

A gravitáció hatása a hőmérsékleti sugárzásra

Lendvai József

A sugárnyomás a teljes elektromágneses spektrumban ismert jelenség. A kutatás során olyan kísérlet készült, mellyel az alacsony hőmérsékleti sugárzás sugárnyomása erőmérővel kimérhető volt. Sugárforrásként a nagy hő-kapacitású alumíniumfal szolgált, mely mellé szintén alumínium érzékelővel a sugárnyomás nagysága és iránya került kimérésre. Az eredmények azt tükrözik, hogy a gravitáció a hőmérsékleti sugárzást az alacsony hőmérsékleti tartományban a Föld tömegközéppontja felé deformálja.

A sugárnyomás a teljes elektromágneses spektrumban ismert jelenség. Lebegyev 1901-ben közölte a *Fénynyomás kísérleti vizsgálatát*, Nichols és Hull 1903-ban megismételte^{[1][2]}. A fénynyomás pontos értéke nyári meleg napon délben $4.7 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$.

Tapasztalat szerint két különböző test, A és B között akkor is végbe megy energiaátadás, ha a hővezetés és a konvektív hőcsere gyakorlatilag elhanyagolható. Az energia ilyenkor elektromágneses sugárzás révén jut egyik testről a másikra, mely minden hőmérsékleten zajlik a bennük atomi molekuláris szinten lévő mozgások következtében. A tapasztalat azt mutatja, hogy a melegebb testről a hidegebbre megy át az energia, a melegebb test hűlni fog, a hidegebb pedig melegedni. A hőátadás a hőmérsékleti sugárzás emissziójával, abszorpciójával valósul meg.

A hőmérsékleti sugárzás néhány kvalitatív tulajdonsága:

- ⑩ az energiakibocsátás széles hullámhossz tartományban történik,
- ⑩ a sugárzás intenzitása és spektrális energia-eloszlása egy adott testnél csak a hőmérséklettől függ,
- ⑩ a kibocsátás és az elnyelés folyamata egymástól független.

A testek akkor is sugároznak ha a környezet miatt nem nyelnek el energiát. A két folyamat függetlensége azt jelenti, hogy a sugárzó test nem azt az energiát bocsátja ki, mint amit elnyelt.^[3]

A hőmérsékleti sugárzás klasszikus törvényei

1. Kirchhoff sugárzási törvénye

Adott hullámhosszon és hőmérsékleten bármely testnél az emisszió-képesség és abszorpció-képesség hányadosa állandó. Következménye: a fekete test emisszió-képessége a legnagyobb.

2. Stefan Boltzmann-törvény

Az abszolút fekete test összemisszió-képessége egyenesen arányos az abszolút hőmérséklet negyedik hatványával:

$$j_* = \sigma T^4$$

ahol σ a Stefan-Boltzmann állandó.

3. Wien-féle eltolódási törvény

Az abszolút fekete test emisszió-képességének hullámhossz szerinti maximum-helye (λ_{max}) fordítva arányos az abszolút hőmérséklettel.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

ahol b a Wien-féle eltolódási állandó.

4. Wien-féle második sugárzási törvény

$$I_{max} = kT^5$$

A maximális intenzitás T ötödik hatványával arányos.

5. Rayleigh-Jeans törvény

$$B_\nu(T) = \frac{2\nu^2 kT}{c^2}$$

nagy hullámhosszokon (alacsony ν -nél) megfelel, de a rövid hullámhosszaknál nem.

6. Planck sugárzási törvénye

Az oszcillátorok energiája nem folytonos, hanem kvantált.

$$E = h\nu$$

Több formája használatos:

1. A frekvencia függvényében az intenzitás:

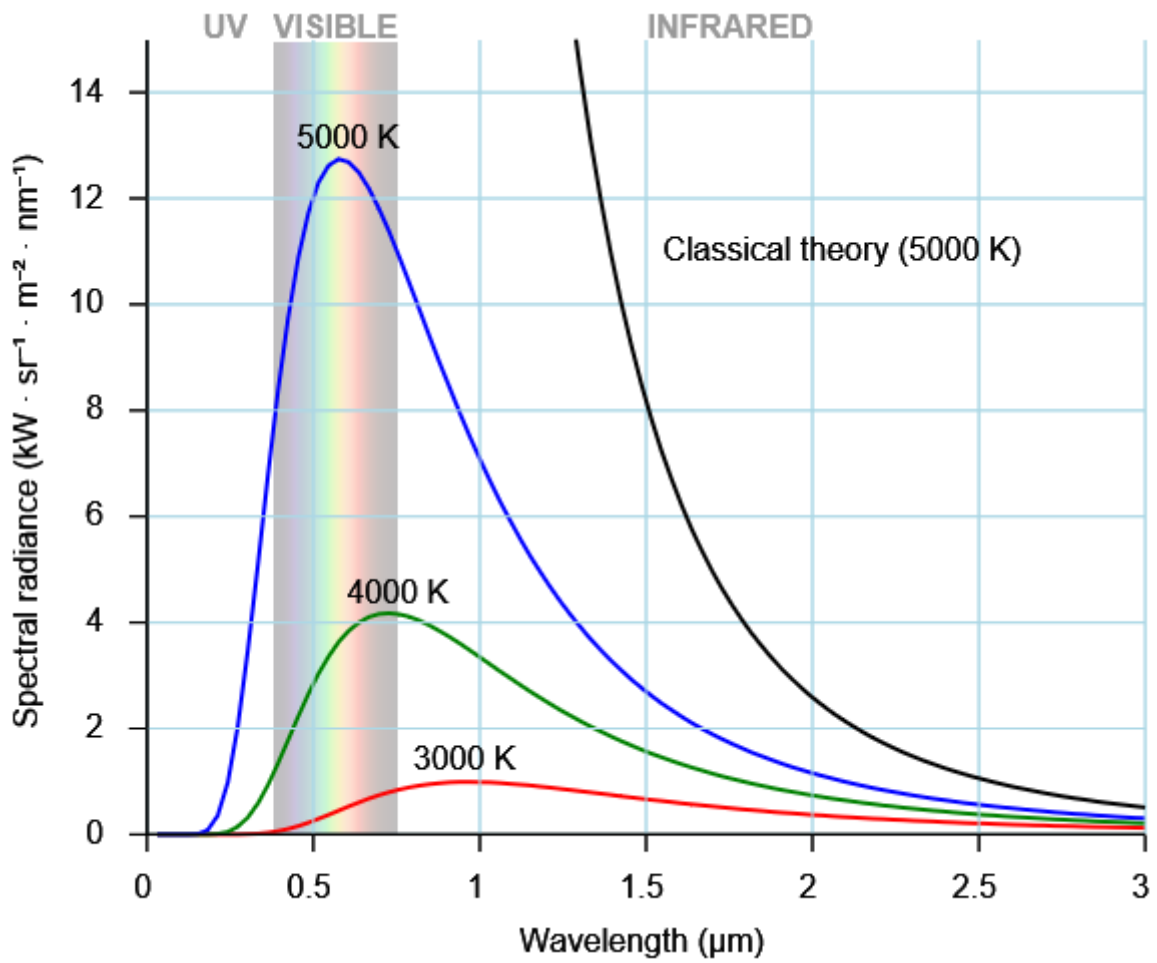
$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} - 1}$$

2. A spektrális energiasűrűség függvényeként:

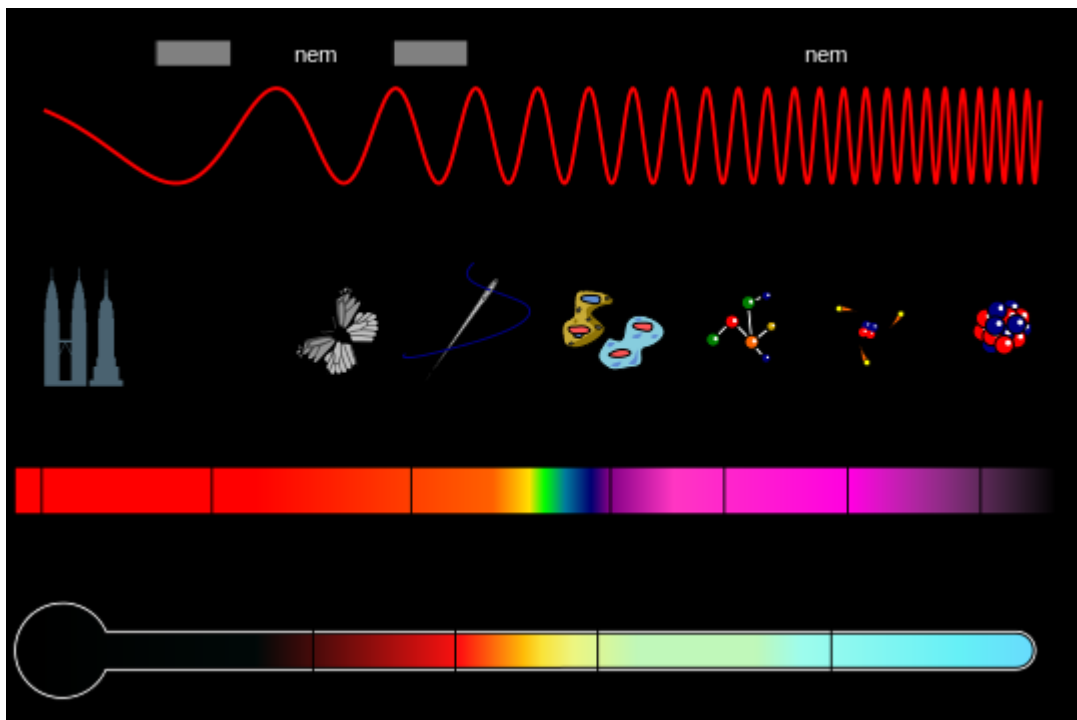
$$U(\nu, T) = \frac{4\pi}{c} I(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} - 1}$$

3. Intenzitás a hullámhossz függvényében:

$$I'(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)} - 1}$$



1. Planck sugárzási törvénye már helyesen írja le az abszolút fekete test emisszióját is.^[4]



2. Elektromágneses spektrum

A nagyobb hullámhosszak felé a görbék egymáshoz közelítenek, és a hőmérsékleti sugárzás a szobahőmérsékleti régióban szinte maximumot nem is mutat.

Jelen előadás tárgya, az elektromágneses spektrum alacsony szobahőmérsékletű régió tartományában a sugárnyomás vizsgálata. Számos földi és világűrbeli kísérlet eredményeként a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás az egyik legjobban tanulmányozott jelenség, mely az elektromágneses spektrum legalsó régiója. A tágulva hűlő világegyetem 2.7 K-es.

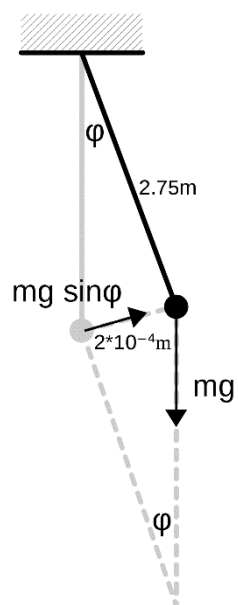
A kísérlet leírása

A kutatás célja a szobahőmérsékletű régió vizsgálata. Az évszaktól függően a földalatti kísérleti helység hőmérséklete 10-18 °C között lassan változott, úgy, hogy a vizsgálat alatt állandónak tekinthető.

Sugárforrásként alumínium téglából felépített fémhasáb szolgált, mely mérete 500x250x250mm (hosszúság, szélesség, magasság). A fémhasáb felemelése, leengedése rögzített pályán kézi emelő szerkezettel történt. A bifiláris ingára erősített fényesre polírozott érzékelők különböző vastagságú Al, Fe, műanyag, és papírkartonból készültek. Ha az Al hasáb hőmérséklete 0.8-1.5 °C-al volt magasabb mint a környezeti hőmérséklet, és a 100 grammos Al lemez érzékelő 10 mm-es távolságra volt a fémhasábtól, akkor a taszítóerő 200 μm kitérést eredményezett, a fémhasáb oldalfalára közel merőlegesen.



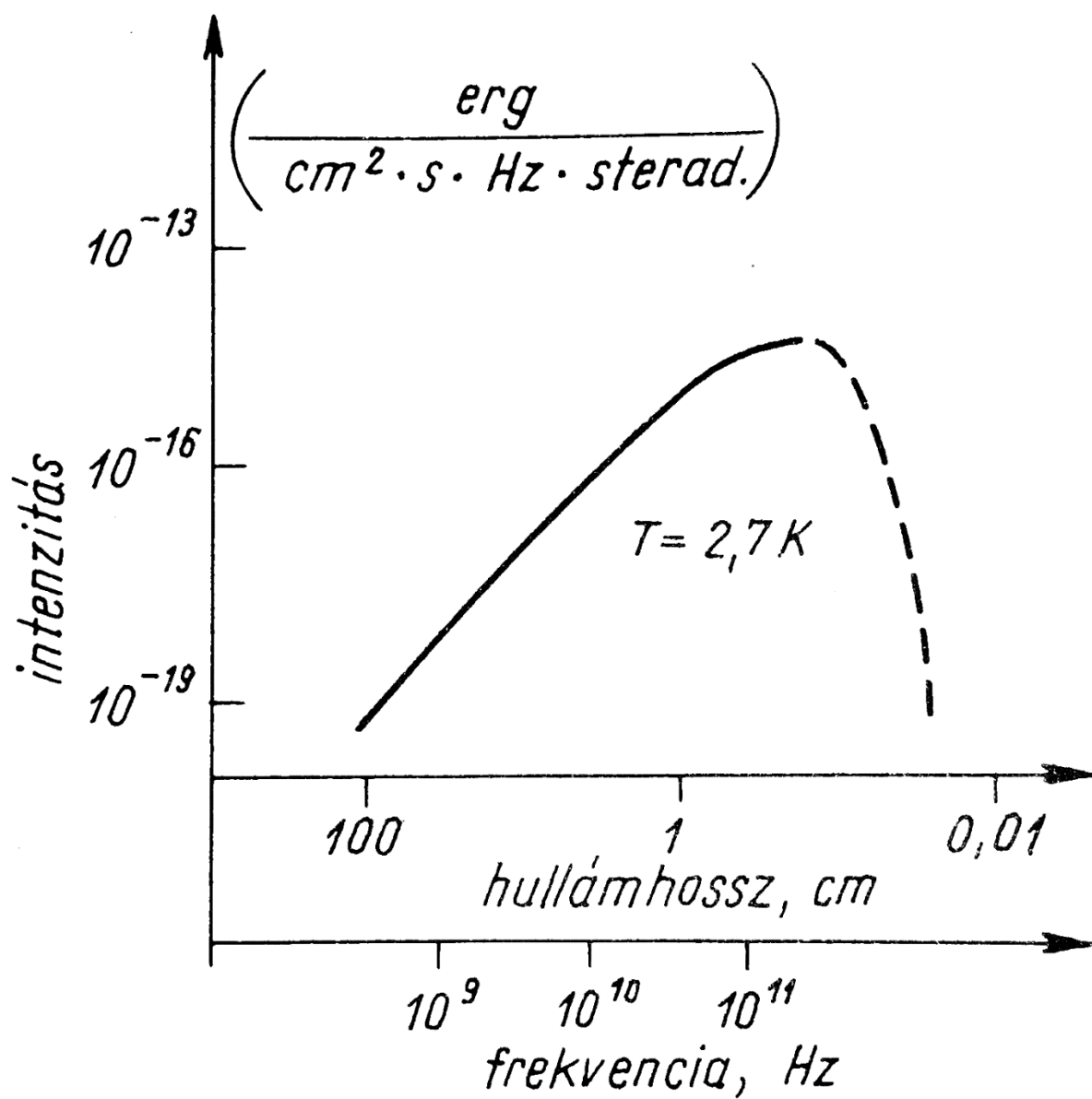
3. A sugárforrás és a bifiláris inga az érzékelővel



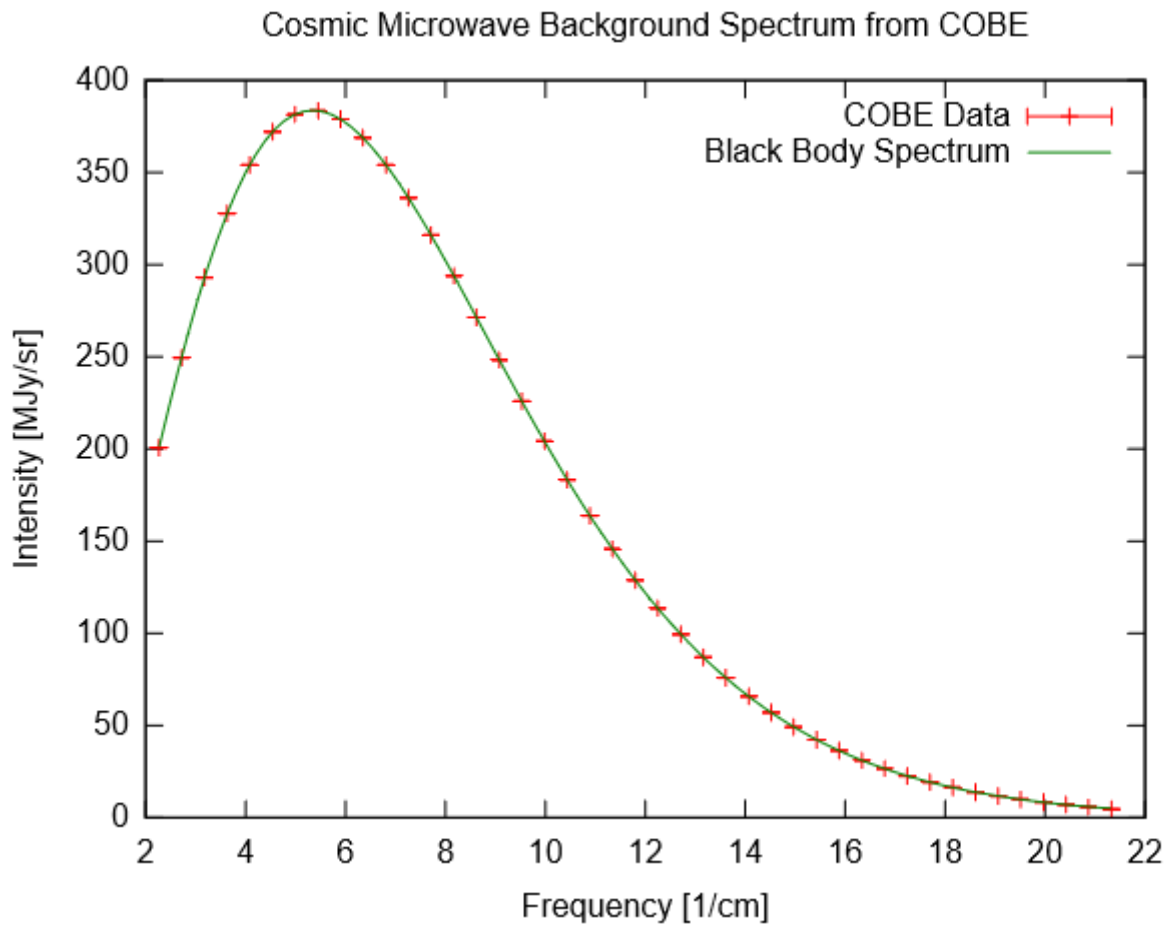
4. Erőösszetevők

Az ábra szerinti erőösszetevők alapján az alacsony hőmérsékleti sugárzás sugárnyomása:

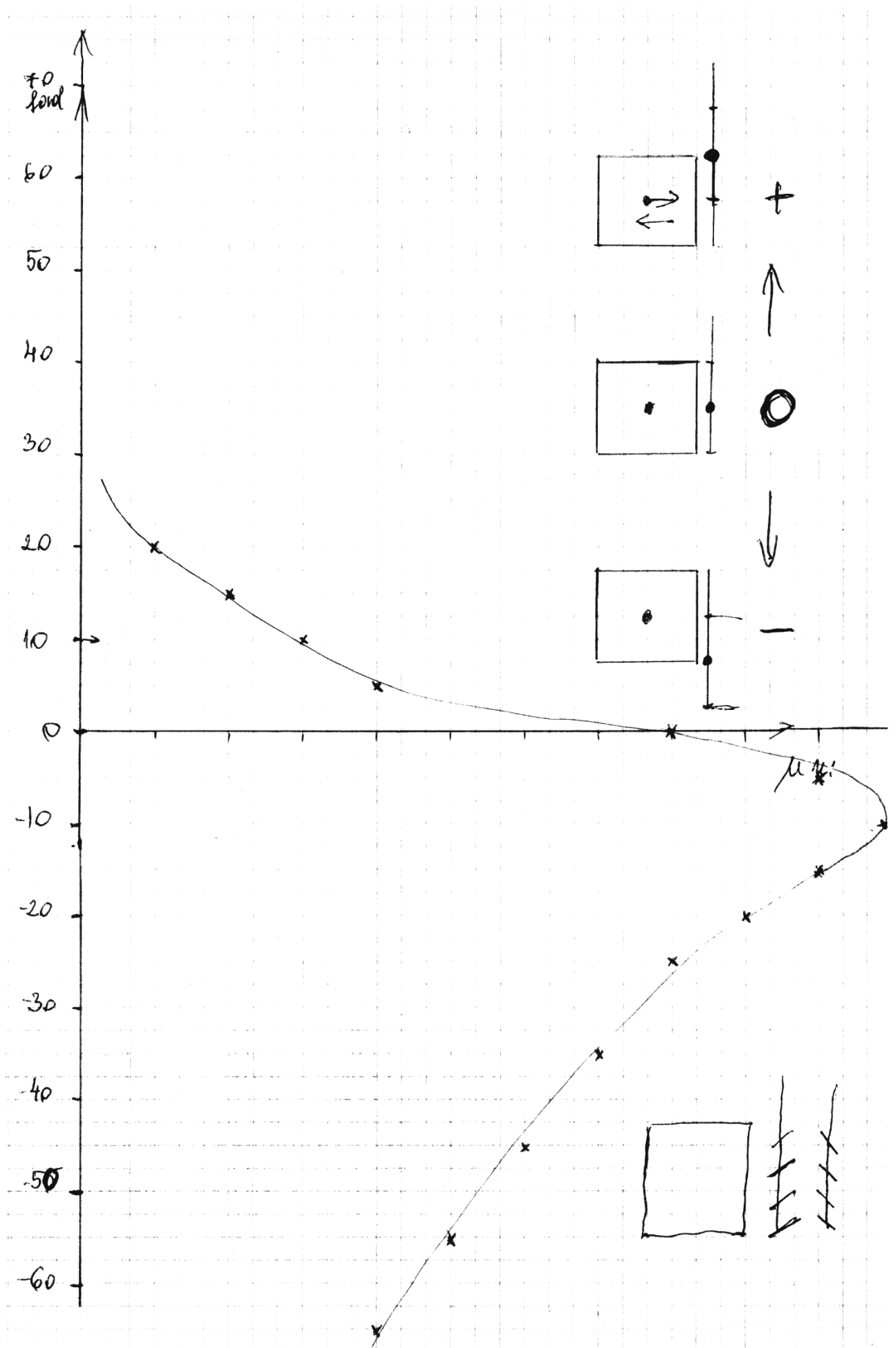
$$P_s = mg \sin \varphi$$



5. A háttérsugárzás görbéje 1986-ban^[5]



6. Az egyik legjobban tanulmányozott jelenség, a fekete test spektruma és a COBE műhold mérőszorozata teljesen megegyezik egymással. A görbe hibahatára a vonal vastagságán belül van.^[6]



7. A hőmérsékleti sugárzás aszimmetriája

A taszítóerő maximuma akkor jelentkezett, mikor a fémhasáb felső része 100 mm-rel feljebb volt az érzékelő lemez felső szélénél.

A taszítóerő irányának meghatározása céljából az addig összefüggő Al lemez érzékelőt felváltottam 50 mm széles lemezcsíkokból készített relaxa-érzékelőre, melynél a csíkok elforgatása révén a hatáskeresztmetszet változtatható.



8. A részekre bontott érzékelő, mellyel a hatáskeresztmetszet változtatható

Amikor a lemezcsíkok lefele, 45° -os szögben voltak, a taszítóerő minimális volt, közelített a nullához. A 90° -al elforgatott lemezcsíkok maximális kitérést mutattak. Ez egyértelmű bizonyítéka annak, hogy a hőmérsékleti sugárzás ebben a szobahőmérsékleti régióban lefelé, a Föld tömegközéppontja felé deformálódik.

Irodalomjegyzék

^[1]Lebegyev, P. (1901). "Untersuchungen über die Druckkräfte des Lichtes".
Annalen der Physik. 311 (11): 433–458.

^[2]Mult-kor folyóirat, "140 éve született Pjotr Lebegyev". 2006. március 8.

^[3]S. Blundell, K. Blundell (2006). "Concepts in Thermal Physics".
Oxford University Press. p. 247. ISBN 978-0-19-856769-1.

^[4]Planck, 1914, p. 6., p. 168.

^[5]Simonyi, K. "A fizika kultúrtörténete", 1986. p. 509.

^[6]White, M. (1999). "Anisotropies in the CMB".
Proceedings of the Los Angeles Meeting, DPF 99. UCLA.