
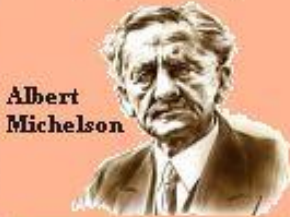


← a Földpálya átmérője



Betelgeuse



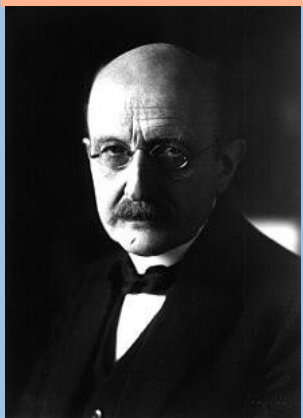
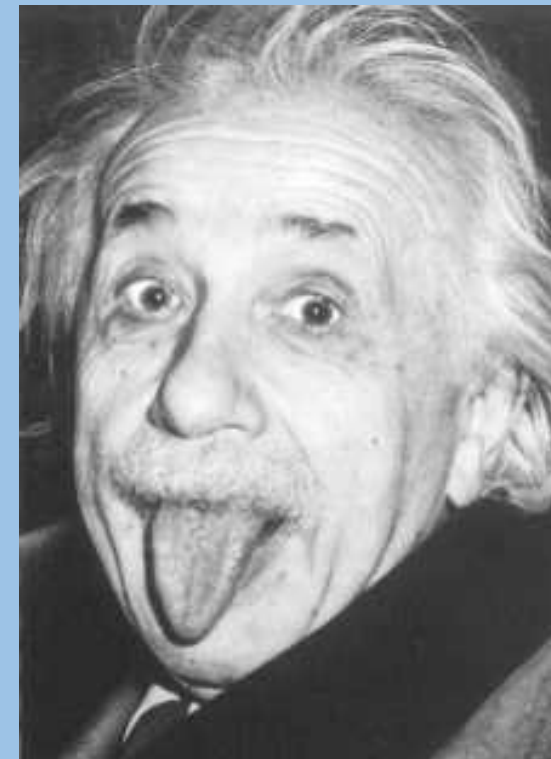
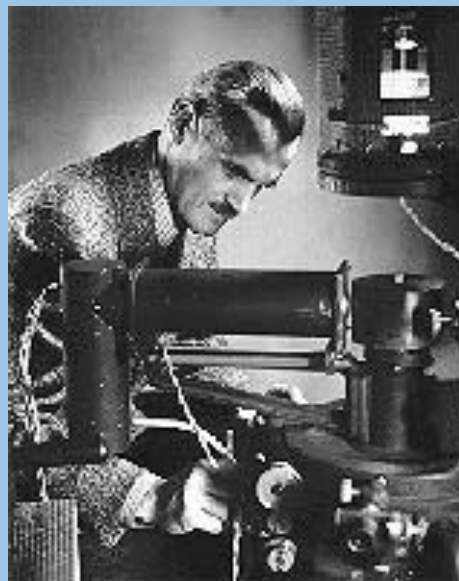
Albert Michelson

egy csillag fénye

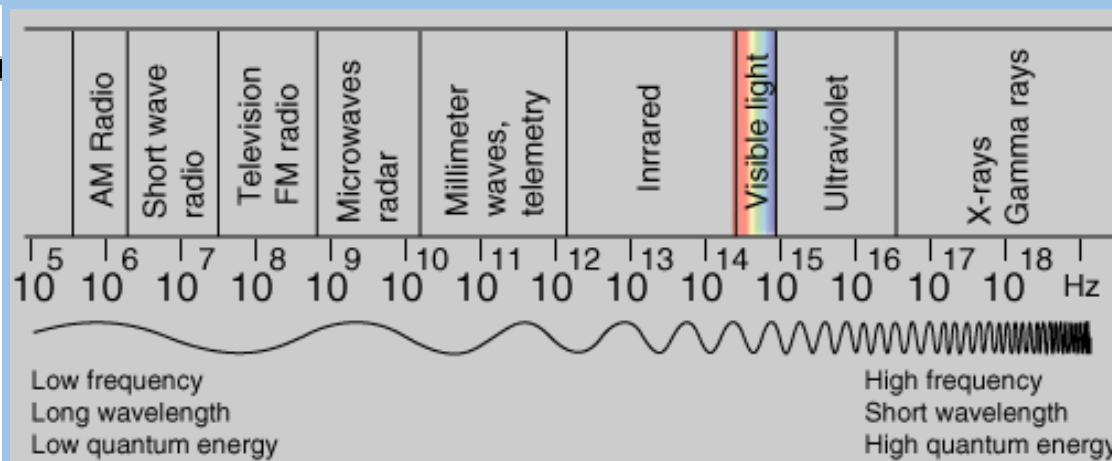
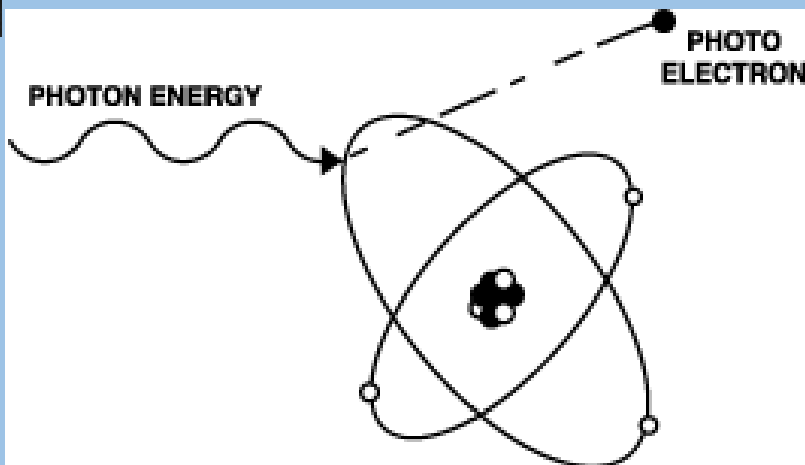
17m

tükrök

távcső



Modern fizika születése



Ebben a tudományágban már szinte mindent felfedeztek!



Philip von Jolly:

„sondern aufgrund der Annahme, dass die theoretische Physik keine weitreichenden Perspektiven mehr biete.“

"in this field, almost everything is already discovered, and all that remains is to fill a few unimportant holes."

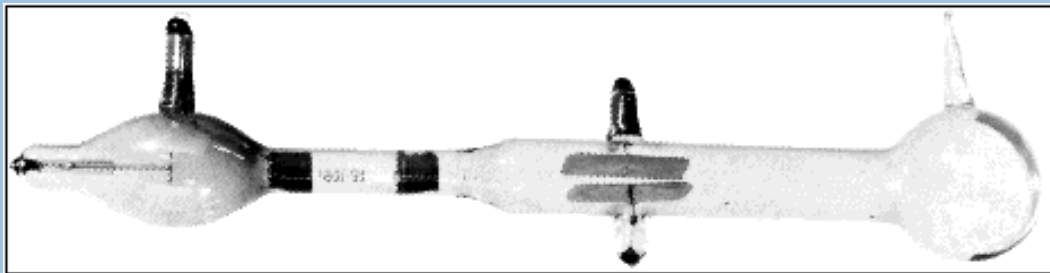
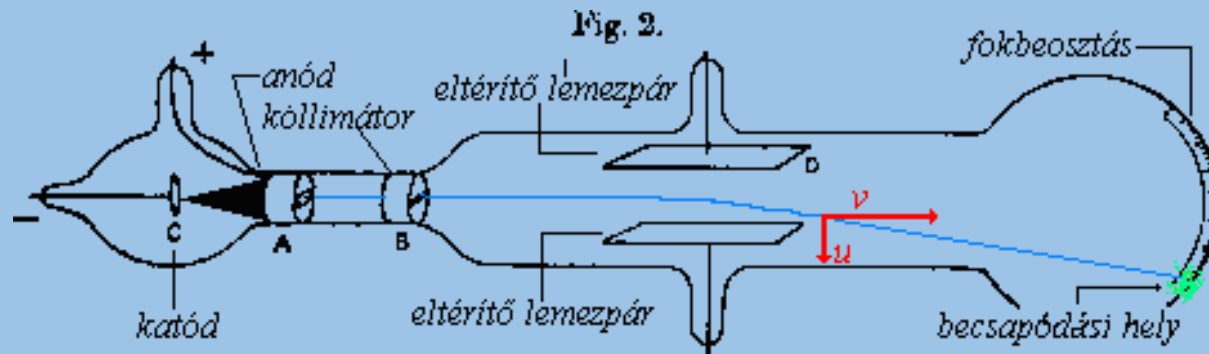


A 1867-ben az érettségi előtt álló Max Plancknak fizikaprofesszora, Philip von Jolly azzal a megjegyzéssel hűtötte az elméleti fizika iránti érdeklődését, hogy **„ebben a tudományágban már szinte mindent felfedeztek, és már csak néhány jelentéktelen lyukat kell betömni”** – az időben sok fizikus gondolta így.

Planck szerény maradt: „Nem kergetem azt a vágyat, hogy egy új világot fedezzek fel, **csupán csak a fizikai tudomány meglévő alapjait kívánom megérteni**, talán még jobban elmélyíteni.”^[1]

A rejtélyes elektron

Csaknem fél évszázadon keresztül kutatták kiváló fizikusok a katódsugárzás rejtélyét, de a sok nagyszerű eredmény mellé hibás mérések, és főként rossz következtetések is párosultak.



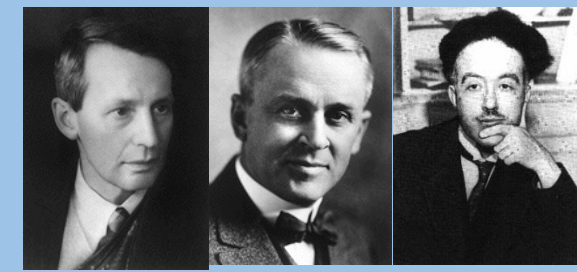
Az ábrán illetve a fényképen látható katódsugárscsővel végezte el Thomson a sorsdöntő méréseit.

A két eltérítés alapján határozta meg J.J. Thomson a sugárzást alkotó részecske (későbbi nevén: elektron) fajlagos töltését (Q/m) 1897-ben.

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e^- = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

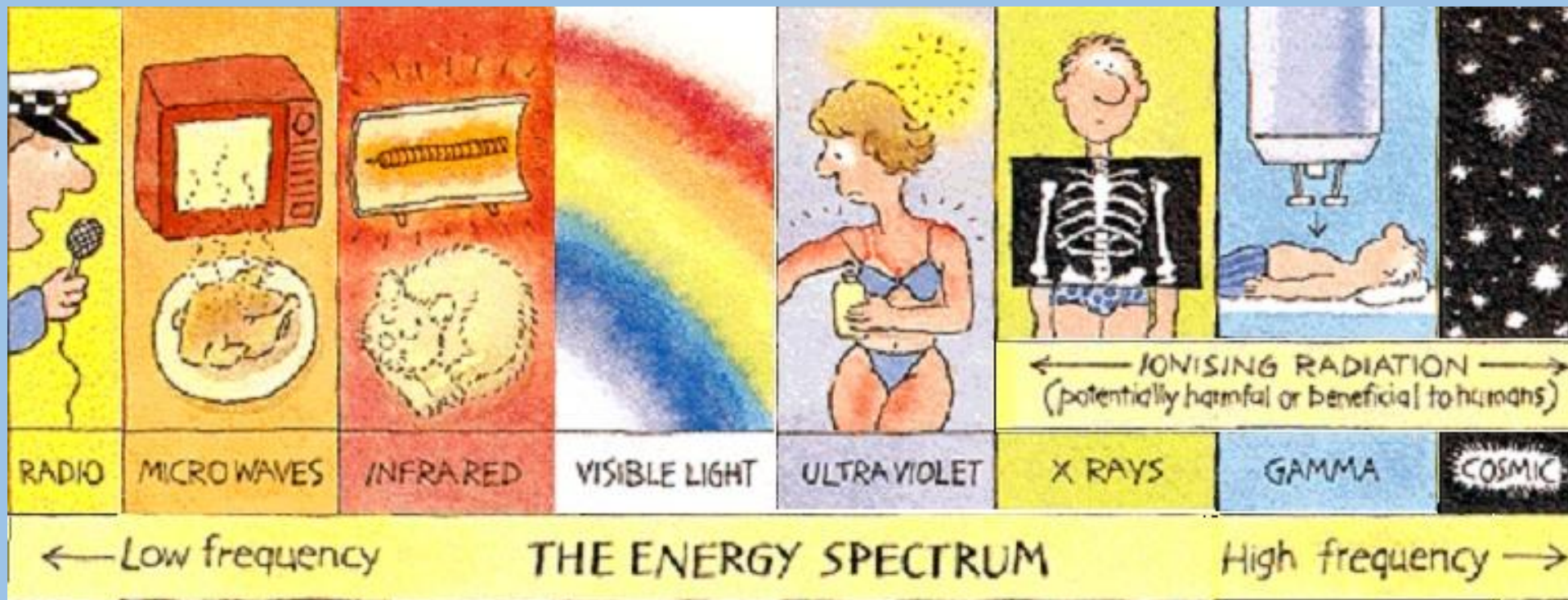
Az **elektron tömegét**, töltését es egyéb tulajdonságait a későbbiekben sikerült pontosan meghatározni. **Az elektron töltése az ún. elemi töltés.**



A fény mint elektromágneses hullám (1800-as évek vége)

- Elévülhetetlen érdemei voltak J.M. Maxwellnek az elektromágneses sugárzás és a fény tanulmányozásában.
- A fény a levegőben (és az egyenletes sűrűségű anyagokban) **egyenes vonalban terjed.**
- A fény **transzverzális elektromágneses hullám.** Elektromos és mágneses tér váltakozásával terjed. Polarizálható.
- Terjedési **sebessége vákuumban $c=3 \cdot 10^8$ m/s.** *Ez olyan nagy sebesség, hogy a fény egy másodperc alatt hét és félszer kerülné meg a Földet. Ennél nagyobb sebességgel sehol sem terjed.*
- **Optikailag sűrűbbnek** nevezzük két közeg közül azt a közeget, amelyben a fény **lassabban terjed.**

A fény, mint elektromágneses hullám



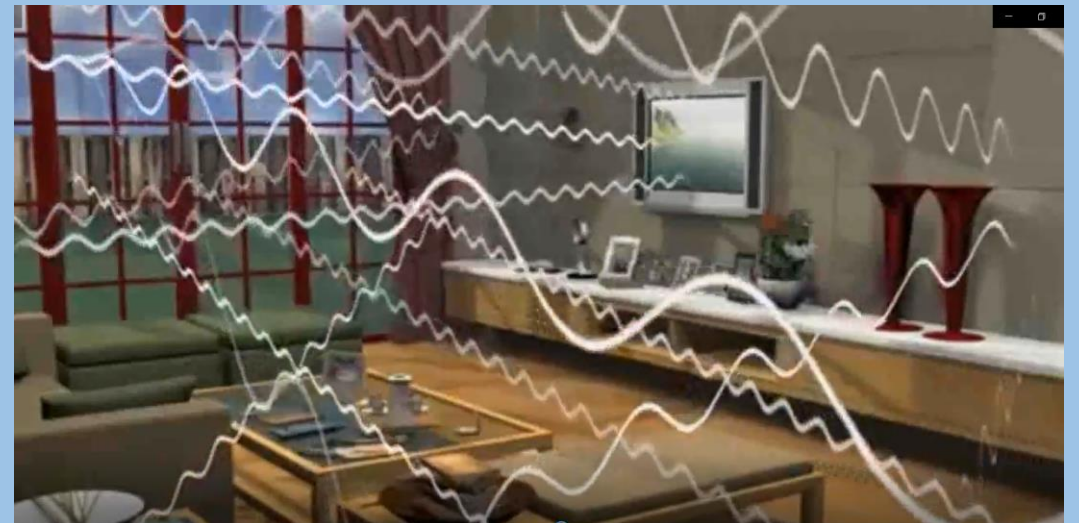
Elektromágneses hullámok spektruma

A röntgensugarak láthatatlan elektromágneses hullámok. A hullámhosszuk sokkal rövidebb mint a látható fényé.

Látható fény: $3,7 \cdot 10^{14} \dots 8,1 \cdot 10^{14}$ Hz

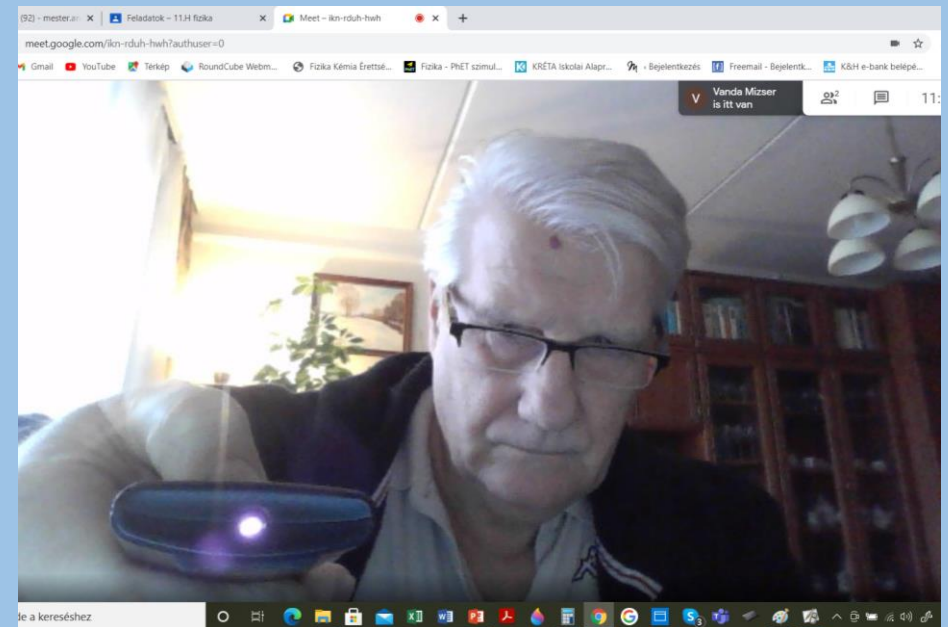
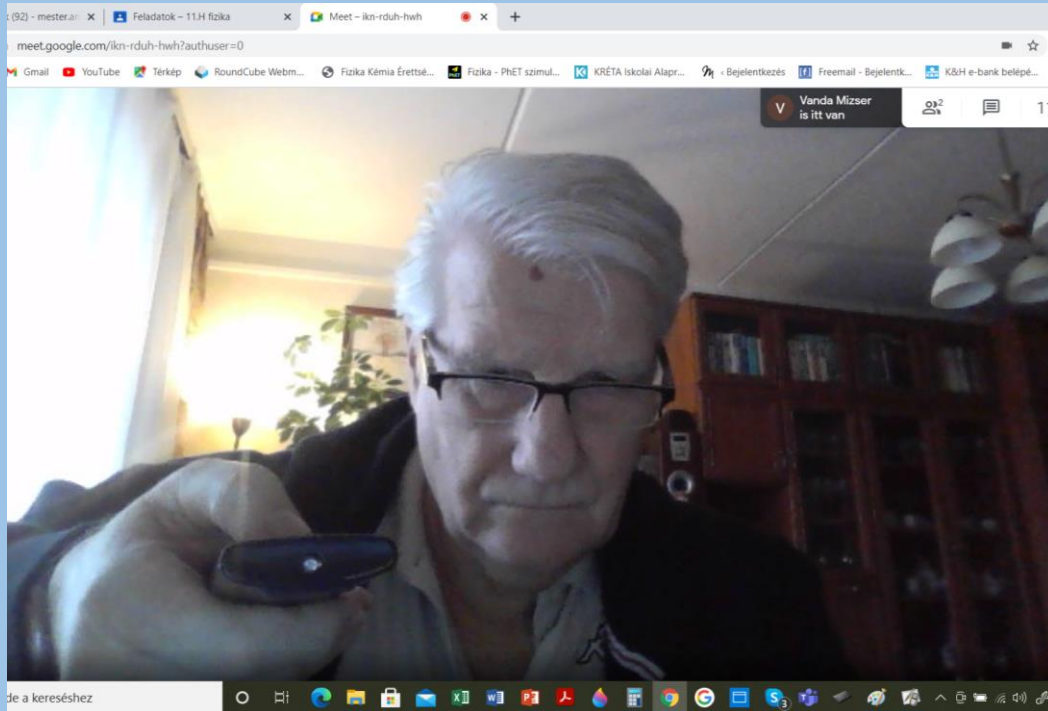
Röntgensugarak: $8,1 \cdot 10^{15} \dots 5 \cdot 10^{19}$ Hz

Elektromágneses sugarak özönében élünk



Az elektromágneses sugárözönből csak a szemünk által látottakat érzékeljük.
A mobiltelefon, a rádió más hullámokra érzékeny.

A videokamera és a telefon kamerája segítségével láthatóvá tehető az infravörös sugarak



Távirányító infravörös sugarainak megjelenítése.

A kvantumfizika születése

Néhány megoldatlan probléma:

- Hőmérsékleti sugárzás
- Fotoeffektus értelmezése

Abszolút fekete test

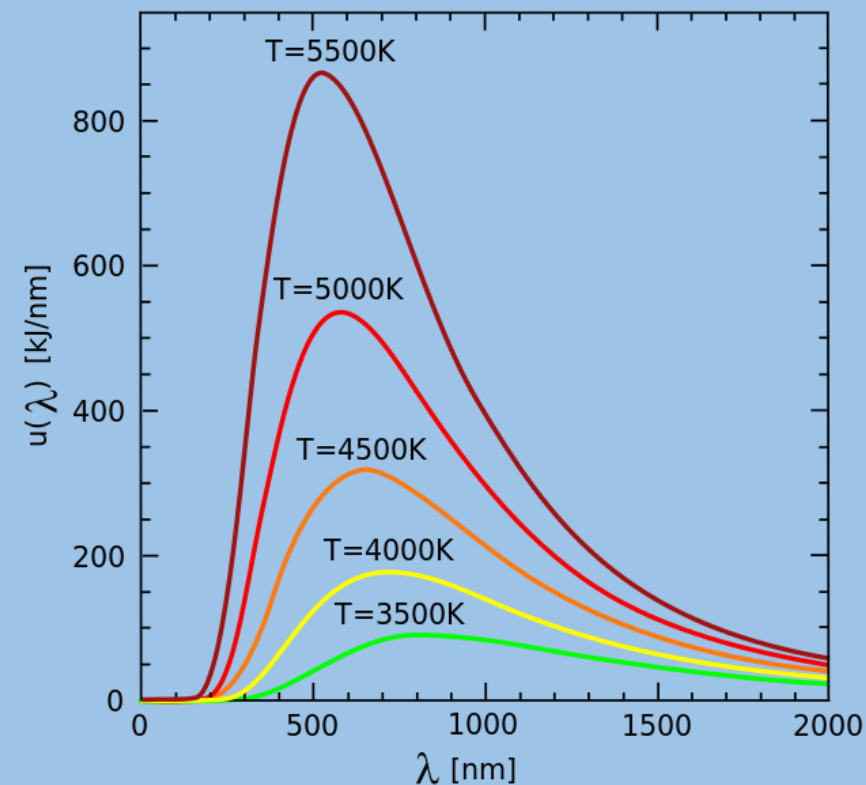
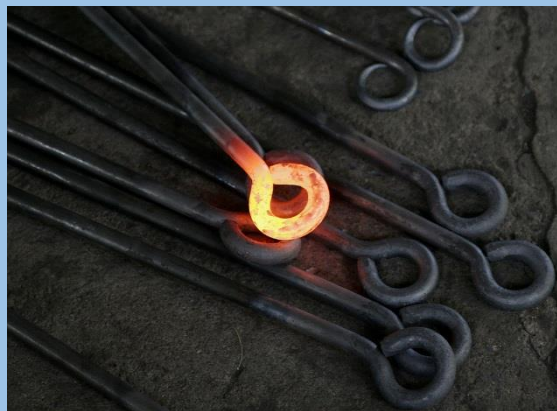
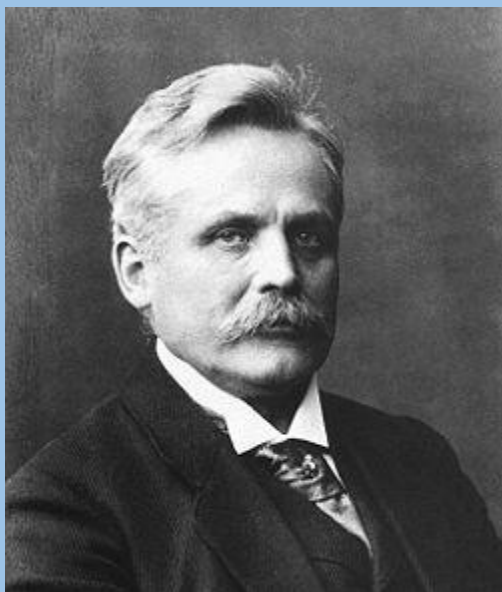
- **Idealizálás:** Abszolút fekete test az, amely bármely **hullámhosszúságú ráeső sugárzást teljesen elnyel.**
- Kirchhoff (1860): Ha valamely **test egy** meghatározott hullámhosszú sugárzást **kibocsát, ugyanazt el is nyeli.**
- Pl. a nátrium lángja a sárga dominál, ugyanakkor a Na-gőzök a sárga fényt nyelik el.

Hőmérsékleti sugárzás

- **Hőmérsékleti sugárzás**nak nevezzük az anyag hőmozgása miatt kibocsátott elektromágneses sugárzást.
- A testek minden $T > 0$ K hőmérsékleten elektromágneses hullámokat bocsátanak ki, a környezet hőmérsékletétől függetlenül.
- A sugárzás kibocsátásakor (***emisszó***) lényegében a test belső energiája átalakul elektromágneses energiává, a sugárzás elnyelésekor (***abszorpció***) pedig az elektromágneses energia alakul belső energiává.



A fekete test sugárzásának hullámhossza és hőmérséklete közötti összefüggés



Wilhelm Wien (1864–1928) német fizikus

Fizikai Nobel díjat kapott 1911-ben

A fekete test sugárzásának hullámhossza és hőmérséklete közötti összefüggést írta le első ízben Wien írta.

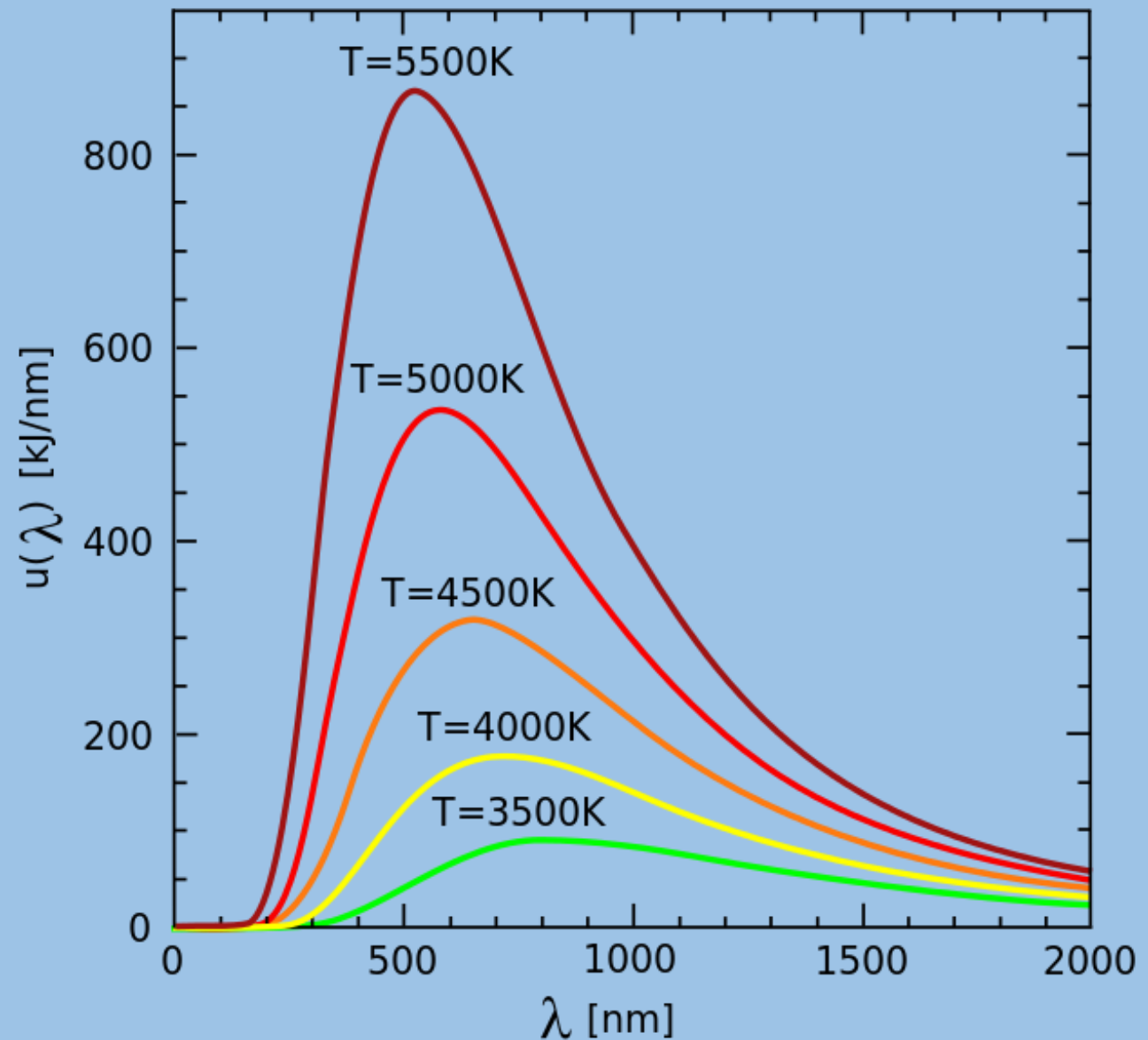
A kohászok az olvadék színéből meg tudták állapítani a hőmérsékletét

Wien-féle eltolódási törvény

A fekete test sugárzásának hullámhossza és hőmérséklete közötti összefüggés:

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

ahol λ_{max} a csúcs hullámhossza,
T a fekete test abszolút
hőmérséklete, és
b az arányossági tényező



A Wien-féle eltolódási törvény értelmében a maximális intenzitás hullámhossza annál kisebb (frekvenciája annál nagyobb), minél nagyobb a sugárzó test hőmérséklete. A látható fény 380 és 750 nm között található.

Stefan-Boltzmann törvény

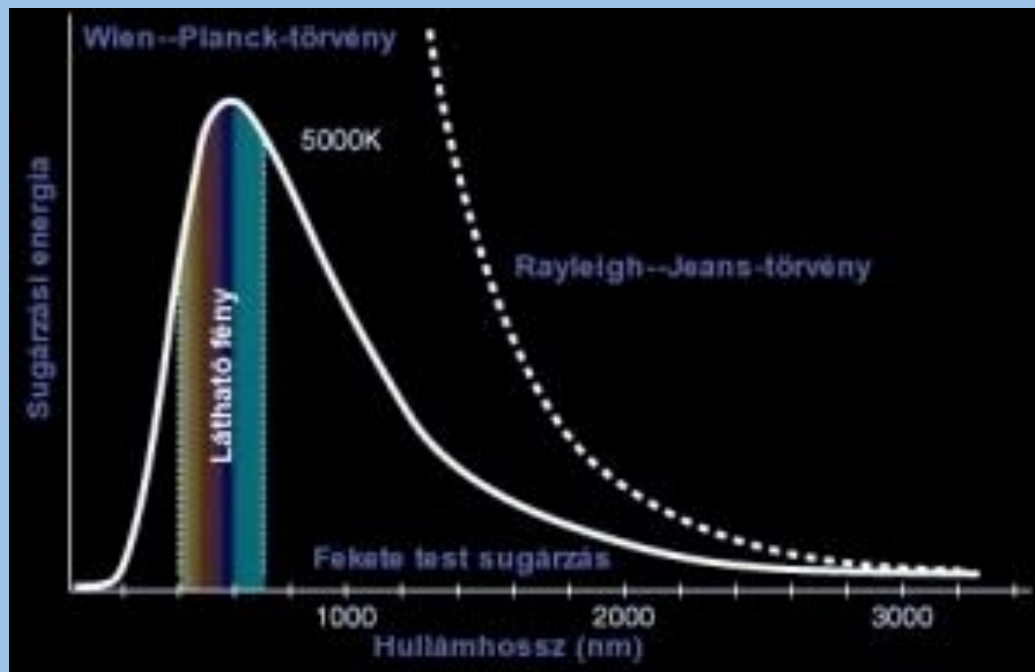
A fekete test sugárzásának törvényszerűségét Joseph Stefan és Ludwig Eduard Boltzmann vizsgálta.

1879-ben felismerték, hogy a fekete test sugárzási teljesítménye (I) a hőmérséklet (T) negyedik hatványával arányos (Stefan-Boltzmann-törvény).

$$E_{\text{teljes}} = \sigma \cdot T^4$$

Klasszikus modell a hőmérsékleti sugárzásról

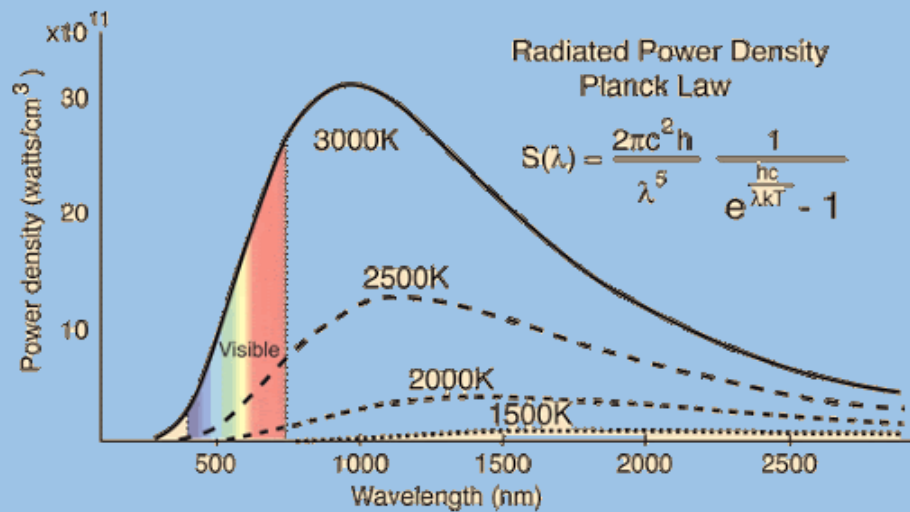
- A molekulák rendezetlen hőmozgásának energiája részben az elektronoknak és az atomoknak adódik át, és így ezeket rendszertelen, **mindenféle frekvenciájú** rezgésekre gerjeszti.
- A rezgő töltések viszont –mint apró oszcillátorok- elektromágneses hullámokat bocsátanak ki, amelyekben **mindenféle frekvencia** ill. hullámhossz fellép (emisszió)



***Kérdés:
Milyen matematikai
összefüggéssel írhatók
le a tapasztalt
törvényszerűségek?***

- 1900-ra a fekete testek sugárzását elméletileg meg tudták magyarázni maximumától kisebb és nagyobb hullámhosszakon. Azonban ehhez két eltérő alapokon nyugvó elmélet kellett. A Wien--Planck-féle elmélet a kis hullámhosszakon, míg a Rayleigh--Jeans-féle a nagy hullámhosszakon tudta megmagyarázni a sugárzás hullámhosszfüggő intenzitáseloszlását. míg a Rayleigh--Jeans-törvény értelmében kicsi hullámhosszakon alakul megfelelően.
- **De mindkét elmélet hibásan írta le a fekete test sugárzás teljes spektrumát (rendre a nagy illetve kis hullámhosszakon).**

Planck formula a fekete test sugárzásának leírására

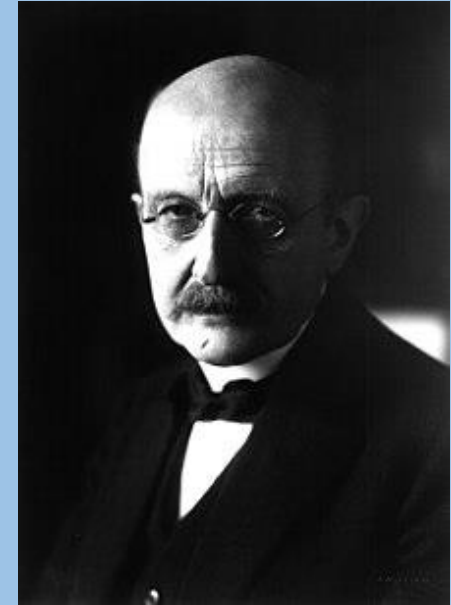


When these functions are multiplied by the total solid angle of a sphere (4π steradian) we get the **spectral irradiance** (E_f or E_λ). This function describes the power per area per frequency or the power per area per wavelength.

$$E_f = \frac{8\pi h f^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ Hz}} \right]$$

$$E_\lambda = \frac{8\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ m}} \right]$$

When either of these functions is integrated over all possible values from zero to infinity, the result is the **irradiance** or the power per area.



Max Planck (1858-1947)

- Sokan próbálták a hőmérsékleti sugárzás tapasztalati törvényeit a klasszikus fizika törvényeivel magyarázni, sikertelenül.
- Max Planck 1900-ban olyan matematikai összefüggést vezetett le, amely **pontosan összhangban volt a tapasztalatokkal**. Feltételezte, hogy a testek hőmérsékleti sugárzásának energiája kis adagokból, ún. kvantumokból tevődik össze.

Planck: A sugárzás kvantumos

- Plancknak olyan **újszerű elvet** kellett feltételeznie ahhoz, hogy a fekete test sugárzási képletet megkapja, ami akkor még különlegesnek hatott.
- Planck arra az eredményre jutott, hogy **a sugárzási folyamatoknál az energia leadása vagy felvétele nem egyenletesen történik, hanem csak kis adagokban, "kvantumokban" lehetséges.** Ezen kvantumok energiája az elnyelt vagy kibocsátott sugárzás frekvenciájának (f) és egy univerzális állandónak (h) - ma ezt Planck-állandónak nevezzük - a szorzata.

$$\varepsilon = h \cdot f$$

Planck állandó:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} Js$$

Matematikai ügyeskedés? *Nem!*

$$E_f = \frac{8\pi h f^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1} \quad \left[\frac{W}{m^2 Hz} \right]$$

Annalen der Physik 4 (1901): 553.:

Adott hőmérsékleten, adott frekvencián felületegységre kisugárzott energia.

h: Planck állandó

k: Boltzmann állandó

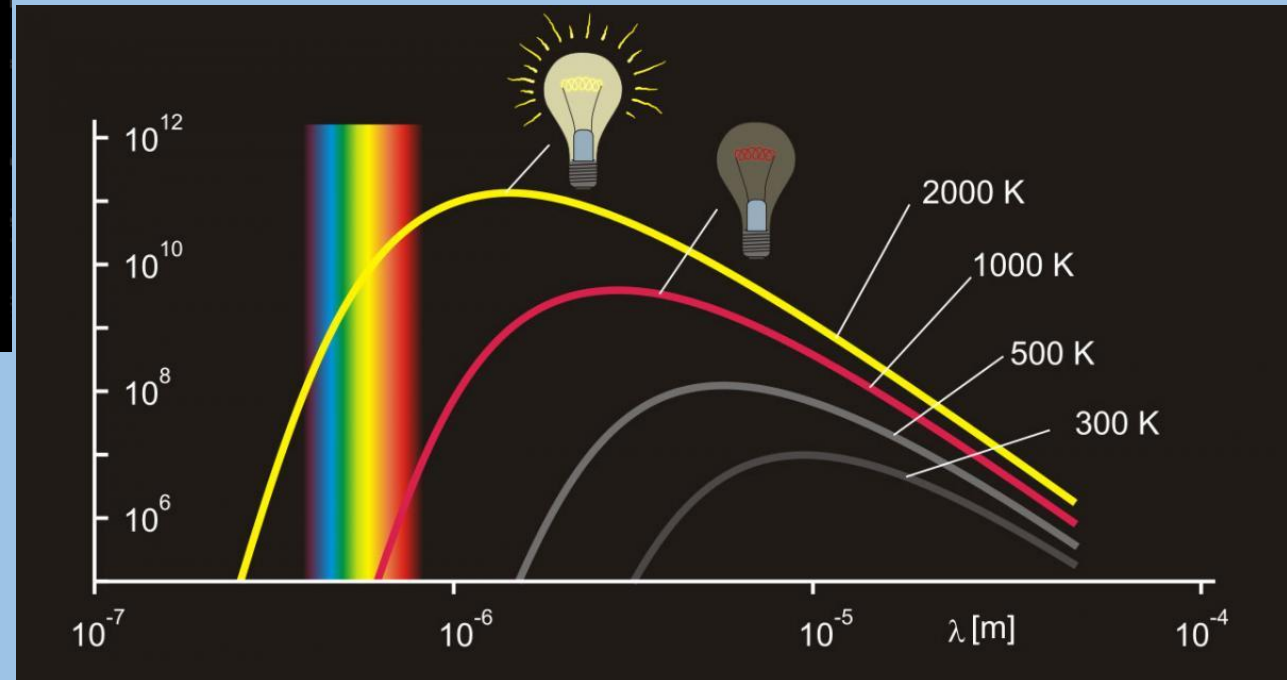
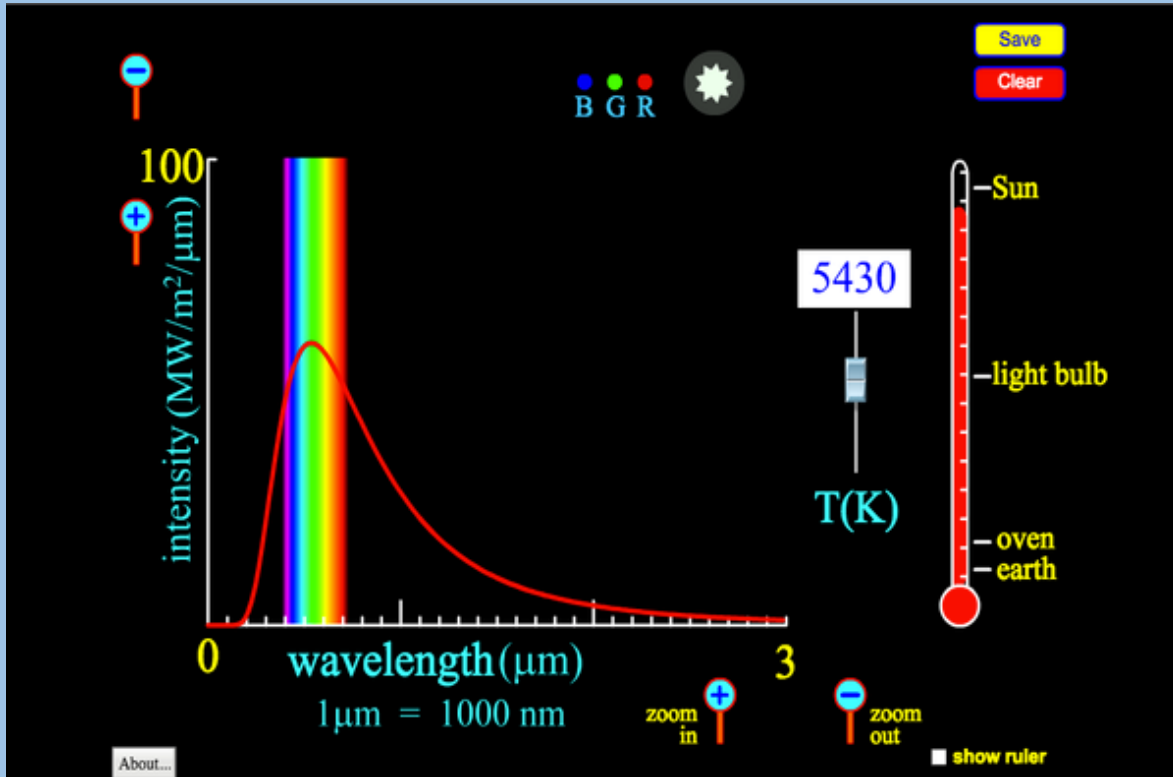
T abszolút hőmérséklet

c: fénysebesség

- **Planck kvantumhipotézisét** eleinte matematikai ügyeskedésnek tekintették.
- Átütő sikert az hozott, hogy segítségével egy másik XIX. sz. végi probléma, a fotoeffektus ellentmondására is magyarázatot lehetett adni

A Planck-féle sugárzási törvényt majd húsz évig kétségek kísérték, hiszen a sugárzás kvantumosságának elvét **csak később sikerült**, a kvantummechanika megszületését követően **bizonyítani**.

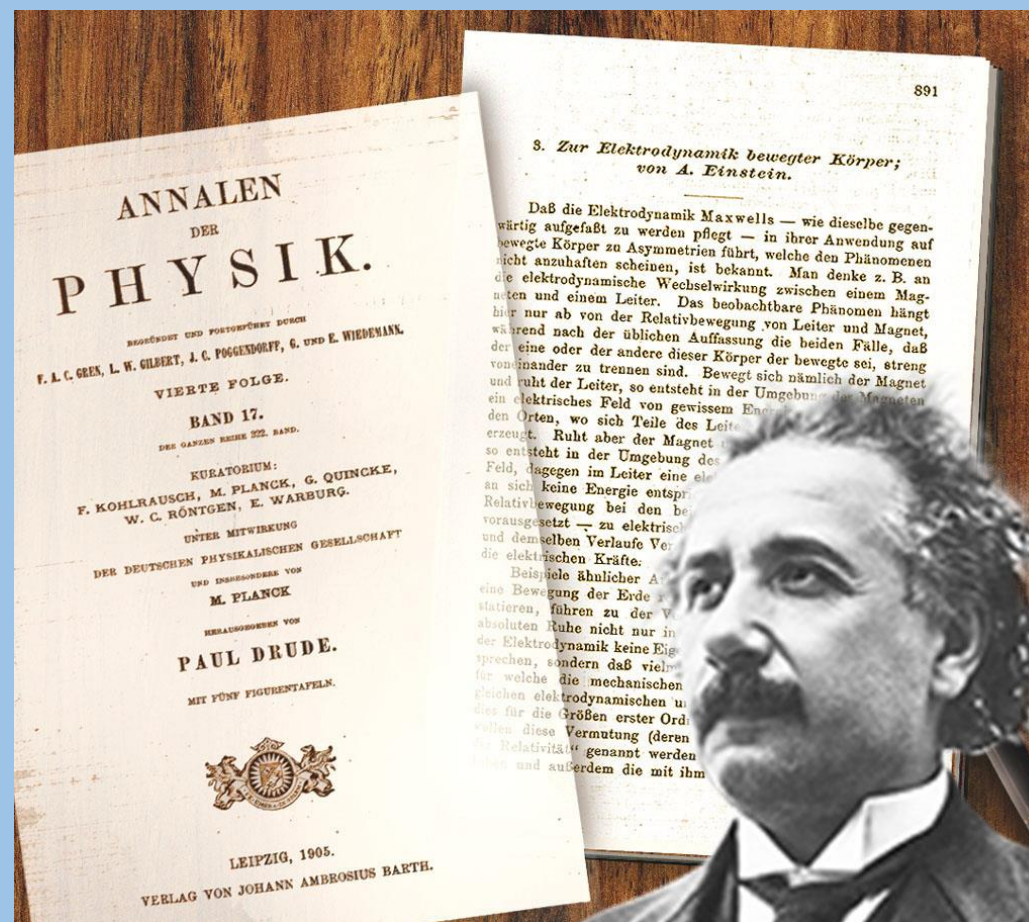
Miért gazdaságtalan a hagyományos villanykörte?



A hagyományos villanykörte által kisugárzott energiának csak kis része tartozik a látható tartományba.

1905 Einstein éve

Albert Einstein 1905-ben több forradalmi gondolatot publikált az Annalen der Physik című folyóiratban

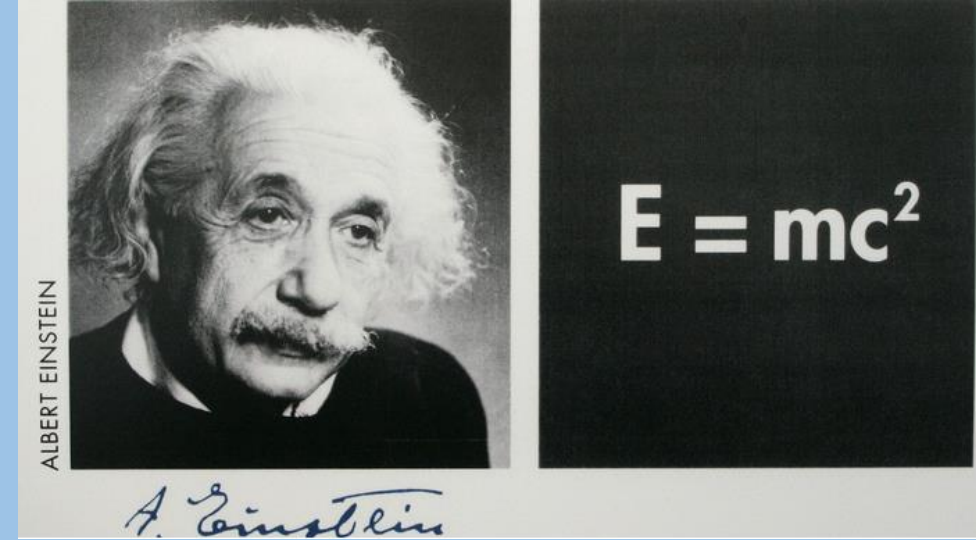


Relativitás elmélet születése

Einstein **harmadik dolgozata** (1905) „*A mozgó testek elektrodinamikájáról*” (eredeti nyelven, németül: "*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*") címet viselte. **Ez a munka vezeti be a speciális relativitáselméletet:** az idő, a távolság, tömeg és energia olyan elméletét, mely összhangban van az elektromágnesességgel, de még nincs benne a gravitáció. A speciális relativitás szolgált a Michelson-Morley kísérlet óta fennálló rejtély megoldására. A kísérlet kimutatta, hogy a fénysebesség állandó, és nem függ a megfigyelő mozgásától. Ez a newtoni klasszikus mechanika szerint lehetetlen volt.

A **negyedik dolgozata** a „Függ-e a test tehetetlensége az energiájától?”, mely 1905 végén került publikálásra, a relativitás axiómájának újabb következményét mutatta meg, a híres **$E = mc^2$** egyenletet.

Összegezve



Albert Einstein 1879-1955

- Albert Einstein a speciális relativitás elméletében leírta, hogy nincs éter (amelyben a fény terjedne). De akkor mihez viszonyítva mozog a fény az ismert c sebességgel?
- Einstein: **A fénysebesség minden inerciarendszerben ugyanakkora.**
- **Einstein tömeg-energia ekvivalencia egyenlete: $E = m \cdot c^2$**
- E egy tetszőleges test összenergiája, m a test tömege, c pedig a vákuumbeli fénysebesség. Tehát egy test összenergiája és tömege egymással egyenesen arányos. Eszerint, **ha egy testnek nő az energiája (például gyorsítjuk), akkor nő a tömege is.** Ezeket csak nagy energiákon észleljük, mert csak a fénysebesség közelében válik jelentőssé: