

Cikkünk II. részében a napelemes bögölycsapdánk terepen igazolt hatékonyságát mutatjuk meg, valamint tárgyaljuk e csapda előnyeit és hátrányait.

Irodalom

1. Lehane, M. J.: *The Biology of Blood-Sucking in Insects*. 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2005.
2. Harris, J. A.; Hillerton, J. E.; Morant, S. V.: Effect on milk production of controlling muscoid flies, and reducing fly-avoidance behaviour by the use of Fenvalerate ear tags during the dry period. *Journal of Dairy Research* 54 (1987) 165–171.
3. Malaise, R.: A new insect-trap. *Entomologisk Tidskrift Stockholm* 58 (1937) 148–160.
4. Hribar, L. J.; LePrince, D. J.; Foil, L. D.: Ammonia as an attractant for adult *Hybomitra lasiophthalma* (Diptera: Tabanidae). *Journal of Medical Entomology* 29 (1992) 346–348.
5. Mihok, S.; Lange, K.: Synergism between ammonia and phenols for *Hybomitra* tabanids in northern and temperate Canada. *Medical and Veterinary Entomology* 26 (2012) 282–290.
6. Horváth, G.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Kriska, G.: Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften* 95 (2008) 1093–1100.
7. Horváth, G.; Blahó, M.; Kriska, G.; Hegedüs, R.; Geric, B.; Farkas, R.; Ákesson, S.: An unexpected advantage of whiteness in horses: the most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society of London B* 277 (2010) 1643–1650.
8. Schwind, R.: Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *Journal of Comparative Physiology A* 169 (1991) 531–540.
9. Horváth, G.; Varjú, D.: *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin–New York (2004) p. 447
10. Kriska, G.; Bernáth, B.; Farkas, R.; Horváth, G.: Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology* 55 (2009) 1167–1173.
11. Horváth, G.; Kriska, G.: Polarization vision in aquatic insects and ecological traps for polarotactic insects. In: *Aquatic Insects: Challenges to Populations*. (Lancaster, J. and Briers, R. A., eds.) CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK (2008) Chapter 11, 204–229.
12. Lerner, A.; Meltzer, N.; Sapir, N.; Erlick, C.; Shashar, N.; Broza, M.: Reflected polarization guides chironomid females to oviposition sites. *Journal of Experimental Biology* 211 (2008) 3536–3543.
13. Horváth, G.; Kriska, G.; Malik, P.; Robertson, B.: Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7 (2009) 317–325.
14. Blahó, M.; Egri, Á.; Barta, A.; Antoni, G.; Kriska, G.; Horváth, G.: How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity produced by photovoltaics. *Veterinary Parasitology* 189 (2012) 353–365.
15. Horváth, G.; Blahó, M.; Egri, Á.; Kriska, G.; Seres, I.; Robertson, B.: Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology* 24 (2010) 1644–1653 + electronic supplement.

ESSZÉ A MÉRÉSEKRŐL, AMELYEK A PLANCK-TÖRVÉNY FELFEDEZÉSÉHEZ VEZETTEK – 5. RÉSZ

Varga Péter
KFKI

Elvarratlan szálak

Az optikában

Első kérdés: Miért feleltek meg izotermák (7., 8., 10. és 12. ábra) Wien törvényének, ha azt a mérések, a kapott c_2 mennyiség változásai és a 12. ábra izokromatái cáfolták?

Idézzük a sorozat 2., februári részéből a (15) formulát:

$$u(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} \equiv \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right)}$$

Látszik, hogy az intenzitás a Planck-törvény szerint felülmúlja azt, amennyit Wien törvénye alapján várnánk. A relatív többlet annál nagyobb, minél hosszabb a hullám, vagy minél magasabb a hőmérséklet. 1646 K hőmérsékletnél és 1 μm hullámhossznál a számított eltérés mindössze 0,02%, míg 5 μm hullám-

hossznál már +22%. Miért mértek mégis kevesebbet? Lehetséges oknak azt tartom, hogy a $\Delta\lambda$ hullámhossz-intervallum, amely a mérhető intenzitást meghatározó (7) formulában

$$I(\lambda, T) = i(\lambda, T) \Delta F \Delta \Omega \Delta \lambda$$

szerepel, nem volt állandó. *Lummerék* sehol sem foglalkoznak a belépő rész szerepével, *feltehetően* állandónak tartották. *Paschen* is csak az izokromataméréseknél [7] közli ezt az adatot, ahol éppen ez állandó lévén, nem játszott szerepet. A 2. részben láttuk, hogy a kilépő diafragma kivág egy tartományt a spektrumból. Minél nagyobb a diszperzió ($dn/d\lambda$) annál kisebb a fix szélességű rés által befogadott hullámhossz-intervallum, azaz $\Delta\lambda$. A diszperzió ($dn/d\lambda$) a mérésekben használt kalcium-fluorid prizma esetében 1 μm hullámhossznál $6 \cdot 10^{-4}$ μm , míg 5 μm -nél $11 \cdot 10^{-4}$ μm , tehát a $\Delta\lambda$ sáv szélesség a hosszabbik hullámhossznál közel a fele. A (7) összefüggés alapján ennek a mért teljesítményben is ugyanilyen arányban meg kellett jelennie. Lehet, hogy ezért mértek *Lummerék* kevesebbet?

Lehet, hogy *Paschen* erre gyanakodott? Ő intenzíven foglalkozott a kalcium-fluorid törésmutatójának meghatározásával az infravörösben. Már 1894-ben [28] közli az adatokat, majd 1901-ben megismétli a mérést

[29], eltérést csak a hat decimálist tartalmazó értékek utolsó jegyeiben kap, a görbe tendenciája nem változik. Ugyancsak alig térnek el a korabeli táblázatok adatai a ma használatos értékektől.

Második kérdés: Miért nem használtak spektrális bontóelemként optikai rácsot?

Nem tudom, hogy miért kellett egy merőben új jelenséget, a *Reststrahlung*-ot alkalmazni a spektrum előállításához a távoli infravörösben, ha már a prizma nem felelt meg. Hiszen *Rubens* és *Nichols* éppen transzmissziós ráccsal mutatta ki, hogy a Reststrahlung egyáltalán létezik. A rács 0,1858 mm (a szerzők adata) vastagságú párhuzamos ezüsthuzalokból állott, a térköz ugyancsak 0,1858 mm volt. A két adat megegyezéséből következik, hogyan készíthették. Téglalap alakú keretre vékony rézhuzalt csévélték fel, a meneteket szorosán egymás mellé. Ezt rögzítették, majd a lapos tárgy egyik oldaláról minden második szálát eltávolították, a másik oldalról pedig mindet. Készen volt a rács. (A szálak átmérőjét nyilván nem mikroszkóppal mérték, hanem feltehetően az anyag fajlagos ellenállására alapozva, ezért írhatták fel a huzal vastagságát szubmikron pontossággal.) A szilárdtestprizmák erős abszorpciója helyett az ilyen rácsnál csak a levegő gyenge elnyelése okozhat problémát. De létezett már karcolt reflexiós rács is. Paschen a [29] méréseket önfókuszáló Rowland-ráccsal végezte.

A fizika történetében

Dolgozatom 3. részében az *úgynevezett* Rayleigh–Jeans-törvényt említettem. A jelzővel azt akartam kifejezni, hogy ilyen törvény nincs, még akkor sem, ha a fizika tankönyveiben ez szerepel. Allításom bizonyítására két jeles tanúra hivatkozom: *Lorentz* [30], amikor a

$$u(\lambda, T) = \text{konst. } \lambda^{-4} k T$$

képletet idézi, egyszerűen *Jeans* formulájának nevezi, *Rayleigh*-re nem hivatkozik. *Einstein* is Jeansszel vitatkozik a Planck-formula védelmében [31].

Elsőként ugyan Rayleigh írta fel a fenti formulát, de nem a feketesugárzás, hanem gázok sűrűségfluktuációinak spektrumára. Az ominózus formulával szemben azt a kifogást szokás emelni, hogy a teljes spektrumra vett integrálja (tehát a teljes energiasűrűség) divergál. Ha viszont gázokról és nem fényről van szó, az egész leírás csak addig érvényes, amíg egy köbhullámhosszynyi térfogatban sok molekula van. Nem szabad a hullámhosszal a nullához tartani, mert akkor az elmélet ab ovo nem használható.

Rayleigh a formulát a feketesugárzással kapcsolatban csak akkor hozta szóba, amikor Jeansszel vitatkozott [32] és rámutatott, hogy a fenti képlet nagy hullámhosszakra a Planck-törvényből származtatható. Jeans volt az, aki ragaszkodott a képlethez, mint egyetlen megoldáshoz [33]. Cikkében úgy reagált *Rubens* és *Kurlbaum* kísérletére, hogy ők nem egyensúlyi állapotban mérték a sugárzást, az csak majd az

időbeli végtelenben áll be. Rayleigh (talán gúnyosan) megjegyezte, hogy a molekulák transzlációs mozgásánál *Jeans* elfogadja, hogy beállt a stacionárius állapot (lásd statisztikus gázelmélet), a molekulák rezgéseinél (sugárzás) pedig nem.

Ha *Jeans*nek szót fogadnánk, akkor már több mint száz év óta őriznénk egy feketetestet konstans hőmérsékleten, és időként meg-megmérnénk az izotermáit. Erre senki sem vállalkozott, mégis megtörtént, a kísérlet nem maradt abba. Ha nem is állandó hőmérsékletű, hanem egy lassan hűlő és jóval több mint száz éve létező objektum, a *Világegyetem* adott erre módot.

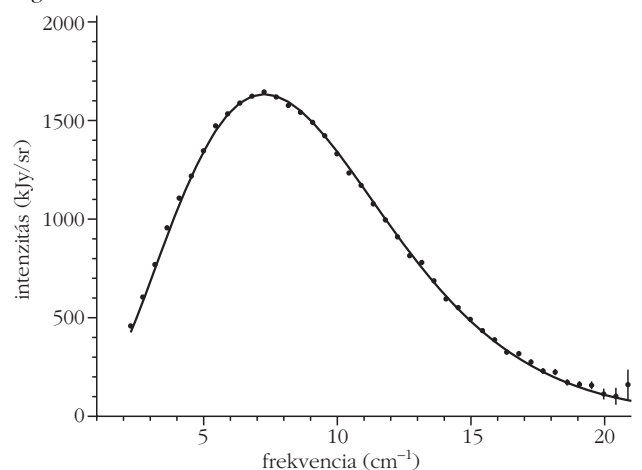
Vagy talán vegyük figyelembe, amivel tanulmányom bevezetését zártam: „egy kísérletet nem lehet befejezni, csak abbahagyni”?

A jelen állapot

A kozmológusok szerint a mindenség az uralkodó mikrohullámú spektrum szempontjából olyan zárt rendszer, amilyent *Kirchhoff* vizsgált. Mivel mi is benne vagyunk, ezért az eddigiektől eltérően nem egy kis lyukon át leskelődve, mint az elődök tették, hanem a feketetest belsejében tartózkodva mérjük a spektrumot. Megvalósul az a modell is, amelynek segítségével Planck tanulmányozta a sugárzást. Ő egy tükröző falú üreg belsejébe molekulákat képzelt, amelyek rezonátorként működtek (lásd a dolgozat 2. részét). A zárt világegyetem megfelel a tükröző falú (veszteségmentes) üregnek, az ember fabrikálta antenna rezonátornak – azzal a különbséggel, hogy hőmérsékletük más, mint a tágabban vett környezetéé, a *Világegyetemé*.

A mérést elvégezték [34], a spektrum, az izoterma a hullámszám függvényében, a 19. ábrán látható. A mért adatokat ponttal, az illesztett Planck-görbét folytonos vonallal jelölték. Illesztési paraméter a $T = 2,725$ K hőmérséklet. A mérést joggal tekintik a kozmológiai elmélet igazolásának. Hadd tekintsük mi Planck elmé-

19. ábra. A kozmikus háttérsugárzás frekvencia szerinti intenzitás-eloszlás pontosan illeszkedik a 2,725 K hőmérsékletű feketetest-sugárzás Planck-eloszlására [34].



lete igazolásának is. Ezzel kielégíthetjük természetes hiányérzetünket: ha a vizsgált spektrum kiterjesztése Paschen hullámhosszain túlra, a távoli infravörösbe, megcáfolta Wien sugárzási törvényét, nem történik-e meg ugyanez még hosszabb hullámokon Planck elméletével?

Az ördög, úgy látszik, most aludt.

Mi viszont nem. A 2. részben Paschen első kísérleti eredményeként számoltunk be arról, hogy a spektrum maximumának helye, λ_m és a feketetest T hőmérséklete között valóban fennáll a Wien eltolási törvényéből következő (4) egyenlet

$$\lambda_m T = A,$$

ahol az A állandó, továbbá $A = c_2/4,965$. Planck törvénye szerint $c_2 = 14\,387 \mu\text{mK}$.

A 19. ábrán a mért teljesítménysűrűség szerepel a $\hat{\nu}$ hullámszám függvényében, $\hat{\nu} = 1/\lambda = \nu/c$ (ν a frekvencia). A 19. ábra szerint a maximum az $5,5 \text{ cm}^{-1}$ értéknél van, ami $1800 \mu\text{m}$ hullámhossznak felel meg. Ha ezt az értéket tekintjük annak, amelynél a teljesítmény spektrális sűrűsége a maximális, ugyancsak ellentmondásba kerülünk a (4) egyenlettel. Eszünkbe jut, hogy Lummerék is azt találták, hogy az izokromáták meredeksége nem állandó. Nincsen baj, az eltérés oka a Planck-törvény elírásában keresendő.

A mért mennyiségek eloszlását úgy szoktuk ábrázolni, hogy független változóként azt használjuk, amit a mérés folyamán mi kezelünk. Ez az infravörös tartományban a hullámhossz volt. Az elméleti formulák is ezt használták. Rádiócsillagászatban a frekvencia a kézben tartható változó, ennek kellene szerepelni, de talán a történelmi hűség kedvéért valami olyat használtak, ami közelebb áll a hullámhosszhoz. A hullámszám meg arányos a frekvenciával, amit ma használunk a Planck-törvény felírásánál,

$$u(\nu, T) d\nu dV = c'_1 \frac{\nu^3}{\exp\left(\frac{c'_2 \nu}{T}\right) - 1} d\nu dV,$$

itt az állandók különböznek attól, ami a

$$u(\lambda, T) d\lambda dV = c_1 \frac{\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} d\lambda dV$$

függvényben szerepel ($d\nu$ és $d\lambda$ a frekvencia-, illetve a hullámhossz-intervallum, dV pedig a térfogatelem). Mindkét függvénynek van maximuma, de ezek helye, $\lambda_m \nu_m \neq c$.

Erre Gurevich cikke [35] hívta fel a figyelmet, hivatkozva arra, hogy három évvel korábban már Gersun is ugyanabban a folyóiratban megírta. Nem tudta, hogy Salpeter (nem azonos a Bethe-Salpater-egyenlet felírójával) már körülbelül egy évtizeddel megelőzte. Salpeter azt is javasolta, hogy a szimmetria megőrzés érdekében a $d\nu/\nu$ és a $d\lambda/\lambda$ relatív sáv szélességet használjuk. Ebben az esetben a maximumhelyekre a $\lambda_m \nu_m = c$ összefüggés is teljesül. A kísérleti fizikus azért is ért egyet a javaslattal, mert például $0,1 \text{ GHz}$ sáv szélesség elfogadható a mikrohullámú tartományban, de túl kicsi lenne a láthatóban.

Salpeter németül írt cikkét valaha olvastam, de nem találtam meg újra. Kérem a Tisztelt Olvasót, hogy higgyen a szerzőnek, akiben azért maradt meg a történet, mert Salpeter cikkét – a kor szokásának megfelelően – nem a munkahelyéről, hanem a földrajzi helyről datálta. Az utóbbi pedig Újpest volt.

Ki volt Salpeter?

Köszönetnyilvánítás

A szerző megköszöni Orosz Lászlónak (BME, Fizika Tanszék) értékes megjegyzéseit. Köszönet illeti Füstöss Lászlót nemcsak a kézirat gondos szerkesztéséért, hanem azért is, hogy felhívta figyelmet a mikrohullámú mérésekre. Ugyancsak köszönöm Kármán Tamásnak, hogy a harminc évvel ezelőtt készített folyóirat-kópiáimat közölhetővé varázsolta.

Irodalom

28. F. Paschen: Die Dispersion des Fluorits und die Ketteler'sche Theorie der Dispersion. *Annalen der Physik* 53 (1894) 812.
29. F. Paschen: Eine neue Bestimmung der Dispersion des Flussspates im Ultrarot. *Annalen der Physik* 4 (1901) 299.
30. H. A. S. Lorentz: *Theorie der Strahlung*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1927.
31. A. Einstein: Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems. *Physikalische Zeitschrift* 10 (1909) 185.
32. Rayleigh: The Dynamical Theory of Gases and of Radiation. *Nature* 72 (1905) 54.
33. J. H. Jeans: On the Law of Radiation. *Proceedings of the Royal Society A* 76 (1905) 545.
34. D. J. Fixsen et al.: The Cosmic Microwave Background Spectrum from the Full COBE FIRAS Data Set. *Astrophysical Journal* 473 (1996) 56.
35. M. M. Gurevich: On the Special Distribution of Radiant Energy. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk* 56 (1955) 417.

Jobb egy mentőötlet mint öt mentő egylet

– írta Karinthy Frigyes az egyletistápolás margójára.

Most Társulatunk kér egyletmentő ötleteket!



Ezek az ötletek nem vesznek el,

ha a <http://forum.elft.hu>

linken, az ELFT stratégiai vitafórumán adjuk elő.

