

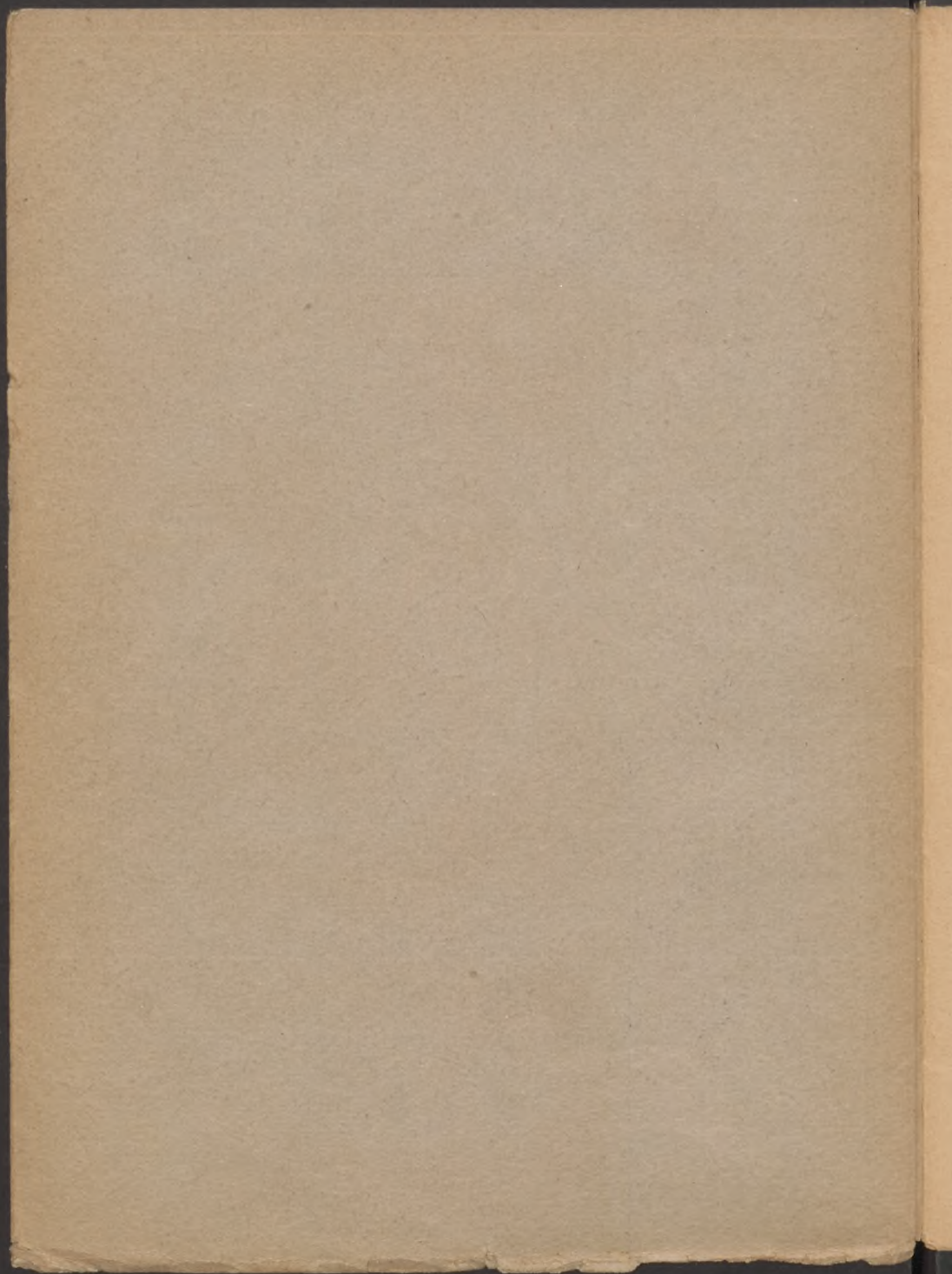
A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK
ELEMEL

M
12.236 OSZK
6



CSÁSZÁR ELEMÉR
A
SUGARAK
VILÁGA

K. M. /
TERMÉSZET-
TUDOMÁNYI
TÁRSULAT



A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK ELEMEI

6.

A SUGARAK VILÁGA

ÍRTA:
CSÁSZÁR ELEMÉR

20 KÉPPEL

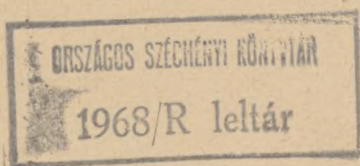


KIADJA A KIRÁLYI MAGYAR TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT
BUDAPEST, 1937.

TARTALOM.

	Oldal
1. A sugárzó energia	3
2. A fény sugárzás	4
3. A hő sugárzás	20
4. A rádióhullámok	25
5. Az ibolyántúli sugarak	35
6. Az élőszervezet láthatatlan sugárzása	40
7. A Röntgen-sugárzás	42
8. A gamma-sugarak ..	50
9. A kozmikus sugárzás	54

M 12. 236 / 6



1. A sugárzó energia.

Egyszer szemünket gyönyörködteti csodás szín-pompájával, máskor meg testünket perzseli; egyszer mint a hang titokzatos szállítója jelenik meg, máskor meg kedveseink arcát örökíti meg élethűséggel; emitt a testek belsejébe enged pillantani: látni engedi a láthatatlant, amott meg gyógyít vagy még jobban életre serkenti az élt. Mi ez? A *sugárzás*, mely éppen úgy, mint az anyag, változatos módon jelenik meg előttünk; tulajdonságai, hatásai nagyon különbözők, de sokféleségében mégis van valami közös, valami megegyező.

Mi ez a közös, miben egyeznek meg az összes sugárzások? Hogy erre a kérdésre válaszolhassunk, vegyük szemügyre pl. a hősugárzást. A jól befűtött vaskályha hője sugárzás útján jut el arcunkra, kezünkre; a nap hője meg a földre és a föld melegévé változik át. Azonban jól tudjuk, hogy a hő az energiának egyik faja, tehát ha egy test hőtartalmának egy része sugárzás útján eltávozik belőle, akkor energiatartalma fogy; ha pedig egy másik test ezt a hőt magába fogadja, akkor ennek az energiatartalma növekszik. Tehát a hősugárzás energiát szállít egyik testből a másikba. A tapasztalat meggyőz bennünket arról is, hogy hősugárzás útján egyik test hője mindenféle anyagi közvetítés nélkül, tehát légüres téren keresztül is eljuthat egy másik testbe. Így pl. a légüres izzólámpa drótjának hője sugárzás útján jut ki az üvegekörtéből; nagyon valószínű, hogy a nap hője is üres világtéren keresztül jut el hozzánk. Ez a légüres téren keresztül való terjedés éppen a legjellemzőbb tulajdonsága a hősugárzásnak a közönséges hővezetéssel szemben. Ugyanis hővezetéskor éppen anyagi kapcsolat van a két test között.

Mindez, amit a hősugárzásról mondtunk, érvényes bármilyen más sugárzásra is. Tehát az összes sugárzások közös tulajdonsága, hogy *a testek energiáját anyagi közvetítés nélkül viszik át más testekbe, hogy a légüres téren keresztül energiát szállítsanak.*

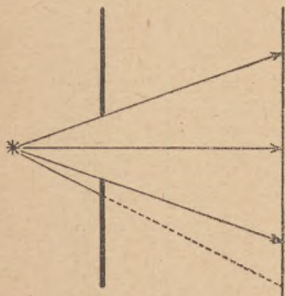
Sőt van még egy másik nevezetes közös tulajdonságuk is. Mégpedig az, hogy a különféle sugárzások légüres térben *ugyanakkora sebességgel szállítják az energiát*, tekintet nélkül a sugárzás minőségére. Ez a sebesség renkívül nagy a földön megszokott sebességekhez képest. Ugyanis mekkora itt a földön a nagy sebesség? A repülőgépe néhány száz kilométer óránként, a puskagolyóé legfeljebb egy kilométer másodpercenként. És mekkora a sugárzásé? Háromszázezer km másodpercenként. Ez azt jelenti, hogy a sugárzás Budapestről Rómába körülbelül $\frac{1}{250}$ másodperc alatt jut el, ha egyébként elég erős; vagy azt is jelenti, hogy a 150 millió km távolságra lévő napból nyolc perc alatt érkezik el hozzánk. Milyen messze lehetnek azok a csillagok, amelyekről évek alatt jut el hozzánk a fény?

Bár a sugárzás anyag jelenléte nélkül is előfordul a térben, mégis az anyagban születik és az anyagban hal meg: az anyag a forrása és az anyag nyeli el. A sugárzás az anyag szava, az anyag gondolata, melyet az anyag nemcsak kibocsátani, hanem megérteni, befogadni is tud. De akkor e szóból következtetni lehet az anyag belső világára, éppen úgy, mint az ember szavaiából lelkivilágára, érzéseire, ha őszinték a szavai. Megnyugtathatom kedves olvasóimat, hogy az élettelen anyag mindig őszinte, az anyag szava, a sugárzás mindig igaz szó, s így a sugárzásból helyes következtetést lehet vonni az anyag belsejére. Azonban ezt a szót csak úgy érthetjük meg, ha tanulmányozzuk a különféle sugárzások tulajdonságait és törvényeit.

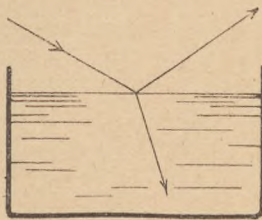
2. A fénysugárzás.

Többször azt tapasztaljuk, hogy a fényforrások hőmérséklete igen magas. A petróleumlámpa lángjának hőmérséklete jóval felül van az 1500 Celsius-fokon,

a villamos izzólámpák vakító fényű szálának hőmérséklete meg a 2500 fokot is meghaladja. Minél magasabbra emeljük egy test hőmérsékletét, annál több fényt bocsát ki: ez a *meleg fény*. Azt gondolhatnánk, hogy a fény kibocsátásának elengedhetetlen kelléke a magas hőfok. Pedig nem így van. A nagyvárosok utcáin változatos színekben pompázó világító üvegcsövek nem melegítenek, hanem kb. a környezet



1. kép. A fény egyenesvonalú terjedése.



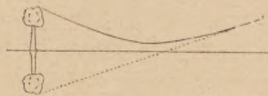
2. kép. A fény visszaverődése és törése.

hőmérsékletén vannak, hidegnek mondhatók: belőlük *hideg fény* jön. A bennük lévő kevés gáz (neon, higany stb.) nem azért világít, mert magas hőmérsékletre emeltük, mert izzítjuk, hanem azért, mert a rajta keresztülhaladó elektromos áram a gáz részecskéit fénykibocsátásra készíti; azonban az áram olyan gyenge, hogy melegítése számba sem jön. Az izzólámpa vékony fémszála azonban éppen az elektromos áram melegítő hatása miatt sugározza ki a fényt.

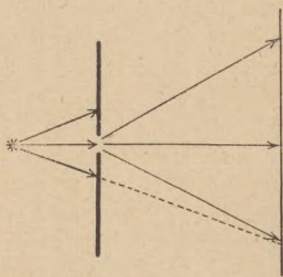
Egy világító testből csak akkor juthat el valahova a fény, ha a testből a hely felé irányuló egyenes vonal átlátszatlan akadályba nem ütközik. (1. kép.) Ebben áll a fény *egyenesvonalú terjedése*. Azokat az egyenes vonalakat, amelyek mentén a fényt terjedni gondoljuk, hívjuk *fény sugaraknak*; a fény sugarak halmazát meg *fénynyalábnak*, mely lehet széttartó, összetartó, párhuzamos.

Az egyenesvonalú terjedés törvénye csak addig érvényes, míg a fénysugár olyan közegben terjed tova, amely mindenütt azonos természetű, még hőmérsékleti vagy sűrűségi különbségek sem fordulnak elő benne. Mihelyt a fénysugár pl. víz színére esik, azonnal elhagyja egyenesvonalú pályáját, mégpedig egyik része *visszaverődik* a víz felszínéről és visszatér a levegőbe, a másik pedig *megtörik* és a vízben tovább folytatja útját (2. kép.). A töréssel együtt jár a fény terjedési sebességének megváltozása is ; így pl. vízben lassabban terjed a fény, mint levegőben.

A visszaverődés és törés következtében a fénysugár útja általában *törtvonal* lesz, mely egyenesvonalú szakaszból áll. Ha azonban a közeg, melyben a fény terjed, fokozatosan változik, (pl. a légkör sűrűsége fokozatosan nő a föld felé közeledve, vagy fokozatosan csökken a forró homokkal érintkező alsó levegőréteg-



3. kép. Görbe fénysugár forró homok fölött.

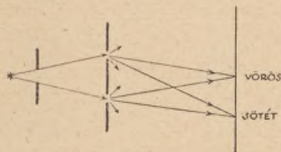


4. kép. A fény elhajlása; az elhajlított fénysugár oda is eljut, ahova a közvetlen nem.

ben), akkor a fény útja *görcvonal* lesz, a fénysugár elgörbül (3. kép.). Ezért látjuk a napot a látóhatár fölött akkor is, mikor már lenyugodott, vagy ez az oka a délibábnak is. Az újabb nézetek szerint a fénysugár akkor is elgörbülhet, ha a közegben, melyben terjed, semmiféle változás sincs, sőt még akkor is, ha légüres térben halad. Ehhez csak az kell, hogy a fénysugár igen nagy tömegű test mellett haladjon el : pl. egy csillag fénye a nap mellett. Ekkor az elmélet szerint a fénysugár a nap felé görbül és a csillagot másutt látjuk az égbol-

tozaton, mint ahol van. Ezt kívánja a relativitás elmélete.

Ha a fehér fény megtörik, akkor rendszerint színekre is felbomlik és *színkép* keletkezik. Az olyan színképet, melyben a különféle színek folytonosan mennek át egymásba, *folytonos színképnek* nevezzük; ilyen az izzó szilárd testek színképe. Az olyan színképet pedig, amely különféle színű csíkokból (vonalakból) áll, *vonalas színképnek* hívjuk; ilyen pl. az üvegsóben világító ritkított hidrogén-gáz színképe, melyben látunk egy vörös, egy zöldeskék és két ibolyaszínű vonalat, ezek a híres Balmer-féle hidrogén-vonalak; az oxigén, hélium, higanygőz színképe még több vonalból áll.



5. kép. A sugárszövődés jelensége.

A különféle színű fénysugarak terjedési sebessége légüres térben és körülbelül a levegőben is megegyező, azonban pl. vízben vagy üvegben nem. Ezekben az ibolya színű sugár valamivel lassabban halad, mint a vörös. Tehát az irányváltozás (a sugártörés mértéke) és a terjedési sebesség szoros kapcsolatban van egymással.

Az egyenesvonalú terjedés szabálya néha még akkor is elveszti érvényét, ha a fény változatlan közegben terjed tovább. Ugyanis a fény kis (0,1—0,01 mm átmérőjű) lyukon áthaladva szétterül és az útjába tett fehér papírt a kis lyukhoz képest nagy darabon világítja meg (4. kép.). Tehát a fény a fehér papírnak olyan helyére is eljut, amely felé a fényforrásból induló fénysugár átlátszatlan testbe ütközik. Ezt a jelenséget *fényelhajlásnak* (diffrakciónak) nevezzük. Hasonló jelenség áll elő akkor is, ha a kis lyuk helyett éles késsel igen keskeny rést vágunk fényképezőlemez fekete rétegébe.

Még furcsább jelenséggel is találkozunk, ha a fekete rétegbe két rést vágunk az éles késsel s e kettős

nyílású lemezt állítjuk egy lámpa elé (5. kép.). Közbe még egy, valamivel szélesebb nyílású lemezt teszünk, hogy csak ezen keresztül jusson fény a másik két nyílásra a lámpa izzódrótjának igen keskeny darabjából. Vörös üveget tartva a lámpa elé, legnagyobb meglepetésünkre azt tapasztaljuk, hogy a fehér papíron vörös és fekete csíkok sorozata jelenik meg, jóllehet az ernyőre nem is egy, hanem két helyről érkeznek fénysugarak. Ez a jelenség a *sugárszövődés* (interferencia). E szerint lehetséges, hogy két megegyező színű fénysugár egymást megsemmisíti az összetalálkozás helyén.

Most azt lehetne kérdezni, hogy bármilyen két vörös fénysugárral megtörténhetik ez; akkor is, ha két lámpából származik? A tapasztalat nemmel válaszol: még senki nem látott a falon sötét csíkokat, ha egy szobában két vörös lámpát gyújtott meg. A közbeiktatott keskeny nyílás szabja meg a föltételt: a sugaraknak a fényforrás igen keskeny részéből kell származni. Ha az ilyen eredetű sugarakból elhajlás útján származó új sugarak összetalálkoznak, csak akkor lehet tartós kioltásról szó, különben nem. A fényforrás különféle pontjaiból kiinduló sugarak csak pillanatnyilag olthatják ki egymást, de tartósan nem. Ezért nem sikerül az elhajlási és sugárszövődési kísérlet két piros lámpával.

Elhagyva a vörös üveget, mindkét nyílásból fehér fénysugarak indulnak ki és a papíron is fehér fénysugarak találkoznak össze. Ekkor azonban nem világos és sötét csíkok keletkeznek, hanem színeképek, de csak a megsabott körülmények között. Azt nem tapasztalta senki sem, hogy két közönséges fehér izzólámpa vagy gyertya meggyújtásakor színeképek keletkeztek volna a falon.

Az említett jelenség különösen akkor tapasztalható, ha egymás mellett lévő sok kis nyíláson megy keresztül a fény, mely a fényforrásnak igen kicsiny részéből származik. A sok kis nyílást úgy állítják elő, hogy üveglemezre igen sűrű karcolásokat húznak (milliméterenként több százat); ekkor két karcolás közé

esik egy-egy nyílás. Az ilyen üveglemezt fénytani rácsnak nevezik. Vannak fémrácsok is, melyek úgy készülnek, hogy tükröző fémfelületre húzzák a karcolásokat. Ez esetben a visszaverődő sugarak hajlanak el és szövődnek össze egymással. Megjegyzendő, hogy az üvegrácson a karcolások keresztezhetik is egymást, mint a felhúzott selyemernyő vékony szálai; ilyen üvegrácson vagy selyemernyőn keresztül távoli lámpára tekintve sok, szabályosan elosztott színképet látunk a sugárelhajlás és a szövődés következtében. A holdvar színes gyűrűi vagy télen a villamos befagyott ablakain keresztül az égő villanylámpák körül látható színes karikák ugyancsak e jelenségek következményei. A pávatollak és egyes bogarak szárnyának ragyogó színei szintén a sugárelhajlásból és összeszövődésből származnak.

A fény az elektromos jelenségekkel is szoros kapcsolatban van; e kapcsolat nyilvánul meg a *fényelektromos hatásban*. Ismeretes, hogy a testek dörzsölés útján elektromos töltést kapnak; különösen feltűnő nagy a foncsorozott bőrrel megdörzsölt üvegrúd töltése, melyet pozitív töltésnek nevezünk; a bőrre viszont negatív. Első pillanatra meglepő, hogy a dörzsölt bőr helyett elég fénysugárral megsímogatni a testet, máris elektromos töltése lesz; különösen a fémeken tapasztalható ez a jelenség kék és ibolya fény beesésekor. Mégpedig a megvilágított fém pozitív elektromos töltésre tesz szert. Ez a jelenség úgy magyarázható meg, hogy a megvilágított fémből negatív elektromos töltésű részecskék repülnek ki és pozitív marad vissza rajta. A kirepülő negatív elektromos töltésű részecskéket nevezzük *elektronoknak*; ezek teljesen egyformák, bármilyen fémből válnak is ki. Megjegyzendő, hogy ezek akkor is hatalmas rajban repülnek ki a fémekből, ha fehéren izzítjuk vagy esetleg csak melegítjük őket. Ilyen elektronok száguldanak a ritkított gázt tartalmazó világító csövekben is. Az elektron töltése olyan kicsiny, hogy tőle egy cm távolságban lévő másikat milligramm súlynak körülbelül $\frac{2}{10}^{19}$ részével taszít; tömege pedig $\frac{1}{10}^{27}$ gramm körül van. Mindenféle elektro-

mos töltés csak az elektron töltésének egészszámú többszöröse lehet.

Minket főleg a fény által kiváltott elektronok sebessége és mozgási energiája érdekel (ez utóbbit úgy számítjuk ki, hogy az elektron tömegét megszorozzuk a sebesség négyzetével és a szorzatot elosztjuk kettővel). Kiderült, hogy a sebesség csak a beeső fény színétől függ, ellenben teljesen független a fény erősségétől. Mégpedig az ibolya és kék fény nagy sebességű elektronokat vált ki, a vörös pedig lassúakat, vagy esetleg egyáltalában nem is tud elektronokat kiváltani. Azonban a nagyon gyenge kékszínű fénynyaláb ugyanakkora sebességű elektronokat vált ki, mint a nagyon erős. Természetesen a kiváltott elektronok száma annál nagyobb, minél erősebb a beeső fény. E furcsa jelenségnek igen nagy szerepe van a fényre vonatkozó nézeteink kialakulásában.

A fény minden testre, amelyre ráesik, nyomást gyakorol: ez a *fénynyomás*. Tehát a lámpából arcunkra eső fény távolítani igyekszik bennünket a lámpától, a naptól a földre eső fény nyomja a földet, a megértő szemsugarak nyomása elválasztani igyekszik az érdekelteket. Szerencsére a fény nyomása rendkívül kicsiny, még a legfinomabb műszerekkel is alig észlelhető. Legnagyobb, ha a megvilágított felület merőleges a beeső sugárnyalábra, függ a felület minőségétől is. A napsugárzás nyomása itt a földön egy négyzetméternyi fényes fémfelületre, merőleges sugárbeeséskor, körülbelül egy milligramm súlyával egyenlő, azonban ennek nagy része nem a nap fénysugárzásától, hanem hősugárzásától származik.

A megvilágított testek sok esetben átalakítva adják vissza a beeső fényt környezetüknek. Ez a jelenség a *fluoreszcencia*, mely addig tart, amíg a megvilágítás. Azonban a fénykibocsátás sokszor a fénybeesés megszűnte után is észlelhető, sőt órák hosszat is tarthat. Ez a jelenség a *foszforeszcencia*.

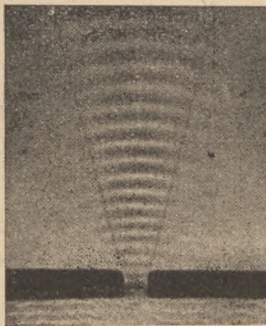
A fluoreszcenciához hasonló fénykibocsátás a legtöbb testen tapasztalható, azonban a kisugárzott fény, sokszor nagyon gyenge. Így pl. a benzol, higanylámpa

ibolya vonalával megvilágítva, több színeképvonalat bocsát ki, melyek a színeképben részint a vörös, részint a szélső ibolya felé esnek. Másféle anyagok ugyanilyen fényel megvilágítva más színű sugarakat bocsátanak ki. Szóval tehát az anyag a ráeső egynemű fényből sokszor egész sereg más, meghatározott színű fénysugarat készít, melyek a színeképben az eredeti beeső fény mellett jobbra és balra is helyet foglalhatnak. Ebben áll a *Raman-féle hatás*.

A fény *kémiai hatásokat* is fejt ki; legismertebb a fényképező hatása. Az *életteni hatásai* közül legfontosabb a világos vörös fénynek áthasonító (asszimilációs) hatása a növényvilágban; ezt a fényt elnyeli a növényi zöld, a klorofill. Említésre méltó, hogy a emberi bőr legjobban keresztül engedi a sárgás-vörös sugarakat, tehát ezek hatolnak a legmélyebbre; ellenben az ibolya és kékszínű fényt elnyelik a bőr felső rétegei.

Megismerve a fény keletkezését, tulajdonságait, hatásait, kíséreljük meg választ adni arra a merész kérdésre, hogy mi tulajdonképen a fény, milyen a természet. Már előre jelezzük, hogy valamilyen végleges megoldást ne várjunk, mert a fény — úgy látszik — csak arra való, hogy éljünk vele, hogy világánál kutassuk a természetet, de ne firtassuk lényegét, benső titkait.

Természetes, hogy az emberek olyan *fényelméletet* igyekeztek találni, melynek alapján az összes ismert jelenségek megmagyarázhatók. Előtérben állottak az egyenesvonalú terjedés, továbbá az elhajlási és a sugárszövődési jelenségek. Minthogy vízhullámokkal könnyen előállíthatók ezekhez hasonló jelenségek, közeleső volt a feltevés, hogy a fény is valamilyen

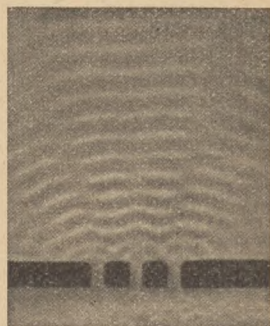


6. kép. Nagy nyíláson keresztülhaladó vízhullámok.

hullámmozgás. Melyek ezek a hasonló jelenségek? Nagy kádban lévő víz színére állítsunk deszkadarabot, melyre jó nagy nyílást vágunk (6.kép.). Az egyik oldalon pálca végével ütögetjük a víz színét: a hullámok a nyíláson áthatolnak, de nem terjednek minden irányban széjjel, hanem csak két egyenes vonal között maradnak, melyek a hullámgyűrűk középpontjából a nyílás két széle mellett húzhatók. A nyílásnak nagynak kell lenni két hullámhegy távolságához képest. Ha a hullámgyűrűk



7. kép. Kis nyíláson keresztülhaladó víz-hullámok.

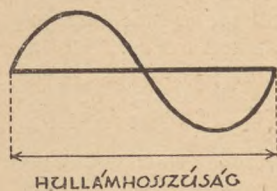


8. kép. Több kis nyíláson keresztülhaladó víz-hullámok összeszövődése.

középpontjába kis lámpát állítanánk, ugyanilyen szabály szerint terjedne a fény is. Tehát az árnyékvetés és az egyenesvonalú terjedés összhangban van a hullámokkal. Ha azonban a deszkán lévő nyílást csak körülbelül olyan szélesnek választjuk, mint két hullámhegy távolsága, akkor az a meglepetés ér bennünket, hogy a kis nyílásból is minden irányban indulnak ki hullámok (7. kép). Ugyanez a sorsa a fénynek is, midőn tű hegyével szúrt lyukon vagy éles késsel karcolt nyíláson megy keresztül.

Még tovább kísérletezve vágjunk két (vagy több) kis nyílást a deszkára (8. kép). Mindegyik nyílásból hullámgyűrűk indulnak ki, melyek egymást keresztül-kasul

járják, s az eredmény az lesz, hogy a víz felszínének egyes helyei nyugalomban maradnak, míg más helyeken magasabb hullámhegyek és mélyebb hullám völgyek keletkeznek, mint mikor csak egyik pontból indulnak ki hullámgyűrűk. Ennek oka egyszerű. Ugyanis a hullámozás abban áll, hogy a víz részecskéi függőleges vonalak mentén fel és lefelé mozognak. Ha valamely helyen a két hullám úgy találkozik össze, hogy hullámhegy állandóan hullámhegyre, völgy pedig völgyre esik, vagyis mindkét hullám egyidejűleg akarja fölfelé vagy lefelé mozdítani a vírrészecskét, akkor ott a két hullám erősíti egymást. Ha ellenben hullámhegy völgyre esik, vagyis az egyik hullám fölfelé, a másik meg lefelé akarja mozdítani a vírrészecskét, akkor ez nyugalomban marad. Egészen hasonlóan viselkedik a vörös fény, mikor két keskeny résen halad keresztül. A víz színén látható nyugvó csíkoknak megfelelnek a fehér papíron megjelenő fekete sávok. Mondanunk sem kell, hogyha a víz színén a hullámgyűrűk forrásait, az említett keskeny rések számát szaporítjuk, hasonló jelenség áll elő. A fényvisszaverődéséhez és töréséhez hasonló jelenség szintén megvalósítható vízhullámokkal.



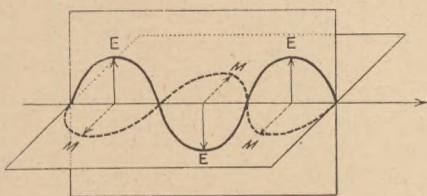
9. kép. A hullám.

A szerzett tapasztalatok alapján joggal föltehetjük, hogy a fény terjedése valamiféle hullámmozgás. Egy hullámhegy és völgy hosszúságát nevezzük *hullámhosszúságnak* (9. kép). A színek abban különböznek egymástól, hogy más a hullámhosszúságuk. Ez éppen a kis nyílásokon fellépő elhajlási jelenség alapján mérhető meg, tehát nem elképzelés, hanem mérési eredmény. A különféle színek hullámhossza 0,0008 és 0,0004 mm közé esik, mégpedig a színek vörös végétől az ibolya felé haladva fokozatosan csökken a hullámhosszúság. De egy-egy színben még nagyon sokféle lehet a hullámhosszúság; így pl. a 0,00075 mm hullámhosszúságú fény vörös, de ugyancsak vörös a 0,0007 mm hullámú

is; a sárga fény átlagos hullámhossza 0.0006 mm körül van. A színeket a hullámhosszúság helyett a *rezgésszám* alapján is meg lehet különböztetni egymástól. Rezgésszám alatt értjük a fényforrásból egy másodperc alatt kiinduló hullámok számát. Ezek 300.000 km hosszú egyenest lepnének el egymás mellé téve. Tehát egy hullám hosszát úgy kapjuk meg, hogy a fény terjedési sebességét elosztjuk a rezgésszámmal; viszont a rezgésszámot meg úgy, hogy a terjedési sebességét elosztjuk a hullámhosszúsággal. A vörös fény rezgésszáma körülbelül 400 billió, az ibolyáé 800 billió. Ha a különféle színű sugarak egymásután gyorsan érkeznek a szemünkbe, fehér fény érzete keletkezik. Az elhajlási és sugárszövődési jelenségek közben a színek úgy keletkeznek, hogy a jelenség szemléléséhez használt fehér papírlap egy helyén csak bizonyos színű sugarak hullámai erősítik egymást, mert az összetalálkozó sugarakban páronként a hullámhegy mindig hegygel esik össze, viszont más színű sugarak pedig csekélyebb mértékben vagy egyáltalában nem erősítik egymást.

Most még csak azt kellene megmondanunk, hogy mi hullámzik tulajdonképpen a fény terjedése közben. Régebben azt gondolták az emberek, hogy a mindenütt, még a légüres térben is jelenlévő, de közvetlenül még sem érzékelhető világéter részecskéi rezegnek és alkotják a fényhullámokat. Egy ilyen titokzatos anyag felfedése azonban igen sok nehézségre vezetett, ezért elhagyták és helyette az *elektromágneses hullámzási elméletet* építették fel. Első pillanatra nem igen értjük ezt a kijelentést. Nem igen látunk hasonlóságot az elektromos és mágneses, továbbá a fényjelenségek között. De mindjárt megépítjük az összekötő hidat. Az jól ismeretes, hogy az elektromos töltésű testek, meg a mágnesrudak környezetében elektromos és mágneses erő észlelhető, még légüres térben is. De a tapasztalat szerint mindenféle villanszikkra környezetében is fellépnek ilyen erők, csak hogy ezek nem állandók, hanem változnak. Sőt meg lehet győződni róla, hogy a szikrától nagyobb távolságban is felbukkannak, mert ott is tudnak parányi villanszikkát okozni. De ez

az utóbbi szikra valamivel később keletkezik, mint az első; az őt keltő elektromos és mágneses erők bizonyos, de igen rövid idő alatt jutnak el egyik helyről a másikra. Kiderült, hogy ez erőknek a terjedési sebége éppen akkora, mint a fényé, szóval éppen annyi idő alatt jutnak el a szikra helyéről valahova, mint a szikra fénye. (Nem úgy, mint mennydörgéskor a villám fénye és hangja; egyébként villámláskor is terjednek ilyen erők.) Ezenfelül az említett erők is, meg a fény is



10. kép. Az elektromos (E) és mágneses (M) hullám és fénysugár mentén.

légüres téren keresztül is terjednek. Ez erőhatások fémlemezekről visszaverődnek, akárcsak a fény. Ezek és más hasonlóságok arra a föltevésre készítették az embereket, hogy a fény elektromos és mágneses erőknek hullámszerű tovaterjedése vagy röviden elektromágneses hullám. Ez alatt azt értjük, hogy a fénysugár mentén elektromos és mágneses erők hatnak, mégpedig a legegyszerűbb esetben a 10. kép szerint. Azonban ezeknek az erőknek a nagysága és iránya nem állandó a sugár egy pontjában, hanem olyanformán változik, mint a rezgő pont eltávolodása egyensúlyi helyzetéből. Minthogy ezek az erők a légüres téren keresztül is terjednek, szállításukra semmiféle anyagi közvetítőre nincs szükség, de jelenlétükről csak anyagi felfogó útján győződhetünk meg, mely lehet a szemünk is.

A hullámok közben csendesen elhallgattunk két jelenséget: a *fényelektromosat* és a *fény nyomását*; sőt a másodlagos fényerjesztésről sem szóltunk. A fény által kiváltott elektronoknak van bizonyos sebességük,

tehát mozgási energiájuk is. Honnan veszik ezt? Tegyük föl, hogy a beeső fényből, hiszen éppen ez váltja ki őket. Ha a dolog így van, akkor az elektronnak pillanatnyilag meg kell kapni a ráeső fényből a szükséges energiát, mert a tapasztalat szerint nincsen késés a megvilágítás és az elektron kirepülése között. A hullámok azonban olyan kis helyre, mint egy elektron, rengeteg sok idő alatt szállítanak annyi energiát, amekkorával az elektron kirepül. Ime, baj van a hullámokkal, melyek olyan diadalmasan megállják a helyüket sok területen. Hogyan segíthetünk a bajon? Úgy, hogy egy pillanatra egészen elfelejtjük a hullámokat és föltesszük, hogy a fény, mint az energiának egyik faja, nem úgy terjed a fényforrás körül, mint eddig gondoltuk. Eddig azt gondoltuk, hogy a kis idő alatt kiinduló fényenergia olyan gömböt tölt meg, melynek középpontjában a fényforrás van. Most föltesszük, hogy ez a fényenergia a nagy gömb helyett egy piciny, pontszerű térfogatban van összesűrítve és egy bizonyos irányban hagyja el a fényforrást, de akkor is együttmarad e kis térfogatban, ha igen messze jut a fényforrástól. Ezt a kis energiacsomagot nevezik *fényadagnak* vagy *fénykvantumnak* vagy *fotonnak*. A fényforrásból minden irányban indulnak ki ilyen kvantumok, mint a felrobbant lövedékből a szilánkok. De ezek nem valamilyen fényanyag alkotórészei, hanem összesűrített energiameennyiségek. Sőt energiájuk sem egyenlő, hanem a fény színétől függ: az ibolya fény kvantuma kb. kétszer akkora energiájú, mint a vörös fényé, ez utóbbi pedig az erg billiomodrészének háromszorosa. A fénykvantum energiáját úgy kapjuk meg, hogy rezgésszámát megszorozzuk egy kicsiny állandó számmal, melyet h betűvel jelölnek. Ez igen nevezetes betű korunk fizikájában; értéke 6.6×10^{-27} erg. sec. A fénykvantumok gondolatát *Planck* eszméinek továbbfűzése során *Einstein* vetette föl.

A mozgó fotonoknak tömeget is tulajdonítanak, melyet úgy számíthatunk ki, hogy a foton kicsiny energiáját elosztjuk a fénysebesség négyzetével, egy

óriási számmal ; pl. egy vörös foton tömege kb. $\frac{1}{3 \times 10^{32}}$ gramm. Az elmélet szerint egy bizonyos fotonnak a színe attól is függ, hogy mekkora tömegű test sugározza ki. Pl. egy óriási csillagból jövő, nátriumból eredő foton színe nem éppen olyan sárga, mint a nátriummal megfestett gázlángból jövő fotoné, hanem a színekben kissé a vörös felé tolódik el. Ezt tanítja a relativitás elmélete. A jelenség észlelése igen nehéz, mert parányi változásról van szó.

A fotonok föltevésével könnyen magyarázatát adhatjuk a fényelektromos jelenségnek. Úgyanis a megvilágított test elektronjai megkaparintják maguknak egy-egy ilyen foton energiáját és azzal kirepülnek a testből. (Esetleg adnak belőle valamit a test felületének elhagyásáért, a határátlépésért is.) Így érthetővé válik, hogy a kirepülő elektronok energiája csak a fény színétől függ. Az is érthető, hogy minél több foton esik a testre, annál több elektron válik ki belőle. (Legfeljebb az nem érthető, hogy egy elektron miért nem szerezhet meg magának két vagy több fotonot egyszerre.) — A fénynyomás nem is szorul külön magyarázatra, mert természetesnek látszik, hogy ezek a repülő fényrészecskék nyomják az útjukba eső testeket, akárcsak egy vízsugár részecskéi. — A másodlagos fényerjesztéskor (fluoreszcencia, Raman-hatás) előálló színváltozások is megmagyarázhatók ezen az alapon. Úgyanis a beeső fotonok a megvilágított test belsejében kaphatnak vagy veszíthetnek energiát, tehát visszajutáskor színük is az ibolya vagy a vörös felé tolódhatnak el. Ezek a jelenségek — különösen a fényelektromosak — a hullámelmélet alapján nem magyarázhatók meg ilyen egyszerűen. Viszont a fotonok meg nem alkalmasak a sugárszövődési jelenségek értelmezésére.

Tehát most tulajdonképen nagy zavarba jutotunk : mi hát a fény ? Hullám-e vagy kvantum ? Nehéz feladat a *kettő összeegyeztetése*. Úgyanis a fényhullámok szerint a fényenergia mindig nagyobb és

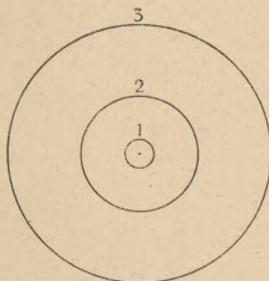
nagyobb térfogatban oszlik szét a fény terjedése közben, a fénykvantumok szerint pedig kicsiny térfogatban együttmarad a terjedés alatt. A kényes helyzetből bizonyos fokig kivezet bennünket *de Broglie* gondolata. E szerint nincsen értelme annak a kérdésnek, hogy a fény hullám-e vagy kvantumszerű-e. Külön-külön egyik sem, hanem mindkettő. A fénysugárzásnak kettős arca van: a hullámszerű arcát akkor mutatja, amikor szín, rezgésszámbeli jelenségekről van szó, a kvantumszerűt pedig akkor, amikor energiabeli összefüggések iránt érdeklődünk. Azonban ne gondoljuk, hogy az elmondottakkal megmagyaráztuk a fény lényegét, csak megegyezést kötöttünk, megengedtük a felfogások szabad gyakorlását.

Most még arról kell valamilyen képet alkotnunk, hogy milyen a *fényforrások belső alkata*, mi módon sugározzák ki a fényt. Közeleső az a feltevés, hogy az elektronok egyensúlyi helyzetük körül gyorsan rezegnek s a tovaterjedő elektromos és mágneses erőket keltik. A különböző rezgésszámmal mozgó elektronok különböző színű fényt sugároznak ki. Azonban ebből a föltevéstől az következik, hogy pl. a hidrogén atómjai nem egyformák, mert különféle módon rezgő elektronok vannak bennük. Ez már megint baj! E bajon segített *Rutherford* és *Bohr*, akik föltették, hogy az elektronok nem rezegnek, hanem az atómnak tulajdonképeni anyagi része, a mag körül keringenek, mint a bolygók a nap körül; a nap vonzóerejét pótolja a pozitív töltésű mag által kifejtett elektromos vonzóerő. A hidrogén-gáz pozitív töltésű atómmagjának *proton* a neve, körülötte egyetlen elektron kering. Minél nagyobb egy elem atómsúlya, annál több elektron kering az atómmag körül különféle pályákon. A keringő elektronnal azonban ismét baj van. Ugyanis ha fényt sugároz ki, energiája folyton csökken, mpkénti keringési száma is folyton változik, tehát nem tud meghatározott színű fényt kisugározni, mint a rezgő elektron. E bajon is segített *Bohr*. Ugyanis — mindenekelőtt a hidrogénnel foglalkozva — föltette, hogy ennek elektronja csak szigorúan előírt pályákon ke-

ringhet és e pályákon nem is sugárzik, hanem csak akkor, ha egy nagyobb (külső) pályáról kisebbre (belsőre) lép át (11 kép). Mégpedig kisebb (szomszédos pályára való) átlépéskor hosszabb hullámú fényt sugároz ki (vörösét), nagyobb (távolabbi pályára való) átlépéskor pedig rövidebb hullámút (ibolyát). Így pl. a harmadik pályáról a másodikra való átlépés közben sugározza ki a vörös fényt, a negyediktől a másodikra való átlépéskor meg a kékeszöldet stb. Íme most az atomok egyformák és mégis különféle színű fényt bocsáthatnak ki.

A fény elnyelése közben az elektron belső pályáról külsőre lép át, energiája nagyobbodik. Természetesen nem fogadhat el tetszésszerűt kicsiny energiamennyiséget, hanem csak akkorát, amekora legalább is a szomszédos pályára emeli át. Ez a körülmény ismét azt kívánja, hogy a fény a keringő elektron környezetében kicsiny térfogatban legyen összesűrítve,

vagyis kívánja a fénykvantumokat. Ha az atom közelékében sok elektron van, mint pl. a nagy atómsúlyú elemekében, akkor rengeteg sok színű fényt sugároz ki a test. Minthogy szükséges, hogy az elektronok előbb külső pályákra jussanak, hiszen csak visszateséskor sugároznak, ezért kell fényerjesztés végett a test hőmérsékletét emelni, mikor is belső részecskéi élénk mozgásba jutnak és az előbbi lehetőség fennforog. Azonban nem feltétlenül szükséges az atomokat mindenestül megmozdítani, elég sebesen futó elektronokat belőni a test belsejébe, ekkor is külső pályákra jutnak az elektronok, de a magok nem igen mozognak, s kisugárzódik a hideg fény. Sőt a testre eső fénykvantumok is okozhatnak hasonló jelenséget.



11. kép. A Bohr-féle elektronpályák (körök).

3. A hősugárzás.

A jól befűtött vaskályha közelében kezünk vagy arcunk alig bírja a meleget; nem azért, mert talán a levegő vezetni hozzánk a kályha hőjét, hanem azért, mert a hő sugárzás útján jut el hozzánk. A hősugárzás iránt szemünk érzéketlen, de bőrünk érzékeny. Minden test bocsát ki magából hősugarakat, de sugárzását feltűnően csak akkor érezzük, ha magas a hőmérséklete. Ennek emelésével együtt rohamosan erősödik a hősugárzás is. Ha a vaskályha fűtés közben izzani kezd, akkor hősugárzása kibírhatatlanul válik. A nap hősugárzása minden valószínűség szerint azért nagyon erős, mert igen magas a hőmérséklete. Hősugárzás közben a test mindig saját hőjének egy részét sugározza ki láthatatlan sugárzás alakjában, mely úgy válik ismét érzékelhetővé, hogy az elnyelő testben hővé alakul és annak hőmérsékletét emeli. Igen érzékeny készülékek sokkal csekélyebb hőmérsék letemelkedést megéreznek, mint pl. bőrünk; ilyenek a hőelemek, bolométerek stb.

Az üveg mindenféle színű fényt majdnem teljesen átenged. A hősugarakat azonban csak bizonyos mértékben bocsátja keresztül, minek az a legjobb bizonyítéka, hogy a napsütötte ablak felmelegszik. A víz és jég szintén csak részben bocsátja át a hősugarakat; a levegő ellenben jól keresztülengedi, minek következtében a légkör nem a napnak elnyelt hősugaraitól melegszik fel, hanem hővezetés útján a földtől, mely a hősugarakat elnyeli. A hősugarak a ködön is keresztüljutnak, mely a fényt teljesen szétszórja. A kősó, szilvin és kvarc nagyon jól át bocsátják a hősugarakat. Az emberi bőr felső rétegein is eléggé keresztülhatolnak a színekben a vörössel szomszédos hősugarak (lásd a 11. oldalt).

Egyébként a hősugarak törvényei majdnem teljesen megegyeznek a fénysugarak törvényeivel. Az egyenesvonalú terjedés, a visszaverődés, törés szabályai érvényesek rájuk is. Mikor elektromos ívlámpa vagy izzólámpa fényének színeképét különösen kősó- vagy kvarchasábbal állítjuk elő, a látható színek mellett

a vörös felőli oldalon még egy láthatatlan színképrész is megjelenik: ez a *hőszínkép*. Ennek jelenlétéről hosszú és bekormozott hagymájú hőmérővel győződhetünk meg. Még feltűnőbbben lehet szemléltetni a hőszínképet hosszúkás hőelemmel, melyet a vörösből kiindulva eltolunk a színkép előtt. Megjegyzendő, hogy nagyon magas hőmérsékletű test sugárzása-kor a legnagyobb melegítő hatás a látható színképbe is eshetik. Így pl. a nap színképében a sárgászöld sugaraknak van a legnagyobb melegítő hatásuk, azontúl a hőszínképben a melegítő hatás fokozatosan csökken*. A hősugarakkal elhajlási és sugárszövődési jelenségek éppen úgy előállíthatók, mint a fénysugarakkal. E célra különösen alkalmasak a fémrácsok. A sugárszövődés miatt lehetséges, hogy két hősugár egy helyre érkezve nem okoz meleget, hanem egymást kioltja, amiről persze nem szemünkkel, hanem érzékeny hőelemmel győződhetünk meg.

A hősugaraknak elektronkiváltó (fényelektromos) hatásuk alig van. Csak a legújabb időkben sikerült olyan különleges anyagokat előállítani, amelyek a vörös és vele szomszédos hősugarak beesésekor elektronjaikat kiröpitik. (Ilyen pl. a Caesopress nevű fényelektromos cella anyaga.) A hősugarak iránt érzékeny fényképezőlemezeket tudnak készíteni. A sugárnyomás nemcsak a fény sajátsága, hanem a hősugaraké is.

Mint hogy a hősugaraknak igen sok tulajdonsága megegyezik a fényével, jogosan tekinthetjük ezeket is elektromágneses hullámoknak és hullámhosszúságukat a sugárszövődés alapján meg is mérhetjük. E hullámok hosszúsága nagyobb, mint a vörös fényé, tehát a színképben a vöröshöz legközelebb eső hősugarak hulláma kb. 0.0008 mm hosszú; a vöröstől távolodva a hősugarak hullámhossza fokozatosan nagyobbodik; a leghosszabb hullámú hősugár, melyet eddig észleltek, a higanylámpában magas hőmérsékleten világító higany-

* Nem hasábbal, hanem ráccsal előállított színképre gondolunk. Az előbbi a színkép vörös részét összenyomja, az ibolyát pedig széthúzza.

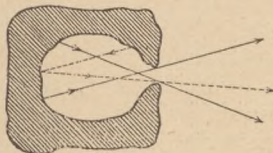
gőzből lép ki és hullámhossza 0.4 mm, tehát a legrövidebb hősugárhullámhossznak ötszázszorosa. A hősugarak rezgésszáma, vagyis a sugárzó forrásból másodpercenként kiinduló hullámok száma általában kisebb, mint a fényé, hiszen a hosszabb hullámokból kevesebb fér el a 300.000 km-es távolságon. A legnagyobb hősugárhullámhossz (0.4 mm) kb. ezerszer akkora, mint az ibolyafényé (0.0004 mm), tehát a legkisebb hősugárzási rezgésszám meg ezerszer kisebb, vagyis 800 billió helyett 800 milliárd. Még mindig elég tisztességes összeg lenne pengőben számítva! Ennek következtében a *hősugárkvantumok* energiája is általában kisebb, mint a fénykvantumoké, mert ez az energia egyenesen arányos a rezgésszámmal. A legkisebb hősugárzási kvantum energiája ezerszer kisebb, mint az ibolya kvantumé és ötszázszor kisebb, mint a vörös fényé. Egyébként a hősugárzás terén már csekélyebb jelentősége van a kvantumoknak, mint a fénysugarak körében. Minél hosszabb a hullám, annál inkább elhalványodik a sugárzásnak ú. n. kvantumosa arca.

Azt mondtuk, hogy a fényt az atomokban keringő elektronok sugározzák ki, miközben nagyobb pályáról kisebbre mennek át. Vajjon keletkezhetnek-e így hősugarak is? Hogyne! Azt már tudjuk, hogy minél közelebb esik a két pálya egymáshoz, annál kisebb a felszabaduló energia, tehát annál kisebb energiájú fénykvantumot, vagy annál hosszabb hullámú fényt sugároz ki az elektron átlépés közben. Nyilvánvaló, hogy ez a felszabaduló energia olyan csekély is lehet, hogy még vörös fénykvantumra sem elég; ilyenkor hősugarat lövell ki az elektron. Így pl. ha a hidrogénatom elektronja a negyedik vagy ötödik pályáról mindig a harmadikra lép át, hősugarak keletkeznek, melyeknek jelenlétéről a hidrogén színképében meg is lehet győződni. Azonban a hősugarak keletkezéséért az elektronokon kívül felelőssé tesszük az atommagokat is, sőt a molekulákat is. Ezek az elektromos töltésű részecskék is rezeghetnek, bizonyos tengely körül foroghatnak, miközben nagyobb energiájú állapotból kisebb energiájúba jutnak át és hősugarakat

lövellnek ki. Ilyen módon válik érthetővé, hogy a melegítés, mely az atómok és molekulák nyugalmát nagyon megzavarja, erőteljes hősugárzásra készíti a testeket.

Tapasztalni lehet, hogy a különféle anyagi minőségű, sőt a különféle felszíni tulajdonságú (érdes, síma) testek különböző erősségű hősugárzást bocsátanak ki még akkor is, ha *hőmérsékletük egyenlő*. Hogy erről meggyőződjünk, kormozzuk be fényes bádoglemez egyik oldalát és fafogóval gázláng fölött tartva melegítsük föl néhány száz fokra.

Ha most kormos oldalát fordítjuk egy érzékeny hőmérő felé, ez sokkal gyorsabban emelkedik, mintha a fényes oldalát mutatjuk neki. Általában véve ugyanazon a hőmérsékleten a sötét testek jobban sugároznak, mint a világosak



12. kép. A sugárzó üreg.

(ezért nem célszerű a fehér kályha). Azonban igen érdekes dolog, hogy a testek között e tekintetben fennálló különbséget egyszerű alaki változtatással meg tudjuk szüntetni. Ugyanis nem kell mást tenni, mint a testek belsőjébe *üreget vájni* és ezt kis nyílással ellátni (12. kép). Ha most az üreg falát állandó hőmérsékleten tartjuk, a nyíláson kilépő hősugárzás erőssége független az üreg falának anyagi minőségétől. Attól is független, hogy az üreg határfala belül fehér-e vagy fekete, hogy milyen az üreg alakja stb. Hogyan lehetséges ez? Úgy, hogy az üreg fala is sugárzik, s a belőle kilépő sugarak ugyancsak az üreg falára esnek és onnan részben vissza is verődnek. Ha a fal maga gyengén sugároz, akkor többet ver vissza és fordítva; így azután a nyílással szemben fekvő falrészről a lyukon keresztül kilépő sugárzás független a fal anyagi minőségétől. Még egy nevezetes tulajdonsága van ennek az üreghősugárzásnak. *Bármilyen testet melegítsünk is fel az üreges testtel egyenlő hőmérsékletre, felületének az előbbi lyukkal egyenlő részéből mindig gyengébb sugárzás lép ki, mint az üregből*. Természetesen mindezek az állítások érvényesek akkor is, ha az üreg falának a hőmérsékletét egészen az

izzásig fokozzuk, mikor már fénysugár is lép ki a nyíláson.

Az is régi tapasztalat, hogy a sötét testek jobban nyelik el a hősugarakat, mint a világosak; a fekete földeket jobban melegíti a nap sugara, mint a világosabb talajokat; a bekormozott hagymájú hőmérő magasabban áll a napon, mint a tiszta. Melyik test nyeli el legjobban a hősugarakat? A felelet nagyon egyszerű: az, amelyik minden ráeső sugarat elnyel. Ezt elég jól megközelíti a korom, de még jobban megközelíti az előbb említett üreg, illetőleg a rajta lévő lyuk. Ugyanis ha egy sugár a lyukon keresztül bejut az üregbe, neki megy a falának, részben elnyelődik, részben visszaverődik, majd újra neki megy a falnak s így tovább; nagy véletlen kell hozzá, hogy a lyukon ismét kijusson valami belőle. Mondhatjuk tehát, hogy a lyuk minden ráeső sugárzást teljesen elnyel, olyan, mint a *teljesen* (abszolút) *fekete* test felülete. Éppen ezért nevezik az üregből a lyukon kilépő sugárzást is *fekete sugárzásnak*, bár ez látható, ha az üreg fala izzik. A fekete sugárzás a természetben nagyon gyakori: a földben, az emberi és állati testben lévő üregek fekete sugárzással vannak tele.

Ez a fekete sugárzás igen fontos, mert ennek törvényei matematikai képletek alakjában ismeretesek. E törvények alapján azután a sugárzás erősségéből következtetni lehet a sugárzó test hőmérsékletére. A nem fekete testek sugárzása csak közelítőleg hódol e törvényeknek, de mégis ezeknek alapján következtetünk hőmérsékletükre a sugárzás erősségéből. Ilyen alapon becsüljük meg az égitestek hőmérsékletét is. Hogy a nap hőmérséklete 6000 C^0 körül van, az sugárzásának erősségéből következik. Akkor volna ekkora, ha a nap üreges test módjára sugároznék; ha nem, akkor esetleg magasabb. Tehát ez a hőmérséklet alsó határ. A fekete sugárzás azért is nevezetes a fizika történetében, mert ez keltette életre a kvantumelméletet.

4. A rádióhullámok. (Az elektromos és mágneses sugarak.)

Említettük már (14. oldal), hogy mindenféle vilanyszikra környezetében elektromos és mágneses erők lépnek fel, melyek óriási sebességgel mind nagyobb és nagyobb távolságra jutnak el, természetesen meggyengülve, és ott elektromos és esetleg mágneses hatást keltenek. Ez abban áll, hogy drótokban és fémtárgyakban, gyenge elektromos áramot indítanak, mely viszont érzékeny mágnesűt kimozdíthat egyensúlyi helyzetéből stb. Azt mondjuk, hogy az elektromos szikra helyéről elektromágneses hullámok vagy sugarak indulnak ki. Hogy e kifejezés alatt mit értünk, azt részletesen leírtuk a 15. oldalon. Bár a fény- és hősugarakat is ilyeneknek tekintjük, ezt az elnevezést mégis az elektromos és mágneses hatásokat kiváltó sugarakra tartjuk fenn. Szemünk és más érzékszerveink e sugarak iránt érzéketlenek.

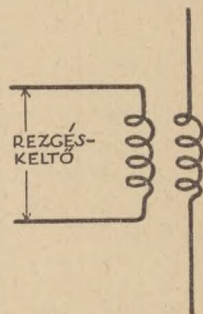
E sugarak keletkezésének feltételét könnyen megszabhatjuk. Ugyanis az elektromos szikra igen szaporán váltakozó elektromos áram, mégpedig a váltakozások száma másodpercenként többnyire milliórendű (a közönséges városi váltakozó áramé ellenben kb. 100). Tehát azt mondhatjuk, hogy az elektromágneses hullámok szülőhelye a szaporán váltakozó elektromos áram. Minthogy ezt *elektromos rezgésnek* is nevezik, előbbi állításunkat úgy is kifejezhetjük, hogy az *elektromágneses hullámokat elektromos rezgés kelti*. Mégpedig a tapasztalat szerint különösen akkor sugárzik jól az elektromos rezgés, ha nem zárt áramkörben, hanem egyenes drótdarabban (nyitott áramkörben) játszódik le. Az ilyen drótot antennának, vagy magyarul hullámkeltőnek (esetleg hullámküldőnek) nevezzük.* Az antenna nem sugárzik minden irányban egyenletesen, hanem leg-erősebb a sugárzás a reá merőleges irányokban és leggyengébb az antenna irányában.

Gyakorlati szempontból (rádió) fontos, hogy az antennában szép egyenletes rezgések legyenek, mert

* Egyébként antenna = csáp, vitorlarúd.

akkor lesznek szabályosak a kibocsátott hullámok is. Ilyen egyenletes rezgéseket a rádiólámpa segítségével lehet előállítani. Nem részletezzük e nagyjelentőségű készülék leírását, csak annyit említünk meg, hogy a rádiólámpát elektromos áramforráshoz kapcsolják és az áramkörbe dróttekereseket és sűrítőt iktatnak közbe. Meglepő, hogy ekkor az áramkörben nem folyik állandó áram, hanem az áramerősség szép szabályosan ingadozik, lüktet. Hasonló eset fordul elő az elektromos csengő áramkörében is, de lassúbb ütemben: az áram zárul, majd megszakad s így tovább.

Ha az antennába dróttekereset iktatunk (13. kép) és ezt a rádiólámpa áramkörének közelébetesszük, akkor elektromos indukció útján az antennában is szabályos elektromos rezgés keletkezik és elektromágneses hullámok indulnak ki belőle, mégpedig szép szabályos hullámvonallal ábrázolható, úgynevezett csillapítatlan elektromos hullámok (16. kép). Szóval a rádiólámpa termeli, az antenna pedig szétküldi a hullámokat.



13. kép. Elektromos rezgések keltése az antennában.

De ne gondoljuk, hogy az elektromos és mágneses hullámok csak az imént leírt mesterséges berendezésből lépnek ki. Mindig, mikor az elektromos áramban változás lép fel, elektromos és mágneses hatás indul ki a változás helyéről. Csak-hogy e hatást nem hullámnak, hanem elektromágneses zavarnak vagy lökésnek nevezzük. Tehát minden elektromos lámpa meggyújtásakor és eloltásakor, elektromos motorok be- és kikapcsolásakor, a villamosok lantjának szikrázásakor, villámláskor (mely sokszor a nagy távolság miatt nem is látható) stb. elektromágneses zavar keletkezik. Ekkor a zavar helyéről nem szabályos hullámvonal indul ki, hanem alakatlan hullámcsomók. Az elektromágneses hullám és zavar között olyanféle különbség van, mint a rezgő húr szép

egyenletes hangja és a kalapácsütés vagy az ostopattanás között.

Az elektromos hullámokat keltő rezgések száma másodpercenként többnyire milliórendű, míg a fényrezgéseké százbilliórendű. Tehát az elektromos hullámok hosszúsága általában sokszor nagyobb, mint a fényhullámoké: méter- vagy százméterrendű. Ezeket a hullámokat hosszúságuk szerint több csoportba osztják, melyek különösen terjedésüket illetőleg különböznek egymástól. Az első csoportba tartoznak azok, melyeknek hullámhossza 200 méternél nagyobb; ezek a *hosszú hullámok*. A második csoportba tartoznak a *közepes hullámok*, melyeknek hossza 100 és 200 méter közé esik; a harmadik csoportban foglalnak helyet a *rövid hullámok* 10 és 100 méter közé eső hullámhosszal; a negyedik csoport 1 és 10 méter között a *nagyon rövid (túlrövid)* hullámok birodalma; végül az egyméteres hullámhossz alatt van a *kicsiny* vagy centiméteres hullámok tartománya.

Először a *hosszú hullámokkal* foglalkozunk, melyek különösen azért érdekelnek bennünket, mert a legtöbb rádióállomás antennája ilyeneket sugároz ki a térbe; pl. a budapesti I. állomás hullámhossza 550 méter, a II-é 835 méter; ennél jóval hosszabb, 1724 méteres hullámokat lövell ki a moszkvai I. állomás. E hosszú hullámok és a fény, továbbá a hőhullámok között az a legfeltűnőbb különbség, hogy ezek nem terjednek egyenes vonal mentén, hanem az útjukba eső akadályokat (dombokat, hegyeket stb.) megkerülik olyanformán, mint a hanghullámok. Ezenfelül terjedésük közben követik a föld görbületét, különösen jól terjednek a tengervíz fölött. Ha szigorúan vagy csak közelítőleg is egyenes vonal mentén haladnának, akkor a föld felszínén nem juthatnának el távoli helyekre.

A légkör állapota hatással van a hullámok terjedésére. Mindenekelőtt fontos a légkör elektromos vezetőképessége. Ha ez valamilyen oknál fogva számottevő, akkor az elektromos hullámok nem tudnak olyan mértékben áthatolni rajta, mint a szigetelőnek minősíthető levegőtömegben. Ugyanis a hullámok hatására gyenge

elektromos áramok indulnak meg, melyek csekély hőt termelnek, s végül is azt mondjuk, hogy a légtömeg elnyelte a hullámokat. Mikor fordul ez elő? Mindig, valahányszor a nap erősen süt, mert különösen a napfény ibolyántúli része a levegő elektromos vezetőképességét fokozza, ugyanis elektronokat hasít le a molekulákból, vagyis ionozó hatást fejt ki. Tehát nyilvánvaló, hogy nappal, különösen felhőtlen égbolt alatt, gyengébben terjednek az elektromos hullámok, mint éjjel; az éjszaka, különösen az éjfélutáni időszak kedvező az elektromos hullámok terjedésére. Minthogy a téli hónapokban az ibolyántúli sugárzás is gyengébb, mint nyáron, ezért a tél általában kedvezőbb a hullámok terjedésére, mint a nyár. Természetesen az ibolyántúli sugarakon kívül még másféle sugarak is okozhatják a levegő elektromos vezetőképességét: így egyes területeken a talajból és forrásokból kiinduló radioaktív sugárzások (l. 50. oldalt), továbbá a nem régen felismert kozmikus sugárzás (l. 54. oldalt). A meteorológiai tényezők közül a felhőzet kedvező a hullámok terjedésére, mert az ionozó hatású napsugarakat elnyeli. Ellenben kedvezőtlen a nedves és poros szél, továbbá a villámokban bővelkedő zivatar, hiszen a villámoknak jelentős ionozó hatásuk van. — Az elektromos áramot nem vezető (szigetelő) anyagokon csekély veszteséggel keresztülhaladnak az elektromos hullámok; így pl. a házak téglafala átlátszónak tekinthető reájuk nézve; ellenben a vasbetonfal vagy a bádogháztető már jelentős akadályt gördít útjukba. Fémlemezebe a hullámok alig hatolnak be, hanem visszaverődnek róla, mint a hang a falról; azonban benne gyenge elektromos áramot keltenek, akárcsak a drótokban (antennákban). Ha egy testet a fény hatásától védeni akarunk, fekete papírburokba tesszük; ha pedig az elektromos hullámok hatásától akarjuk megóvni, fém-burokba rejtjük (árnyékoljuk, árnyékolt antenna-levezetések stb.).

Az elektromos hullámoknak fémlemezekről és más jól vezető rétegekről való visszaverődése nagy szerepet játszik a hullámoknak a föld felszínén való terjedésében.

Ugyanis a tapasztalat szerint a hullámok erőssége a gerjesztési helytől nagyobb távolságban nagyobb, mint amekkorának a számítások szerint lenni kellene. Viszont máskor meg rövid időre teljesen elvész a hullám, mintha csak gerjesztése pillanatokra szünetelne, majd újból teljes erővel jelentkezik. Ez a jelenség a rádiókészülékekben a hang gyengülésében nyilvánul és *elhalkulásnak* (angol szóval *fading-nek*) nevezik.

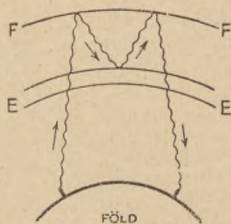
Az első tapasztalat úgy magyarázható meg, hogy a hullámkeltő állomásról az észlelés helyére nemcsak közvetlenül a föld felszínén érkezik hullámok, hanem még más úton is. De hogyan? Úgy, ahogyan egy szabadon álló lámpának a mennyezet felé sugárzott fénye a szoba padlójára juthat. Ez úgy történ-



14. kép. Az elektromos hullámok visszaverődése magasan lévő vezető rétegről.

hetik meg, hogy a fölfelé induló fény útjába tükröt tartunk, mely a fénysugarakat visszaveri és a szoba padlójára tereli. Tehát az elméletinél erősebb sugárzás észlelése valamely helyen arra a föltevésre késztet, hogy valahol a légkör magasabb részében visszaverő réteg van, mely a fölfelé induló elektromos hullámokat visszatereli a földre, minek következtében ott erősebb lesz a sugárzás, mintha csak a föld felszínén jutnának oda a hullámok (14. kép). Ilyen visszaverő réteg létezését közvetlen kísérlettel is lehet igazolni. E végett rövid ideig tartó rádiójeleket, úgynevezett pontjeleket adnak és megfigyelik ezeknek a megérkezését az észlelés helyére, egyrészt a talajmenti hullámok, másrészt a felülről visszavert hullámok útján. A második jel késéséből ki lehet számítani a visszavert sugár (görbe) útjának hosszát és így meg lehet becsülni a visszaverő réteg magasságát. Egyes különleges visszaverődési esetekből arra is következtetnek, hogy nemcsak egy, hanem két (vagy esetleg több) ilyen visszaverő réteg is van. A legalsó réteg körülbelül

100 km magasan van a föld felett és vastagságát 10 km-re becsülik, neve *E*-réteg; e fölött körülbelül 250 km magasságban van egy második réteg, melynek neve *F*-réteg; lehet még több is. Ezek nem lehetnek mások, mint igen nagy mértékben ionozott, tehát vezetővé tett gágrétegek, melyek nagyfokú vezetőkéességüket a nap ibolyántúli sugarainak és esetleg a naptól a föld felé áramló elektronoknak köszönhetik. Két ilyen réteg között természetesen többszörös visszaverődés is előfordulhat, míg végül



15. kép. Az elektromos hullámok többszörös visszaverődése (M visszaverődés).

a sugárzás alkalmas helyen keresztülhatol a legalsó rétegen és visszajut a földre (15. kép). Ezeket a visszaverő rétegeket együttesen *Kennelly* és *Heaviside*-féle rétegnek is nevezik.

Ilyen rétegekkel megmagyarázhatjuk az említett elhalkulási jelenségeket is. Ha ugyanis az észlelés helyére többféle úton (a föld felszínén és a felső rétegről visszaverődve) érkeznek ugyanannak a sugárzó forrásnak a hullámai, akkor ezekkel megtörténhetik az, ami a különböző utakon haladó, de végül összetalálkozó hullámokkal vagy fénysugarakkal: a hullámhegyek völgyekre esnek, tehát a hullámok egymást lerontják és hatásuk nem észlelhető. Minthogy a tartós lerontásnak az a feltétele, hogy a hullámok tartósan egyformák legyenek, belátható, hogy az elhalkulás többnyire csak rövid ideig tart. Ugyanis nem várhatjuk, hogy a változó légköri viszonyok között az összetalálkozó hullámok megegyezése olyan tartósan fennmaradjon, mint a kis részből kiinduló fénysugaraké. Az elhalkulás szempontjából a hosszúhullámú sugárzó forrás körül négy tartományt (zónát) szokás megkülönböztetni. Az első tartományban, amely körülbelül 100 km sugarú kör, a talajmenti hullámok jóval erősebbek, mint a visszavertek, tehát az elhalkulás lényegtelen; a második tartomány az első határától körülbelül

150 km-es körig terjed, melyben az elhalkulás a legfeltűnőbb, mert a talajmenti és a visszavert hullámok körülbelül egyenlő erők; a harmadik zóna határa az előbbtitől körülbelül 3—400 km-ig terjed, benne már gyengébb az elhalkulás, végül a 3—400 km-es sugarú körön kívül eső negyedik tartományban teljesen jelentéktelen.

Az elektromos hullámok második csoportja, melybe a 100 és 200 m közé eső hullámok tartoznak, átmenetet képez a 10-től 100 m-ig terjedő rövidhullámú tartományba, vagyis a második csoport hullámai részint a hosszú, részint az említett *rövid hullámok* módjára viselkednek. Ezért most ez utóbbiakkal foglalkozunk.

A 10 és 100 méter közé eső rövid hullámok különösen akkor jönnek szóba, mikor igen nagy távolságra akarunk elektromos hullámokat küldeni. Ezeknek a terjedése nagy mértékben különbözik a hosszú hullámokétól. Ugyanis a talajmenti hullámok a sugárzó forrástól kisebb távolságban már teljesen elenyésznek, úgyhogy távolodáskor hamarosan egy csendes vagy sugármentes tartományba jutunk; majd nagyobb távolságban hirtelen ismét megjelennek a hullámok,* de ezek nem a föld felszínén, hanem a Heaviside-féle rétegről visszaverődve érkeznek az észlelés helyére; esetleg több visszaverődésre is lehet gondolni az ionos rétegek között. Érdekes dolog az is, hogy körülbelül 75 m-es hullámhosszúságig éjjel jobban terjednek a hullámok, mint nappal; ellenben a 10 és 30 m közé eső hullámoknak meg a nappal kedvezőbb, mint az éjszaka. A rövid hullámok körében időnként igen erős elhalkulás lép föl.

Az 1 és 10 m közé eső *nagyon rövid* elektromos hullámok már majdnem szigorúan egyenes vonalak mentén terjednek, akárcsak a fény- és hősugarak. Ennek következtében annál messzebb eljutnak, minél magasabb helyről indulnak ki, ha egyébként elég erős

* Ez a nagyobb távolság 20 m-es hullámok esetében kb. 800 km, hosszabb hullámokra kisebb, rövidebbekre még nagyobb.

a gerjesztésük. Hátrányos tulajdonságuknak mondható, hogy a magasan lévő Heaviside-féle rétegről nem verődnek vissza és nem jutnak kerülő úton nagyobb távolságban vissza a földre. (Igaz, hogy egyes kutatóknak ellenkező tapasztalataik vannak.) Ez a körülmény, amellyel elég kicsiny hatástávolság (50—100 km) jár együtt, különösen azért hátrányos, mert ezek a hullámok a legalkalmasabbak a távolbalátásra és képeknek elektromos sugarak útján való közvetítésére.

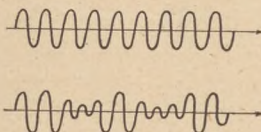
Az 1 méter alá eső, centiméteres vagy *kicsiny* hullámok viselkedése még jobban hasonlít a fény- és hőszugarakéhoz, mint az előbbieké. Ilyenekkel nagyon jól lehet kísérletileg igazolni az elektromos sugarak visszaverődését fémlemezekről, törését szigetelő anyagból készült hasábbal, összegyűjtését fémtükrökkel, szigetelő lencsékkel stb., mint azt *Hertz Henrik*, az elektromos sugarak nagynevű kutatója tette. Nagy előnyük, hogy sugárnyalábok alakjában olyan jól terelhetők és irányíthatók, mint a fény. Sőt a fényvel szemben előnyük, hogy a ködön, sűrű esőn áthatolnak, melyekben a fénysugár menthetetlenül elpusztul. Sajnos, ezek a kicsiny hullámok rádiólámpával nehezen állíthatók elő, inkább csak alkalmas szikraközzel.

Érdekes dolog, hogy az olyan elektromos sugarakat, mint a fény- és hőszugarak, érzékszerveinkkel fel tudjuk fogni, ellenben a tulajdonképeni elektromos sugarak felől semmiféle érzékszervünk nem tájékoztat, úgyhogy e sugarak jelenlétéről külön felfogóeszközökkel szerezhetünk tudomást. Ezek a felfogóeszközök majdnem kivétel nélkül azon alapulnak, hogy az elektromos hullámok fémekben (drótokban), melyekre ráesnek, rendszerint gyenge, váltakozó elektromos áramot indítanak. Ennek a jelenlétét többféleképen lehet észlelni. Így például érzékeny hőelektromos elemmel az áram melegítő hatása alapján; esetleg kis izzólámpával, ha a sugárzás elég erős; nagyon kényelmes jelzőkészülék a kristálydetektoros áramkör: ha ebbe a telefonkagyló helyett érzékeny árammutatót iktatunk be, ennek mutatója kitér, gyenge áramot jelez. Azonban azokat a gyenge áramokat, melyeket sok száz

vagy ezer kilométer távolságból érkező hullámok okoznak az antennákban, rádiólámpákkal úgyszólván tetszés szerint lehet erősíteni, úgyhogy az erősített áramok hatalmas hangszórókat tudnak működésbe hozni.

Az elektromos hullámok nagyon jól felhasználhatók a hang szállítására : a beszédet, éneket, zenét olyan élethűen tudják eljuttatni óriási távolságokra, hogy méltán ébresztenek csodálatot bennünk. Sőt felruhazzák a hangot még egy új képességgel is : terjedési sebességét kereken milliószorosára emelik ; ugyanis a hang

a hullámok révén olyan gyorsan jut el egyik helyről a másikra, mint maguk a hullámok. A hullámokat a hang szállítására a következőképen lehet felhasználni. A hullámkeltő állomás antennájából mindaddig, amíg a hangközvetítés meg nem kezdődik, szép



16. kép. Az antennából kiinduló csillapítatlan hullámok (felül) és a hang által módosított hullámok (alul).

szabályos hullámok indulnak ki (16. kép). Mikor a hangközlés megindul, a hullámok alakja megváltozik : nagy és kicsiny hullámokból álló hullámcsoportok követik egymást ; e hullámcsoportok száma a közölt hang magasságától (rezgésszámától) függ : magas hang esetében sűrűn következnek egymás után a nagy- és kishullámú csoportok, mély hang esetében pedig ritkábban ; egy-egy csoportban több száz vagy ezer elektromos hullám is lehet. Ha a hullámcsoportok szélét folytonos vonallal összekötjük, sajtószerű, csipkére emlékeztető kép tárul elénk ; ennek a csipkének az alakja, szélének változatos menete a hang színezetétől függ ; ez a művész egyéniségének bélyege az elektromos hullámokon. Tehát ne felejtjük el, hogy rádiózáskor nem a hanghullámok jutnak el például Rómából Budapestre, hanem az elektromos hullámok ; a hang csak módosítja ezeknek az alakját, mást nem tesz ; ezt a módosítást a hullámok modulációjának is nevezik.

A hullámfelfogó állomáson a hangot kihámozzák ezekből a változatos alakú hullámokból. A hullámok

természetesen nem tehetnek mást, mint elektromos áramot indítanak a felfogó állomás antennájában ; de ez az áram éppen olyan változatos, mint a hullámok alakja. Ezt az áramot, mely már magán viseli a közvetítendő hang jellegét, előbb erősítik, majd pedig telefonkagylóban vagy hangszóróban hang keltésére használják fel.

Aki rádiójában valamilyen szép éneket vagy hegedűjátékot hallgatott, bizonyára vágyott látni a távoli művészt is, legalább egy pillanatra. A rádió tudósai is átélték ezt a vágyat és ez is készítette őket arra, hogy a hang mellett a *kép közvetítését* is lehetővé tegyék. Természetes dolog, hogy ez is csak az elektromos hullámok módosítása által valósítható meg. Mégpedig alkalmas berendezéssel a képet alkotó különféle árnyalatú képpontokat használják fel arra, hogy az elektromos hullámok alakját megváltoztassák : így például a sötétebb képpontnak kicsiny hullámú csoport, a világosabb pontnak nagyobb hullámú csoport feleljen meg. Az ilyen hullámok a közvetített kép mását viselik magukon és belőlük a felfogó állomáson kihámozható ez a kép.

Az elektromos hullámoknak még egy nevezetes gyakorlati alkalmazására is lehet gondolni. A nap fény- és hősugarai óriási energiamentységet szállítanak a földre. Vajjon nem lehetne-e irányított elektromos hullámokkal *nagyobb mennyiségű energiát szállítani* a föld egyik helyéről a másikra. Ekkor fölöslegessé válnék a költséges távvezeték és az energia szállítása eljutna a legtökéletesebb alakjába. Ez egyelőre még csak ábrándkép !

A hullámok természetéről alig kell valamit mondanunk, mert a 15. oldalon részletesen foglalkoztunk a bennük szereplő erőkkel. Legfeljebb csak annyit jegyezhetünk meg, hogy az elektromos és mágneses erők iránya a sugár terjedése közben bonyolult módon változhatik a sugár körül. A sugárkvantumok (fotonok) jelentősége is teljesen eltűnik e hosszú elektromágneses hullámok körében ; ezeket a hullámokat a régi folytonos hullámelmélet és világfelfogás alapján lehet kezelni.

5. Az ibolyántúli sugarak.

Nem kell más hozzá, csak fürdés után egy kis sütkérezés az égető nyári napon, s bőrünk hamarosan megvörösödik, majd később megbarnul. A színes ruhák megfakulnak a tartós napfényen, ezért védik a kereskedők kirakataikat az erős napsütés ellen. Minthogy az eddig megismert sugárzásoknak ilyen hatása nincs, kell, hogy a nap sugárzásának még egy újabb alkotórésze is legyen. Ez új alkotórész jelenlétéről úgy győződhetünk meg, hogy a nap színeképét fényképezőlemezre ejtjük, melyen megjelöljük az ibolya határát. Legnagyobb meglepetésünkre a fényképezőlemez előhívás után az ibolyán túl eső részen is megfeketedik, sőt a feketedés erősebb, mint a sárga vagy vörös szín helyén. Ha pedig a nap színeképét az emberi testre ejtjük, az élettani hatás ugyancsak az ibolyán túl jelentkezik feltűnően. Tehát kétségtelen, hogy a nap sugárzásában olyan alkotórészek is vannak, melyek a színeképben az ibolyán túl levő területre esnek, láthatatlanok, de jelentős élettani és vegyi hatásuk van (fényképezés). Ezek az alkotórészek az ibolyántúli sugarak.

E sugarak tulajdonságainak tanulmányozása végett szükséges, hogy ezeket mesterséges földi fényforrásokkal is elő tudjuk állítani. Ilyenek az elektromos ívlámpák különösen akkor, ha fénoxidokat tartalmazó szénrudak vagy fémrudak vannak bennük, továbbá a higanyt, kadmium-, cinkamalgámot tartalmazó ívlámpák stb.; bővelkednek az ibolyántúli sugarakban a fémrudak között átütő elektromos szikrák is.

Az ibolyántúli sugarakra érvényesek mindazok a fizikai törvények, melyeket a fényre megállapítottunk: szóval érvényes az egyenesvonalú terjedés, a visszaverődés, törés törvénye; körükben is észlelhető a sugár-elhajlás, összeszövődés jelensége stb. Tehát az ibolyántúli sugarakat is elektromágneses sugaraknak tekinthetjük. Azonban meg kell jegyezni, hogy a közönséges üveg nem nagyon bocsátja át az ibolyántúli sugarakat, ellenben jól keresztülengedi a kvarc, fluorit. Éppen

ezért a sugarak tanulmányozásához kvarchasábokat és kvarclencséket használnak. Hullámhosszúságukat is ilyen lemezre karcolt ráccsal vagy fémráccsal mérik meg. Az ibolyántúli sugarak hullámhosszúsága 0·0004 mm-nél, vagyis 0·4 mikronnál (400 millimikronnál) kisebb. A mérések alapján kiderült, hogy a közönséges üveg csak 0·350 mikronig engedi át az ibolyántúli sugarakat, az uviolüveg 0·250 mikronig, ezen túl már kvarcot kell használni.

A kvarchasábbal előállított *napszínkép* földünk felszínén kb. 0·290 mikronig terjed, magas hegyeken a határ még kissé a rövidebb hullámok felé tolódik el és az egész ibolyántúli sugárzásrész jelentékenyen erősödik. Ebből arra következtethetünk, hogy a levegő a sugárzást nagy mértékben elnyeli; ezt bizonyítja az is, hogy magas hegyeken, gleccsereken sokkal gyorsabban bekövetkezik a napbarnulás, mint lent a föld színén. *Belák Sándor* közlése szerint (Orvosképzés, 1930. évf.) a naptól a földre jutó sugárzás energiája — ha a légkör elnyelését elhanyagoljuk — úgy oszlik meg, hogy az energia 43%-a esik a hősugarakra, 52%-a a látható fényre és 5%-a az ibolyántúli sugárzásra. A levegő elnyelése, szétszórása azonban megváltoztatja a viszonyokat, úgyhogy a valóságban a föld felszínén az energia 60%-a jut a hősugarakra, 39%-a a fényre és 1%-a az ibolyántúli sugarakra. Tehát a légkör leginkább az ibolyántúli sugarakat akadályozza meg abban, hogy a földre jussanak. Ez abban is megnyilvánul, hogy a légkör külső határán a napsugárzás színképében* legerősebb a kék szín, melynek hullámhossza 0·480 mikron körül van; ellenben a föld felszínén már eltolódás észlelhető: ugyanis itt legerősebb a sugárzás a sárgászörsben, mert a kék és az ibolyántúli rész energiája a légkör elnyelése és szétszóródása miatt csökkent, ellenben a sárgától a hősugarakig a sugárzásnak ilyenféle gyengülése elhanyagolható. Nem érdektelen megemlíteni, hogy a klorofill sugárelnyelése — amely a növényvilágban az áthasonítás szempont-

* L. a 21. oldal lábjegyzetét.

A kvarc-higanylámpa ibolyántúli színeképe kb. 0·220 mikronig terjed. A 0·200 mikronnál rövidebb hullámokat a kvarc is, meg a levegő is, sőt a fényképezőlemez zselatinrétege is kezdi elnyelni, ezért ezt a színképi részt légüres térben vizsgálják. Sugárzó forrásnak fémszíkkrákat (különösen aluminiumszíkkrákat) használnak, a színeképet visszaverő fémrácsokkal állítják elő. Ilyen módon sikerül 0·010 mikron = 10 millimikron = 100 Ångströmnél (Å) rövidebb hullámú ibolyántúli színeképvonalakat is észlelni. Viszont ebben a tartományban már igen lágy Röntgen-sugarakat is észleltek, tehát a két sugártartomány át van hidalva.

Tanulmányozzuk most az ibolyántúli sugarak *hatásait*. Azt már tudjuk, hogy az ibolyántúli sugárzás bőrgyulladást és barnulást okoz, meg hogy a fényképezőlemezre is hat. Most előbb még két fizikai tulajdonságával ismerkedünk meg. Ha a nap vagy egy ívlámpa színeképét nem fényképezőlemezre ejtjük, hanem pl. báriumplatincianürrel bevont papírlapra, azt tapasztaljuk, hogy ez az anyag a színekép ibolyarészén túl még ott is világít, ahol előbb a fényképezőlemez megfeketedett; mégpedig kékes-ibolya színben világít és azt a látszatot kelti, mintha a színekép ibolyaszakasza meghosszabbodott volna. Ez a jelenség — mint tudjuk — a fluoreszcencia. Sokféle anyag van, amely világít az ibolyántúli fény hatására, azért a *fluoreszcencia* vagy *fénykeltő* hatást az ibolyántúli fény egyik jellemző tulajdonságának tekintjük.

Már többször szóba került az ibolyántúli sugárzás *ionozó hatása*; most ezzel foglalkozunk egy kicsit. Ionozásról többnyire gázok körében beszélünk és föltevésünk szerint azt értjük alatta, hogy a sugárzás az elektromosan közömbös állapotú atomok vagy molekulák kötelékéből egy vagy több elektront távolít el, minek következtében a gázban szabadon mozgó pozitív töltésű anyagrészekék és negatív töltésű elektronok jelennek meg, melyek elektromos erők hatására vándorolni kezdenek; ekkor azt mondják, hogy a gázon elektromos áram halad át, a gáz elektromos vezetőképességre tett szert. Természetesen folyadékban és

szilárd testben is előfordulhat az, hogy a sugárzás elektronokat szabadít ki az atómkötélekből, melyek esetleg egészen el is hagyhatják a testet (fényelektromos jelenség). Az ibolyántúli sugárzásnak elég nagy mértékben megvan ez az elektronkiváltó képessége, minek magyarázatát a fénykvantumok elmélete alapján lehet adni. Ugyanis az elektronok kiszabadításához az atómkötélekből bizonyos energiamennyiség szükséges és a kiszabadítás akkor sikerül, ha ez az energia az elektronnak pillanatnyilag rendelkezésére áll. Föltevéssünk szerint egy fénykvantum energiája egyenesen arányos a sugárzás rezgésszámával; minthogy a rezgésszám folyton nő, miközben a hullámhosszúság csökken, minél beljebb megyünk az ibolyántúli színeképrészben, annál nagyobb lesz a rezgésszám és egyúttal annál nagyobb lesz egy-egy fénykvantum energiája. Ha pedig ez elég nagy, semmi akadálya sincs az elektronkiváltásnak. Az újabb nézetek szerint tulajdonképen mindenféle sugárhatás abban áll, hogy az anyagi kötélekben lévő elektronok a sugárzásból energiára tesznek szert és ezt az energiát fordítják további változások előidézésére, melyek kémiai természetűek is lehetnek.

Most még részletesebben kell foglalkoznunk az ibolyántúli sugárzás *életteni hatásának fizikai vonatkozásaival*. Legelőször is megállapítjuk, hogy a felégés, megbarnulás kezdődik a 0·313 mikron hullámhosszúságnál, legnagyobb értékét éri el 0·303 és 0·297 mikron között; e tartományon túl csökken a hatás, 0·280 mikronnál a legkisebb, majd 0·250 mikronon túl ismét emelkedik; ez a tartomány azonban a földre jutó napsugárzásban nem igen jön tekintetbe, legfeljebb mesterséges sugárzó források fényében.

Az ibolyántúli sugárzás egyik legfontosabb életteni hatása a csontképződés előmozdítása és egyúttal az angolkór (rachitis) megakadályozása az emberi és állati szervezetben. Az angolkór megakadályozására — mint ismeretes — D-vitamin szükséges, mely a szervezetben az ergosterin nevű alapanyagból képződik az ibolyántúli sugárzás hatására. Nyilvánvaló, hogy ezt az átalakulást csak az elnyelt sugárzás okozhatja. Az ergosterin

sugárelnyelése kezdődik 0·310 mikronnál, legnagyobb 0·280 és 0·270 mikron-nál, majd hirtelen csökken. A napnak földünkre jutó sugárzása még éppen tartalmazza ezeket a sugarakat, de még nagyobb mértékben előállíthatók mesterséges sugárzó forrásokkal, pl. higanylámpával, tehát érthető a kis gyermekek „kvarcolásának” előnye. Megjegyzendő, hogy az ergosterin sugárelnyelése a vörösön túli színeképzésben is számottevő, mégpedig 2·5 és 4·5 mikron között; legnagyobb az elnyelés 3·8 mikronnál. A tapasztalat szerint maguk ezek a hősugarak nem tudnak az ergosterinből D-vitamint termelni, azonban nagyon fontos és érdekes, hogy az említett ibolyántúli sugarak hatása sokkal gyorsabb lefolyású, ha egyidejűleg az utóbbi hősugarak is ráesnek a szóbanforgó anyagra. Minthogy a D-vitamin az állatok fejlődésében is fontos szerepet játszik, újabb takarmányokat is (pl. kukoricadarát, árpa-, napraforgó- és tökmagpogácsát stb.) besugároznak ibolyántúli fényvel. Ezenfelül az emberi test életműködésére vonatkozólag még sokféle előnyös hatást tulajdonítanak az ibolyántúli sugaraknak, azonban ezekre nem terjeszkedhetünk ki.

De meg kell emlékeznünk e sugaraknak baktériumölő hatásáról: tífusz, kolera és más bacillusok nagyobb sugáradag hatására elpusztulnak, mégpedig különösen a 0·270 mikronnál rövidebb hullámú sugarak okozzák ezt. Ezt a jelenséget gyakorlatilag is felhasználják ivóvíz, tej fertőtlenítésére.

6. Az élőszervezet láthatatlan sugárzása (mitogenetikus sugárzás).

Az újabb időben az ibolyántúli sugaraknak még egy új hatást is tulajdonítanak: *előmozdítják a sejtek osztódását*. Ezt a gondolatot *Gurwitsch* vetette föl és kísérletekkel is igyekezett alátámasztani. Ugyanis ő azt tapasztalta, hogy a hagymagyökér a közelébe helyezett másik hagymagyökér sejteinek osztódását előmozdítja. A jelenség okának a hagymagyökérből kiinduló sugárzást tekintette, melynek hullámhosszú-

ságát 0·220 mikronra becsülte, tehát a sugárzást ibolyántúli sugárzásnak tartotta. Az ő kísérletei nyomán megvizsgáltak sokféle életfolyamatot és az élőszervezetnek sokféle alkotórészét, vajjon bocsát-e ki ilyenféle sugarat. A vizsgálat úgy folyt le, hogy a sugárzás sejtosztódást előmozdító hatását figyelték meg. Kiderült, hogy különösen jelentős a vér sugárzása, melynek hullámhossza 0·190 és 0·200 mikron közé esik; feltűnően sokféle színeképsávot sugárzik ki a látóideg, a rosszindulatú daganatokból készített pép stb. A kutatók fizikai módszerekkel is igyekeztek meggyőződni e sugarak létezéséről. E végett a sugaraknak elektronkiváltó (ionozó) hatását figyelték meg, a legérzékenyebb mérőeszközt (számlálócsövet) és a legkülönbélebb sugárzóforrásokat (hagymagyökeret, békaszívet, vért, csirkeembriót stb.) használva. Az eredmény néha kedvező, néha pedig kedvezőtlen volt a mitogenetikus sugárzás létrehozásához. Úgyhogy sok kutató kétségbe vonja e sugárzás létét. A kísérletek szerint a mitogenetikus sugarak a 0·190—0·240 mikron színeképi tartományba esnek, tehát vékony üveglemez és zselatinréteg is elnyeli őket, ellenben több mm vastag kvarclemmez nem. A fényképezőlemezekre gyakorolt hatásukat eddig nem sikerült észlelni.

De ha valóban van is ilyen sugárzás, még akkor is külön meg kell vizsgálni, hogy a sejtosztódás fokozódása e sugarak hatásának a következménye-e, nem-e valami más biológiai tényezőé. Erről is meggyőződtek a kutatók. Ugyanis higanylámpa fényével — elkülönítve az említett színeképi tartományt — sikerült a sejtosztódás fokozódását elérni; túlságosan nagy sugáradag azonban pusztulást okozott.

Tisztán fizikai szempontból annyit mondhatunk, hogy az életet, mely atómoknak és elektronoknak folytonos helyváltozásával, új csoportosulásával jár együtt, kísérheti ibolyántúli sugárzás is; hiszen hogy sokszor fénysugárzás (lumineszcencia) és mindig hősugárzás kíséri, azt mindenki tudja. Hogy ez az ibolyántúli sugárzás a sejtek osztódását befolyásolhatja, az fizikai szempontból ismét lehetségesnek látszik, mert a sugár-

elnyelés mai nézeteink szerint az elektronok és atóмок csoportosulásának megváltozásában áll. Így magyarázható a sugarak mutációs hatása is az öröklési jelenségek körében.

7. A Röntgen-sugárzás.

Említettük, hogy az ibolyántúli sugarak szemünkben fényérzetet nem keltenek, azonban a fényképezőlemezre hatnak, fluoreszcenciát okoznak, a gázokat ionozzák stb. De fekete papírlapon már nem tudnak keresztülhatolni. *Röntgen* vette észre 1895 őszén, hogy olyan sugarak is vannak, melyeknek az említett összes sajátságaik megvannak, de ezenfelül nemcsak fekete papíron, hanem vastag könyvön, deszkán, húson, sőt fémlemezeken is keresztülhatolnak. Ezek a *Röntgen-sugarak*, vagy — ahogyan maga Röntgen nevezte őket — *X sugarak*. Tehát a Röntgen-sugarak alapvető tulajdonságai a következők: láthatatlanok, szemünkkel nem vesszük észre őket, hatnak a fényképezőlemezre, sok fluoreszkáló anyagot (báriumplatincianür, cinkszilikát-vegyületek, kalciumwolframat stb.) világításra készítenek, a levegőt és általában a gázokat elektromos vezetővé teszik: egy megtöltött elektroszkóp szétnyílt aranyfüstlemezei azonnal összeesnek, mielőtt Röntgen-sugár éri, tehát az elektroszkóp pillanatok alatt elveszti töltését. A Röntgen-sugárnak az élőszervezetre gyakorolt hatása sokféle lehet: kis adagban előmozdíthatja a sejtek életműködését, virágot fakaszthat, változást okozhat az ivadékokban (mutációk), nagyobb adagban a sejtek halálát idézheti elő, mégpedig könnyebben pusztítja el az amúgy is beteg vagy nagyon fiatal sejteket, mint az életerős, egészségeseket.

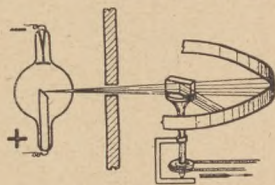
Amint említettük, a Röntgen-sugarak átlátszatlan testeken is keresztülhatolnak; ez első pillanatra nem volna meglepő, hiszen az elektromos sugarak is keresztüljutnak a házak téglafalán; azonban ez utóbbiak elpusztulnak a fémlemezekben, míg a Röntgen-sugarak ezen is diadalmasan keresztüljutnak; vannak olyan Röntgen-sugarak, amelyek több cm

vastag réz- vagy vaslemezen is keresztülhatolnak; ezek a kemény sugarak; azok pedig, amelyek csak deszkán, papíron tudnak áthatolni, a lágy sugarak. A nagy atómsúlyú fémek, mint az ólom, arany, a platina, a wolfram, nem igen engedik át a sugarakat, míg a fa, ruha, papír jól keresztül bocsátják; az izmokon, zsíron is sokkal jobban keresztüljutnak a sugarak, mint a csontokon. Ha ehhez még hozzávesszük azt, hogy a Röntgen-sugarak egyenes vonalban terjednek, akárcsak a fény, akkor megérthetjük a Röntgen-árnyékképek keletkezését. Kezünket fluoreszkáló ernyő hátlapjára téve, tartsuk a sugarak útjába. Az ernyő legjobban világít kezünk környezetében, mert itt semmi sincs a sugarak útjában; az izmok helyén már halványabb, a csontok körvonalai még sötétebbek, leg-sötétebb az esetleg ujjunkon lévő gyűrű árnyéka. Nagyon jól látszik a testben lévő ólomgolyó árnyék-kepe. A fényképezőlemez természetesen azokon a helyeken feketedik meg legjobban, ahol legtöbb sugár éri; így azután a csontok vagy az ólomgolyó helyén majdnem teljesen átlátszó marad.

A Röntgen-sugarakat mesterségesen állítják elő a *Röntgen-lámpákban*; természetes Röntgen-sugárforrások nem ismeretesek, legfeljebb hozzájuk hasonló sugarakat kibocsátó források, melyekről később lesz szó. A Röntgen-lámpában többnyire wolframdrót izzítása útján elektronokat termelnek, melyek a lámpára kapcsolt nagy feszültség (100—200.000 volt) következtében igen nagy sebességgel nehezen olvadó wolfram-vagy platinalemezbe ütköznek; elveszítettnek látszó energiájuk árán részben Röntgen-sugárzás keletkezik. Nagyon sokféle Röntgen-lámpa van, de a haladás gyártásuk terén inkább csak külsőségekre szorítkozik, nem a sugárzás előállítás módjára.

Az utóbbi évtizedek fáradhatatlan kutatásai alapján most már kijelenthetjük, hogy a Röntgen-sugarakra általában véve érvényesek a fényre vonatkozó törvények. Az egyenesvonalú terjedést már említettük. A terjedési sebesség levegőben szintén megegyezik a fényével. A sugarak visszaverődése különösen kristály-

lemezeken észlelhető jól. *Bragg* eljárása szerint, ólomlemezek által határolt keskeny bejutó sugárnyalábot ejtsünk szép síma kőskristályra és a visszaverődő sugarak útjába állítsunk fényképezőlemezt vagy meghajlított filmet (18. kép). Előhívás után keskeny fekete csík keletkezik a filmen, mégpedig olyan irányban, amelyet a visszaverődés törvénye szab meg. Mintha csak fény-sugár verődött volna vissza a kristály határlapjáról! Ha a kristályt a papírlapra merőleges tengely körül



18. kép. A Röntgen-színkép előállítására *Bragg* szerint.

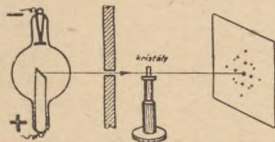
forgatjuk, a filmen előhívás után fekete szalag jelenik meg, melyet helyenként mélyfekete vonalak szakítanak meg; a fekete szalag egyik oldalon hirtelen megszakad, mintha elvágta volna, a másik oldalon fokozatosan halványodik el. A fekete szalag a sötétebb vonalakkal együtt a Röntgen-színkép. A szalag terjedelme nem függ attól, hogy a lámpában milyen fém a sugárzóforrás, de a fekete vonalak helye igen: más helyre esnek például vas és platina esetében. A fekete szalagot hívják *folytonos Röntgen-színképnek*, a vonalakat pedig *vonalas Röntgen-színképnek*; a folytonos rész az antikatódra ütköző elektronoktól származik, a vonalas pedig az antikatód elektronjaitól. Ebből következtethetjük, hogy a kristály különféle helyzeteiben visszavert sugarak valószínűleg a különböző színű fény sugaraknak felelnek meg, mert ha nem így volna, semmi értelme sem volna annak, hogy más fémek esetében más és más helyre esnek a fekete vonalak. Tehát ez a visszaverődés bizonyos tekintetben mégis különbözik a közönséges fényvisszaverődéstől, mert a különféle szögek alatt különféle fajú sugarak verődnek vissza.

Sokáig nem észlelték a Röntgen-sugarak *törését*; úgy tűnt föl, hogy ezek irányváltozás nélkül, nyílegyenesen hagynak el bármiféle testet. Az utóbbi időkben azonban kiderült, hogy ezek a sugarak is meg-

törnek, vagyis irányukat változtatják, ha új közegbe lépnek, csakhogy ez az irányváltoztatás rendkívül csekély, alig tesz ki 4—5 szögmásodpercet. Ezenfelül még egy furcsaság van ebben az irányváltozásban; ugyanis éppen ellenkezője a fénysugarak törési irányváltozásának; vagyis, ha a Röntgen-sugár például levegőből üvegbe jut, akkor nem a beesési merőleges felé törik meg, hanem ellenkező irányban, tehát a Röntgen-sugár általában úgy viselkedik, mint mikor a fénysugár üvegből levegőbe megy. E miatt a Röntgen-sugarak törésmutatója általában kisebb 1-nél, de csak valamivel!

Az *elhajlás* jelensége sokáig kemény dió volt a Röntgenkutatók számára. Majdnem húsz évig hiába fáradoztak, nem sikerült észlelni. Végre

Laue gondolt arra, hogy talán kristálylemezekkel sikerül a dolog. Hiszen ha igaz az, hogy a kristályok atómjai szép szabályosan vannak elrendezve — amire már régóta gondoltak — akkor remélhető, hogy a Röntgen-sugarak áthaladásakor olyanféle jelenség lép föl, mint mikor finom selyemernyőn keresztül távoli lámpát nézünk: ekkor ugyanis szabályszerűen szétszórt színképek sorozata tárul szemünk elé. Tehát *Laue* ilyenféle jelenséget várt a Röntgen-sugarak körében is. Várakozása teljesült. Ugyanis szfalerit-kristálylemezre keskeny Röntgen-sugárnyalábot ejtve, azt tapasztalta munkatársaival együtt, hogy a kristálylemezeken nemcsak a beeső sugár irányában halad át a Röntgenfény, hanem ettől eltér, elhajlik egész sereg sugár, minék az a következménye, hogy a sugarak útjába tett fényképezőlemezeken szép szabályosan elrendezett fekete foltok jelennek meg (19. kép). De ezek nem kicsiny színképeknek felelnek meg, mint a későbbi vizsgálatok megmutatták, hanem meghatározott, de különféle színű fényfoltoknak. Ehhez hasonló jelenség bármilyen kristálylemezrel, sőt vékony fémllemezrel is észlelhető.



19. kép. A Röntgen-sugarak elhajlása Laue szerint.

Mikor a Laue-féle kísérlet alapján bizonyossá vált a Röntgen-sugarak elhajlása, akkor közönséges fénytani rácsokkal is előállították e jelenséget. Azonban a Röntgen-sugarakat nem merőlegesen ejtették a rácsra — mint a fénytani kísérletekben szokásos —, hanem majdnem simulva. A színekép a rácsnak ugyanazon az oldalán jelent meg, amelyen a beeső sugár volt és megegyezett a kristályokkal előállítható színeképpel. Ezenfelül még sokféle más elhajlási kísérletet is végeztek Röntgen-sugárral.

Minthogy a Röntgen-sugárral ugyanolyan kísérleteket lehet végezni, mint a fénysugárral, föltehetjük, hogy a Röntgen-sugarak is elektromágneses hullámok. E föltevés világánál érthetjük meg a sajátságos visszaverődést kristályok felszínéről: ugyanis a Röntgen-sugarak behatolnak a határlappal párhuzamos atómozkat tartalmazó síkok közé, mindegyikről részben visszaverődnek s egy bizonyos visszaverődési irányban csak meghatározott hullámok erősítik egymást. A Laue-féle kísérletben meg az egyes atómozk egyénenként új meg új hullámforrássá válnak és hullámaik csak bizonyos irányokban erősítik egymást, melyeket a fényképezőlemezen szétszórt fekete foltok árulnak el. Éppen az elhajlási kísérletek alapján lehet megmérni a Röntgen-sugarak hullámhosszát is. Kiderült, hogy ismeretesek olyan lágy Röntgen-sugarak is, melyeknek hullámhossza 0.01 mikron (100Å) körül van; viszont említettük, hogy ebbe a hullámtartományba eső ibolyántúli sugarakat is elő tudunk állítani; legrövidebb hullámú Röntgen-sugarak a 0.01 — 0.02 Å hullámhosszúságúak, többnyire azonban 0.05Å -ön túl nem igen terjed a Röntgen-színekép. Egyébként a színekép rövidhullámú határát pontosan megszabja a lámpára kapcsolt feszültség; a lámpa anyagi minősége szerepet nem játszik. Ha a Röntgen-lámpára nagy feszültséget kapcsolunk, rövidhullámú és nagy áthatoló erejű sugarakat kapunk: ezek a kemény sugarak; kis feszültség esetében hosszabb hullámú és csekélyebb áthatoló erejű sugarak lépnek fel: ezek a lágy sugarak. A Röntgen-színeképvonalak csak akkor lépnek fel, ha a lámpára elég nagy

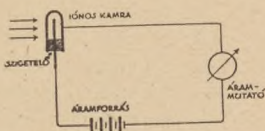
feszültséget kapcsolunk; ez az antikatód anyagi minőségétől függ. A színképi vonalakat keménységük szerint *K*-, *L*-, *M*-csoportokba sorozzák; például a wolfram *K*-csoportjába tartozó vonalak hullámhossza 0.2 Å-nél valamivel kisebb; a réz *K*-csoportjának hullámhossza meg 1.5 Å körül van. A Röntgen-színkép-vonalak keletkezését a Bohr-féle atomminta alapján úgy képzeljük el, mint a látható színkép-vonalakét. Tehát e vonalak kisugárzásakor is elektronok lépnek át külső pályákról belsőkre és az atom nagyobb energiájú állapotból kisebbbe jut, szegényedik a sugárzás által. De a fény sugárzásáért általában az atom külső elektronjait tesszük felelőssé, míg a Röntgen-színkép-vonalakat a mag közelében levő belső elektronoknak tulajdonítjuk.

Természetesen a sugárzás kettős természetét a Röntgen-sugarak körében sem adhatjuk fel, sőt e sugarak még jobban megkívánják, mint a fény. Ugyanis az elektronkiváltó hatás a Röntgen-sugarak körében még szembetűnőbb módon lép fel, mint a fénysugarakéban. Gondoljunk a Röntgen-sugarak ionozó hatására. Minthogy a Röntgen-sugarak közepes hullámhossza körülbelül tízezred része a fényének, a rezgésszámuk ugyanennyiszor nagyobb; tehát egy Röntgen-foton energiája körülbelül tízezerszer nagyobb, mint egy fénykvantum átlagos energiája (az *erg*-nek néhány százmilliomod része). A színkép azért élesen határolt a rövidhullámú oldalon, mert az antikatódba ütköző elektron mozgási energiája meghatározott rezgésszámú fotonná alakul át.

A Röntgen-sugárzás kvantumos természete jelentős támaszra talált a *Compton-féle jelenségben*. Ez abban áll, hogy a Röntgen-sugárzás különösen kis atomsúlyú elemekről való szétszóródás közben lágyul: a szétszórt kvantumok energiája kisebb, mint a beesőké volt. E jelenség föltevészerű magyarázata a következő. A beeső Röntgen-fotonok elektronokkal is összeütköznek. Az összeütközésekor a foton veszít energiájából, az elektron pedig energiát kap; a foton energiájának csökkenése a szétszórt sugárzás meglágyulását jelenti, amit kísérletileg észlelni is lehet az

elméletnek megfelelő módon. Ezért tekintik a Compton-féle jelenséget nagyon fontosnak a sugárkvantumok (fotonok) elméletében.

A Röntgen-sugár ama tulajdonságának, hogy a testek belsejébe enged pillantani, különösen az orvosi tudományban van nagy jelentősége. Csonthibákról, a gyomor, belek állapotáról, epe- és vesekőről igen sokszor becses felvilágosítást ad a Röntgen-átvilágítás vagy még inkább a fényképfölvétel. Ez az alkalmazási terület orvosi nyelven a Röntgen-*diagnosztika*. Majdnem ugyanilyen jelentőségre tett szert a Röntgen-sugár



20. kép. Kis íonos kamra a Röntgen-sugáradag (dózis) mérésére.

viszonyban a fémiparban is. Tömör fémdarabok, fémöntvények belső hibátlanságát, hegesztések jóságát stb. Röntgen-átvilágítással állapítják meg; különösen fontos ez az eljárás repülőgépalkatrészek megvizsgálásakor. Ezenfelül felhasználják a Röntgen-sugarat még festmények vizsgálatára is részint az eredetiség, részint az esetleges átfestés megállapítása végett, továbbá liszt, cukor hamisításának eldöntésére stb. Napról-napra szaporodik alkalmazási területeinek száma.

Az orvosi gyakorlatban felhasználják a Röntgen-sugárzást különféle betegségek gyógyítására is, például belső daganatok elosztatására. Ez az alkalmazási terület orvosi nyelven a Röntgen-*terápia*. Azon alapszik, hogy a beteg testrészbe annyi sugárzást kell juttatni, hogy a beteg sejtek elpusztuljanak, de a környező egészséges sejtek épségben maradjanak. E végett igen fontos a Röntgen-sugárnak, mint gyógyszernek adagolása. A mérőkészülékekben többnyire a Röntgen-sugárzás ionozó hatását, mégpedig a levegőben észlelhető ionozó hatását használják föl és a készülékeket *íonos kamráknak* nevezik. Ezekkel a Röntgen-sugáradagot (dózist) r egységben mérik. Mi ez az r ? Legyen a grafitból vagy papírból készült kis íonos kamra térfogata éppen egy cm^3 (20. kép). Ha a ráeső sugárzás olyan erős, hogy a kamra áramkörében $1 : 3 \times 10^9$ ampère, vagyis

egy ampère-nek hárommilliárdnyi részével egyenlő erősségű áramot indít, akkor azt mondjuk, hogy a kis kamra helyén a sugáradag $1 r$; kétszer-háromszor olyan erős áram kétszer-háromszor annyi r -et jelent. Tehát ha azt halljuk, hogy valakinek a hónaljára például furunkulusok elmulasztása végett 200 r -et adtak, ez azt jelenti, hogyha kezelés alatt az illető hónaljára rátesszük a kis iónos kamránkat, az árammutató 200 r -nek megfelelő erősségű áramot jelez. Sok és áldozatokat kívánó tapasztalat alapján állapították meg, hogy bizonyos betegségek kezelésekor hány r -nyi sugáradag szükséges. Tájékoztató megemlítjük, hogyha a kis kamrát testünk felületére tesszük és körülbelül 800 r -et mutat a műszer, akkor a besugárzott helyen 8—10 nap múlva erős bőrpirosodás jelentkezik, mely barnulás hátrahagyásával elmúlik. Ez a bőrpri rosító vagy erithemás dózis. Nagyobb adagok egyszerre beadva már súlyosan megtámadják a bőrt és a mélyebben fekvő izmokat is; túlságos nagy adagok az izmok elsorvadását okozhatják. A Röntgen-átvilágításkor olyan kicsiny a sugáradag, hogy az teljesen veszélytelen. Az örökléstani és növényélettani kísérletekben több ezer r -nek megfelelő dózisokat is használnak.* Mind a Röntgen-diagnosztikáról, mind pedig a terápiáról tájékoztat *Kelen Bélának* „Röntgenológia“ c. kiváló műve.

8. A gamma(γ)-sugarak.

A radioaktív anyagok — mint pl. a rádium, tórium és vegyületeik — minden külső beavatkozás nélkül bocsátanak ki magukból a Röntgen-sugarakhoz hasonló sugarakat: ezek a gamma-sugarak; ezenfelül még pozitív töltésű α és negatív β részecskék is repülnek ki belőlük. A γ -sugarak áthatoló ereje sokkal nagyobb, mint a Röntgen-sugaraké: ugyanis 4—5 cm vastag ólomlemezen is majdnem úgy hatolnak keresztül, mint a fény az üvegen. Ebből

* *Szabó Zoltán*: A kromoszóma, 47. old.

következik, hogy a γ -sugarak átlagos hullámhossza sokkal rövidebb, mint a Röntgen-sugaraké, vagy más szóval ezek rendkívül kemény Röntgen-sugarak. De ha ez igaz, akkor elő lehet állítani a γ -sugarak színeképet kristállyal és fényképezőlemezzel. Ez némely esetben sikerül is. A színeképnek azonban nincs folytonos része, a fényképezőlemezen nem jelenik meg folytonos fekete szalag, hanem csak fekete vonalak láthatók, szóval a γ -sugaraknak vonalas színeképe van. Ez azt jelenti, hogy ezek a sugarak pontosan meghatározott hullámhosszúságú alkatrészekből állanak, éppen úgy, mint például a hidrogénnek Balmer-féle sorozata. A γ -sugarak hullámhosszúsága rendkívül kicsiny; tudjuk, hogy a 0.05 \AA hullámhosszúságú Röntgen-sugár már nagyon kemény; pedig a γ -sugarak hullámhossza ennél még jóval kisebb is lehet, alsó határa körülbelül $0.002 \text{ \AA} = 2X$.^{*} Természetesen a γ -sugarak rezgésszáma sokszor nagyobb, mint a Röntgen-sugaraké. Ebből meg az is következik, hogy a γ -sugárkvantumok energiája (h állandó \times rezgésszám) ugyancsak jóval nagyobb, mint a Röntgen-fotonoké. Így például a legkeményebb γ -foton energiája körülbelül az erg százezredrésze. Ha ezt az energiát egy elektron megkaparintja magának, rettenetes nagy sebességre tehet szert, gázatomok között úgy haladhat előre, mint valami régi epikai hős az ellenséges hadseregben. A γ -sugarak által fényelektromos úton kiváltott elektronok energiáját mérni tudják, ebből viszont ki tudják számítani a kiváltó γ -foton rezgésszámát.

A γ -sugarakat az orvosi gyakorlatban különösen belső daganatok gyógyítására használják. E végett a radioaktív anyagot kisebb-nagyobb tartókba teszik, melyeket azután a test belső részeibe süllyesztenek. Minthogy a sugárzás közvetlen közelből éri a beteg testrészt, sokszor jó eredmény érhető el vele. A γ -sugárzás élettani hatása olyanféle, mint a Röntgen-sugaraké; adagolására különleges iónos kamrákat használnak;

$$* 1 X = \frac{1}{1000} \text{ \AA} = \frac{1}{10^{11}} \text{ cm.}$$

tájékoztatásul megemlítjük, hogy 1 *milligramm* rádium 1 cm távolságból 1 óra alatt körülbelül 8 *r*-nyi dózist ad. Nagyobb radioaktív készítményekben több száz *milligramm* rádium is van, tehát nagy a sugáradag is. A γ -sugarakat a fémiparban is használják: vastagabb fémtárgyakról készítenek velük fényképfelvételeket belső állapotuk megvizsgálása végett.

Hogyan keletkezik a γ -sugár? Első pillanatra arra gondolhatnánk, hogy az atómmag körül keringő elektronok bocsátják ki ezeket is, miközben nagyobb pályáról kisebbre jutnak át. Ezt a gondolatot azonban el kell vetnünk, mert a legbelső pályákra (burokba) való átlépést is a Röntgen-sugarak számára tartottuk fenn. Tehát a γ -sugarak születésére már nincs hely az atómburkokban. Nem marad más hátra, mint a születési helyet az atómmagba helyezni, mely valószínűleg *protonokból* és *neutronokból** áll. Ha valamilyen részecske kirepül az atómmagból, az egyensúlyi állapot megbomlik, a részecskék új módon helyezkednek el kisebb energiájú egyensúlyi állapotba. A felszabadult energiamentiség γ -sugárzásalakjában lát napvilágot.

A *földsugárzás és levegősugárzás* alatt nem valami titokzatos sugárzást értünk, melyet varázsvesszővel lehet felismerni, hanem a földben és levegőben levő radioaktív anyagok sugárzását.**

9. A kozmikus sugárzás.

Az utóbbi évtizedek során kiderült, hogy a nagy áthatoló képességű és íonozó hatású sugárzás a természetben nem is olyan ritka, sőt mindenütt előfordul, de rendkívül gyenge: ez a *kozmos sugárzás*. Már

* A *neutron* elektromosan közömbös, kb. a protonnal egyenlő tömegű anyag részecske.

** *Belák Sándor*: A földsugárzásról. T. T. Közlöny 68., 179. 1936.

régen észrevették az emberek, hogy még fémburkolattal körülvevett elektroszkópok is elvesztik elektromos töltésüket. Ez érthetőnek látszott részint a földben levő, részint pedig a levegőbe kerülő radioaktív anyagok ionozása következtében. De meglepte a kutatókat az a tapasztalat, hogy az ionozó hatás a földtől távolodva, nagy magasságokban nemhogy csökkenne, hanem inkább nő. E jelenség megmagyarázása végett Hess föltette, hogy a földsugárzás mellett a földön is mindent meg az egész légkörben is valamilyen titokzatos sugárzás van jelen, mely minden valószínűség szerint *nem a légkör felső rétegeiből, hanem kívülről, a világűrben szétszórt anyagból származik*; éppen ezért nevezik *kozmos sugárzásnak*; nem rossz a *magassági sugárzás* elnevezés sem, mert különösen a légkör magasabb rétegeiben észlelhető ez a sugárzás.

A kozmikus sugárzás az anyagon sokkal nagyobb mértékben hatol keresztül, mint az eddig ismertett sugárzások. Ugyanis körülbelül ezer méter vastag vízréteg vagy száz méter vastag acéltömb nyeli el teljesen ezeket a sugarakat. Tehát ha valamilyen tárgyat teljesen védeni akarunk a kozmikus sugarakkal szemben, akkor ilyenféle burkolatba kell helyezni. A földön észlelhető kozmikus sugárzás nem egynemű, hiszen még ha a légkör határán az volna is, a levegőből kiváltott részecskék ezt az egyneműséget megzavarnák.

A sugárzás erőssége, melyről ionozó hatása alapján lehet meggyőződni, a magasba emelkedve eleinte lassan, majd rohamosan nő, úgyhogy 30 kilométer magasan körülbelül 165-szöröse a föld felszínén észlelhető értéknek; 30 kilométeren felül már nagyjában állandónak vehető a sugárzás; rendellenességek fordulnak elő 6—7 és 12 kilométer magasságban. A magassággal való növekedésnek az az oka, hogy a légkör a sugárzás részben elnyeli; természetesen annál jobban, minél vastagabb levegőrétegen kell áthaladni a sugárzásnak. Ebből következik, hogy a föld egy pontján függőleges *irányban* felülről (a zenitből) jövő sugárzás a legerősebb és a vízszintesben észlelhető a leggyengébb. Ezt a tapasztalat meg is erősíti. Nagyon valószínű, hogy a légkör hatá-

rán ilyen iránykitüntetés nincs, hanem minden irányban egyenlő erős a sugárzás. Ha a levegő elnyelése szerepet játszik a sugárzás erősségében, akkor a *légnymástól* is függeni kell a sugárzás erősségének. Ezt a tapasztalat igazolja is: nagy légnymás esetén gyengébb a sugárzás, mint kis légnymáskor; más szóval: mikor a barométer emelkedik, akkor a sugárzás gyengül, — mikor a barométer süllyed, akkor a sugárzás erősödik. Ez a barométerhatás és más kevésbé ismert körülmények bizonyos rendszertelen ingadozásokat okoznak a kozmikus sugárzás erősségében és nagyon megnehezítik az esetleges *szabályszerű*, szakaszos (periódikus) változások észlelését. Ezért az ilyen célú méréseket többnyire magas hegyek tetején (a Jungfrau-gleccserjén, a Mönch-hegycsúcson) végzik, ahol a zavaró hatások gyengébbek. A mérések bizonytalanok, mert egyesek szerint a nap állása, mások szerint bizonyos csillagképek állása szerint mutatkozik bizonyos szakaszosság. Ez az eredmény azt jelenti, hogy — úgy látszik — az égboltnak egyetlen helye sincs különösen kitüntetve a kozmikus sugárzás szülőotthonával, hanem mindenütt található ilyen otthonok.

Igen nagy jelentőségű a sugárzás szempontjából, hogy észak-déli irányban (egy délkör mentén) haladva elég jelentős változás észlelhető erősségében. Ugyanis az 50-ik szélességi foktól az egyenlítőig menve a sugárzás erőssége körülbelül 15 százalékkal csökken (a tenger színére számítva át a mérési eredményeket). Még feltűnőbb ez a csökkenés nagyobb magasságban. A számítások szerint a légkör határán a föld sarkai felett körülbelül százszor olyan erős a sugárzás, mint az egyenlítő felett. Amint látjuk, a sugárzás erőssége a földrajzi szélességgel változik; ezt a jelenséget földrajzi szélességi hatásnak nevezik; de hívják földmágnességi hatásnak is, mert a sugárzás erőssége a föld mágneses sarkai felé közeledve nő.

Ez a jelenség nagyon fontos, mert a *sugárzás természetére* vonhatunk belőle következtetést. Mi lehet az oka ennek a mágneses hatásnak? Nyilvánvalóan az, hogy a földi mágneses erő megváltoztatja a sugárzás

irányát, a sugárzást a föld sarkai felé tereli; de ha ez igaz, akkor a sugárzásnak — legalább is a légkörben — elektromos töltésű részecskékből kell állni (az α és β -sugarakhoz hasonlóan), mert a γ -sugárhoz hasonló sugarakat a mágneses erő nem téríti el útjukból. De hátha csak a légkörben keletkezik ez a részecskékből álló sugárzás, hátha csak másodlagos jelenség, a valódi kozmikus sugárzás ellenben elektromágneses természetű! Ezt a föltevést el kell vetnünk, mert az elektromos részecskék útja a légkörben rövid lenne ahhoz, hogy a gyenge földi mágneses erő ilyen nagy eltérítő hatást fejtsen ki rájuk. Tehát nem marad más hátra, mint föltenni, hogy a földi mágneses erő a kozmikus sugárzás részecskéit már a föld felszínétől 10—20 ezer kilométer távolságban olyan módon kezdi eltéríteni, ahogyan azok a földre jutnak; tehát a légkör határát már olyan eloszlásban érik el, mint a földi észlelés mutatja. De ha ez igaz, akkor föl kell tennünk, hogy a kozmikus sugárzás már a világűrben elektromos részecskékből áll (korpuzkuláris természetű), a légkörben ezek a részecskék még újabbakat válthatnak ki ionozás útján. Ezt a föltevést az újabb kozmikus sugárzási mérések is támogatják, melyeket több úgynevezett ionozási lökést számláló csővel végeztek. Egyébként a kozmikus sugarak irányváltozását mesterségesen előállított mágneses térben is észlelték.*

Most még az a kérdés, hogy milyen fajta elektromos töltésű részecskékről van szó. Az észlelések szerint pozitív és negatív töltésű részecskék egyaránt előfordulnak, de mégis a pozitívok többségben vannak; a negatív részecskék minden valószínűség szerint *elektronok*, a pozitív részecskék lehetnek *pozitronok*, de gondolnak protonokra és α -részecskékre is; sőt neutronok és fotonok előfordulása is lehetséges. A részecskék energiája a számítások és becslések szerint egy milliárd (10^9) és egy billió (10^{12}) elektron-volt között van, vagyis a második határon akkora, mint amekkora egy elektron

* Hazánkban *Barnóthy Jenő* és *Forró Magdolna* vizsgálja a kozmikus sugárzást.

mozgási energiája, ha valahonnan egy billió volttal nagyobb potenciálú helyre jut.

Becslés szerint a kozmikus sugárzás által a föld felszínére szállított energia másodpercenként körülbelül 1.8×10^{16} erg, vagyis 2.4 millió lóerő.

Érdeklődéssel várjuk a feleletet arra a kérdésre, hogyan keletkezik hát ez a csodálatos sugárzás, miféle folyamat ennek a forrása. Sajnos, erre a kérdésre nem tudunk kielégítő feleletet adni. Legegyszerűbb volna radioaktív sugárzásra gondolni, azonban a kozmikus sugárzás részecskéinek hallatlanul nagy energiája azt kívánná, hogy a sugárzó elem atómsúlya 300-nál nagyobb legyen (az uráné, mely az ismert elemek között a legnagyobb atómsúlyú, 239). Ilyenek előfordulása kialakulóban levő csillagokon, az úgynevezett novákon várható, tehát ezek a novák lennének a kozmikus sugárzás forrásai. Esetleg csillagok szétrobbanása közben is keletkezhetnek ilyen sugarak. Minthogy a kozmikus elnevezés a sugárzás világegyetemi eredetére mutat, lehetne ezt *világsugárzásnak* is nevezni.

És most még azt kérdezzük, hogy ezek a sugarak nem fejtenek-e ki valamilyen hatást testünkre és általában minden élőszervezetre, hiszen egész életünkön keresztül át- meg átjárják testünket. Erre a kérdésre nem tudunk válaszolni. Lehet, hogy semmiféle szám-bajövő élettani hatásuk nincs, de az is lehet, hogy hosszú időn hatva elősegítik a sejtek elöregedését, pusztulását. Esetleg örökléstani hatásuk is lehet (spontán mutációk).

*

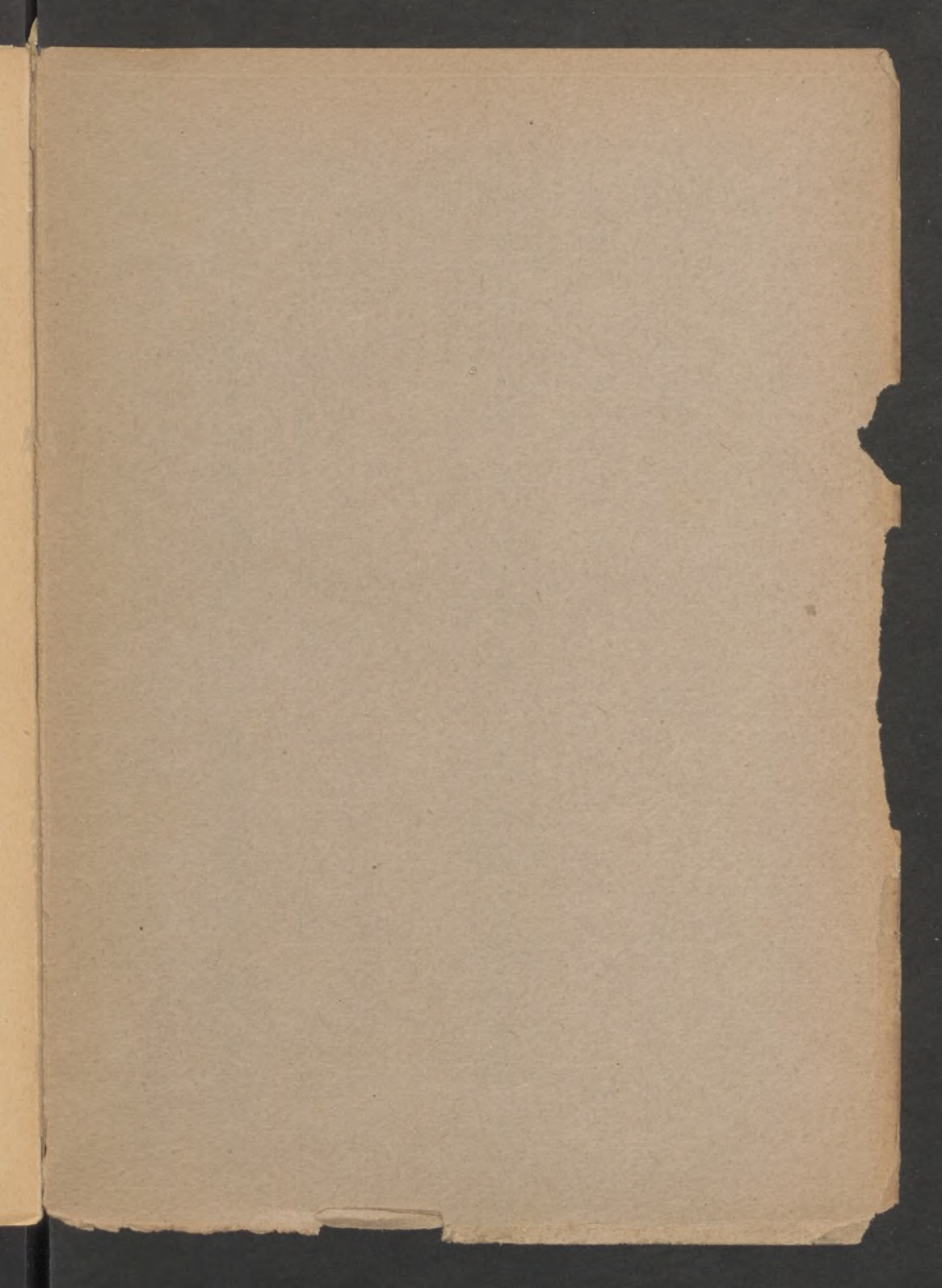
Bizonyára akadnának, akik hiányosnak tartanák kis munkámat, ha a *halálsugarokról* nem mondanék valamit. Őszintén szólva nem tudom, miféle sugarak ezek. Valószínűleg olyanok, melyeknek titkát feltalálójuk vagy felfedezőjük maga sem ismeri. Mégis röviden a következőt mondhatjuk róluk. Lehetne arra gondolni, hogy bizonyos irányban összesűritett, rettenetes nagy erősségű Röntgen- vagy γ -sugárzás, melyből pillanatok alatt óriási mennyiségűt nyel el a test,

halált okoz ; lehetne rövidebb, de rendkívül nagy erősségű irányított elektromos hullámokra is gondolni ; sőt nagyon erős hősugárzás is okozhat halált. Hogy ezekről, a sugarakról komolyan beszélhessünk, szeretnénk, ha a halálsugár hírnökei legalább állatokon kísérleteket mutatnának be szemünk láttára.

*

Bejártuk a sugárzás birodalmát a kilométeres hullámoktól a parányiakig. A sugárzás rendkívüli változatosságban ragyogott föl előttünk, akárcsak az anyag. De a változatosság mögött mégis bizonyos változatlanóság, bizonyos egység rejtőzködik. Ugyanis a különféle sugárzások csak abban különböznek egymástól, hogy hullámhosszúságuk más vagy a nekik megfelelő sugárkvantum (foton) energiája más (h állandó \times rezgésszám), egyébként ugyanannak a titokzatos dolgoknak különféle megnyilvánulásai. Az anyag változatosságban talán még a sugárzást is felülmúlja, de mégis egységes. Ugyanis jogosan gondoljuk, hogy a különféle elemek csak bizonyos elemi alkotórészek számában és elrendezésében különböznek egymástól, de egyébként ugyanazoknak az elemi részeknek : protonoknak, neutronoknak és elektronoknak halmazai. Ebből a felfogásból mindkét területen az is következne, hogy mind a különféle sugárzások, mind pedig a különféle elemek egymásba átalakíthatók. Ez a sugárzások terén sok esetben sikerül : hiszen jól ismeretes, hogy mindenféle sugárzás átalakítható hősugárzássá, mégpedig a nagy átalakító az anyag. Azonban nem áll módunkban a hősugárzásból bármilyen más sugárzást csinálni. Az elemek körében az egység ügye valamivel rosszabbul áll : ugyanis a legtöbb elemből lehet protonokat, neutronokat és elektronokat kiváltani, mégpedig sokszor a nagy kiváltó a sugárzás, de az elemeknek olyan méretű átalakulása egymásba, mint a sugárzásoknak, nem tapasztalható.

És végezetül lehet-e az anyagból sugárzás és a sugárzásból anyag? Korunk fizikai felfogásmódja szerint ez is a lehetőségek közé tartozik.



A 49. oldalon „a felülről számított 3-ik sorban „a sugáradag 1 r“ helyett „a sugáradag 1 r másodpercenként“ olvasandó.



EVM

26.624