzónak látom. A fehérén izzó testből igen sok fajta rezgés árad szét, van benne az eddigi mérések szerint 100 billiótól 2000 billióig terjedő minden fajta rezgés. De nagyon lehetséges,

<sup>1</sup>Lásd a K. M. Lapok 1897/98-iki évfolyamát, 120–126. lap.

hogy e határokon kívül még lassúbb és gyorsabb rezgések is fordulnak benne elő, csak nincs arra módunk, hogy róluk tudomást szerezzünk.

Lehet-e e sokfajta rezgést egymástól elválasztani? Lehet és pedig igen egyszerű eszközzel, az üveghasábbal, melyet minden gyermek ismer. Az üveghasáb szétválasztó képessége ama egyszerű tényen alapszik, hogy a különböző rezgések az üvegben nem ugyanakkora sebességgel terjednek. E tulajdonság, a hangrezgésekkel szemben lényeges különbség. Tudjuk, hogy pl. a 120-as és a 2000-es hangrezgések ugyanakkora sebességgel terjednek; nem úgy a fényrezgések, a 400 billiós, vörös színű rezgés az üvegben gyorsabban terjed, mint az ibolyát adó 800 billiós rezgés. Ennek az a folyománya, hogy ha a fehér fényben lévő különböző rezgések az üvegprizma lapjára ferdén esnek, akkor szétválnak s különböző irányban folytatják útjukat. Legkevésbé térnek el az eredeti iránytól a 100–400 billióig terjedő rezgések, ezek az úgynevezett vörösön inneni sugarak; már jobban a 400–480-ig terjedő rezgések, melyek a vöröst és a narancssárgát adják és így tovább; minél szaporább a rezgés, annál lassabban terjed az üvegben s annál nagyobb mértékben tér el az eredeti iránytól. A világűrben és közelítőleg a levegőben is valamennyi rezgés ugyanakkora terjedési sebességgel bír ( $v = 300.000.000 \frac{m}{sec}$ ). Ha ezt tekintetbe vesszük, akkor az itt levő viszonyokat a következő matematikai törvények szabályozzák.

$$n_1 = \frac{v_1}{v}; n_2 = \frac{v_2}{v}; n_3 = \frac{v_3}{v}; \dots,$$

a hol  $v_1, v_2, v_3 \dots$  az egyes rezgések terjedési sebességét jelenti az üvegben;  $n_1, n_2, n_3 \dots$ , az úgynevezett törés mutató. Ezek ismét

$$n_1 = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \Phi}; n_2 = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \Phi}; n_3 = \frac{\sin \varphi_3}{\sin \Phi} \dots,$$

a hol  $\Phi$  a közös beesési szög és  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots$  az egyes rezgések törési szögei.

Az üveghasáb mögött tehát az egyes rezgések szétválasztva jelennek meg. Minden egyes rezgésnek, mely 400–800 billió között van, külön szín felel meg. Így tehát a színek végtelen sokasága áll rendelkezésünkre. Szemünk azonban a közel fekvő színeket nem tudja egymástól megkülönböztetni, épp úgy, miként a fül nem talál különbséget, pl. a 5660-as és az 5670-es rezgés között. Azért főcsoportokat választ ki, ezek a jól ismert szivárvány színek: vörös, narancs, sárga, zöld, indigo, ibolya.

Mindezen rezgések egymástól függetlenül is előállíthatók. A szilárd testektől eltérőleg az izzó gőzök csak meghatározott periódussal bíró rezgéseket bocsátanak ki. Például a natriumgőzök rezgés száma 510 billio, a többi rezgések teljesen hiányoznak.

E sebes rezgéseket nemcsak hőmérsékletemeléssel lehet létre hozni, hanem elektromos úton is. Üvegcsőbe zárt erősen ritkított gáz világít oly térben, melyen elektromos rezgések vonulnak végig. Ha a teremben leydeni palaczkok elektromossága kisül, vagy a dörzs-villamgép, vagy az influentiagép vagy a Ruhmkorff vagy váltakozó áramú elektromotor működik, akkor a teret elektromos rezgések járják be és ezek hatása alatt az üvegcsőbe zárt gáz világítani kezd. Ha a rezgések elég erősek, úgy az eszköztől több méternyi távolságban is világít. Nevezetes jelenség! A lassú elektromos rezgések képesek arra, hogy a gáz részeit jóval sebesebb rezgésre bírják. A jelenség kényszerrezgés és ugyanaz, mint a melyet már fentebb is leírtunk. Az elektromos rezgésektől származó lökések a gáz részecskéit érik, úgy, hogy az kénytelen rezegni; de minthogy oly lassú rezgésekre nem képes, mint a milyenek érik, azért olyan rezgéseket végez, a melyek az ő saját rezgésai, a natriumgőz például 510 billiósat. A jelenség hasonlít ahhoz, mint midőn a harangot rendszeres lökések érik, mondjuk másodpercenként 1, és ő sokkal sebesebb rezgésnek indul, t. i. elvégzi a saját lehetséges rezgéseit, melyek jellemző hangját meghatározzák.

Még más szempontból is érdekes jelenség. Már láttuk, hogy az elektromos és a fényrezgések egyenlő sebességgel terjednek a térben. E tény és az előbbeni jelenség azt a gondolatot kelti bennünk, hogy a két fajta rezgés nemcsak hasonlatos, hanem azonos. E felfogást Maxwell mondta ki először, s így megalapította az elektromágneses fényelméletet, melynek az az alaptana, hogy a világító testek részecskéi elektromossággal vannak töltve, és a térben keltett hullámok is elektromos hullámok. E felfogáson alapszik egy pár igen érdekes kísérlet, melyek a fény és elektromosság kölcsönhatását mutatják.

De nemcsak a gázok, hanem a szilárd testek is világítanak elektromos rezgések behatása alatt. E tekintetben különösen kiválnak a foszforeszkáló és fluoreszkáló anyagok. Jellemző, hogy e fény minden hőtől ment és azért sokan benne látják a jövődő világosságát.

A leírt rezgéseknek többféle hatásuk van, a legnevezetesebb minden esetre az, hogy a fotográf-lemezre hatnak. Ez volt éppen a legbiztosabb mód a vörösön inneni és az ibolyántúli láthatatlan rezgések biztos meghatározására. Különösen az ibolyántúli 800 billiónál gyorsabb rezgések nagyon hatékonyak. Az újabb kutatások csodálatos jelenségeket fedeztek fel. Vannak testek, melyekből csakis ezek a nagyon gyors, 1000 billión felüli rezgések indulnak ki; ezek sem nem láthatók, sem nem melegítenek, hanem a fotográf-lemezre hatnak. Így láthatatlan vagy sötét sugarakkal is lehet fotografálni. Valószínű, hogy ilyenek a Röntgensugarak is, valószínű, hogy ezek még sokszorta gyorsabbak; pontos mérések még nincsenek, de hozzávetőleges számítások a rezgésszámot 30.000 billióra teszik. Igaz-e, a jövődő kutatások fogják eldönteni.

Hol van a lehetséges rezgések felső határa, ki tudná megmondani? Micsoda jelenségeket fog a fizika még felfedezni, a jövődő kérdése. Bámulatatosan gazdagította a természetről való ismereteinket és még csodálatosabb eredményeket várhatunk tőle, ha a megkezdett úton tovább halad. A mondottak után beláthatjuk, hogy téved az, ki azt hiszi, hogy a nagy természettudományi felfedezésekben a véletlen játssza a főszerepet. A fizikus nincs vezető nélkül, nem

tapogatózik a sötétben. Vezetője az értelem, mely azt mondja: "Hasonló okok, hasonló körülmények, hasonló hatásokat szülnek, viszont hasonló hatásokból hasonló okokra következtethetünk vissza." De még arra is van módja, hogy e tétel igazságát esetről-esetre megvizsgálja. Nem hisz benne feltétlenül, mert a míg a természet összes jelenségei felkutatva nincsenek, addig az általános igazság csak ama esetek szűk körére vonatkozhatik, melyek már ismeretesek előttünk. Nem feltétlen igazságnak, de vezető gondolatnak használja az analógiát s abban a helyzetben van, hogy minden egyes esetben külön megvizsgálhatja igazak-e a belőle vont következtetések. Két szolgája segíti ebben: a matematika s a kísérlet. Olyan ügyesek ezek, hogy a természet legrejtettebb zugába is behatolnak. Nincs itt véletlen, csak hosszú, lankadatlan munka. A természet nem kedvez a lustálkodóknak.