

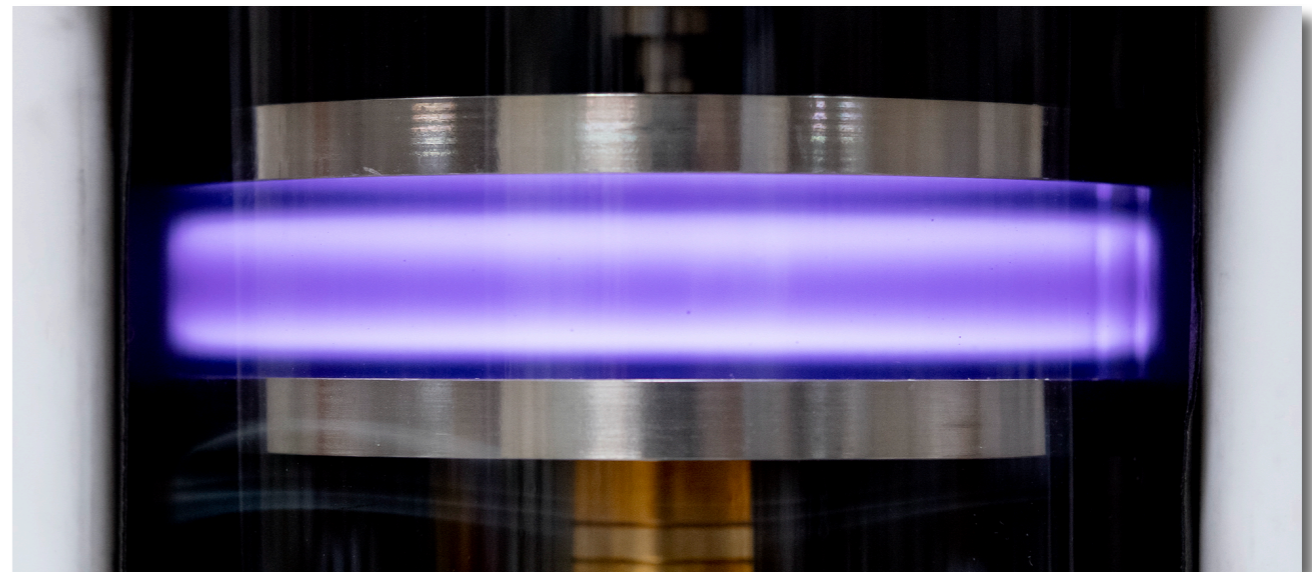
Alacsony hőmérsékletű plazmák kísérleti és numerikus diagnosztikája:

Hogyan számítsuk ki egy gázkisülés fénykibocsátását?

Donkó Zoltán

Wigner Fizikai Kutatóközpont
Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet
Komplex Folyadékok osztály

Simonyi nap — 2022. október 18.



Bevezető

Alacsony hőmérsékletű plazmák

kísérleti

és

numerikus

diagnosztikája

Alapjelenségek

Hogyan kelthetünk alacsony hőmérsékletű plazmákat?
Milyen részecskék alkotják?

Alacsony hőmérsékletű plazmák alkalmazásai

Miért érdekesek?

Kísérleti vizsgálati módszerek

Numerikus szimulációk

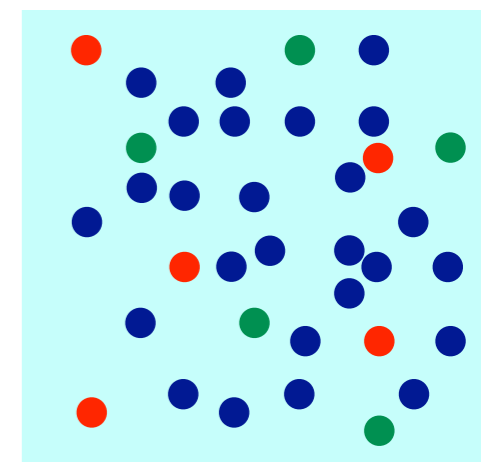
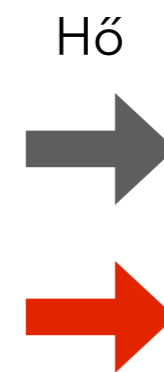
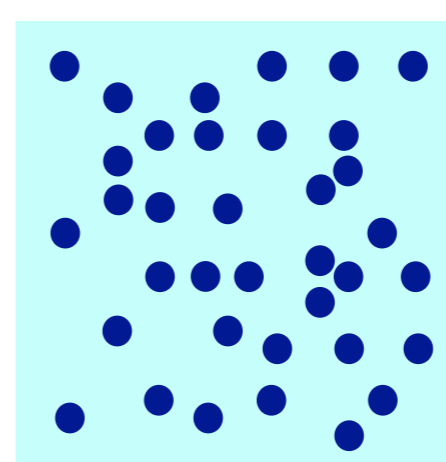
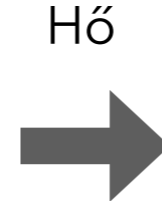
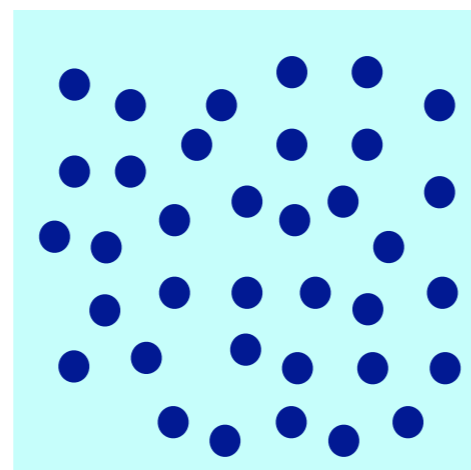
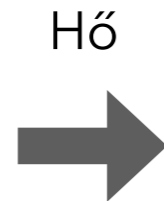
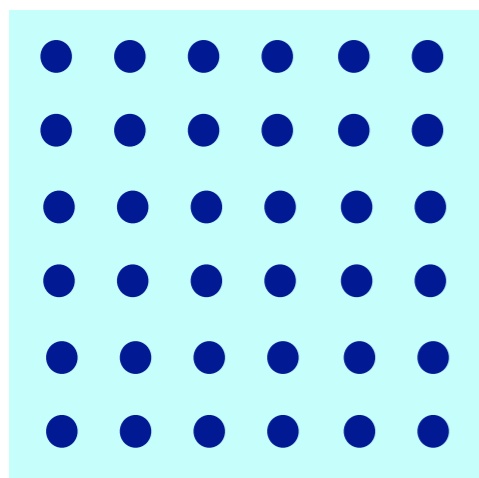


Szilárd

Folyadék

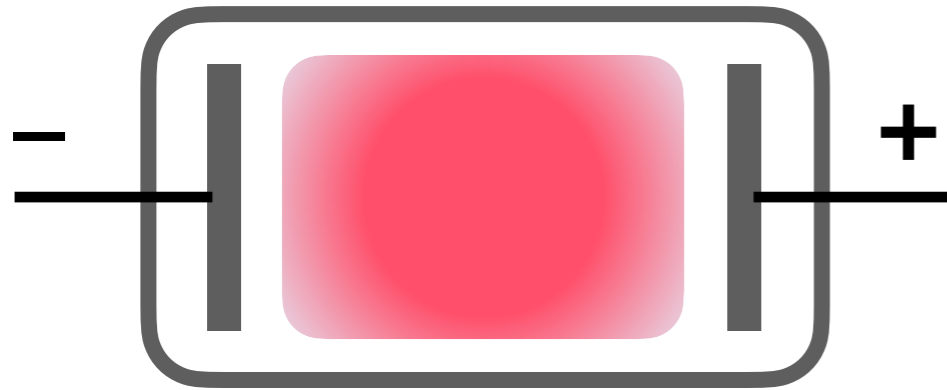
Gáz

Plazma

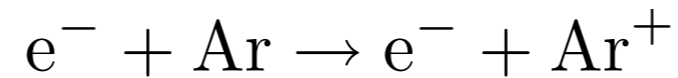


Fotonok, elektronok,...

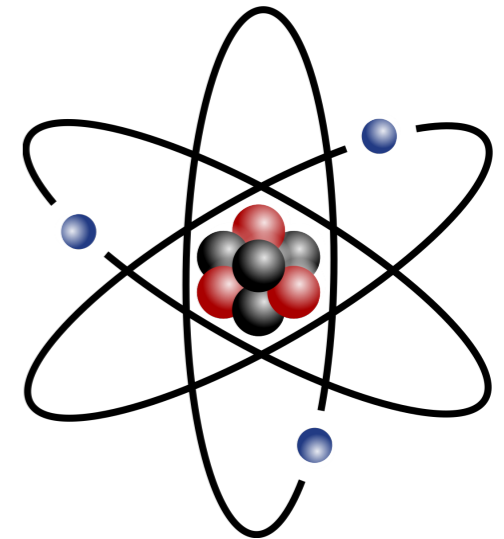
Alapjelenségek



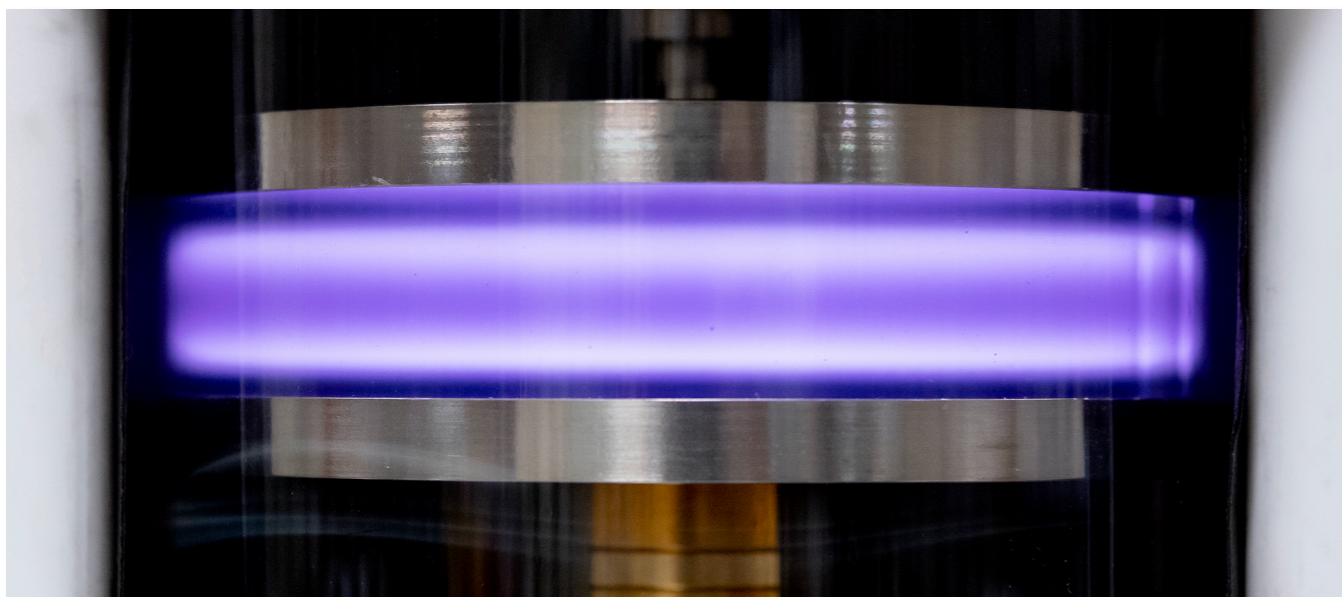
Az alapvetően semleges gázok elektromosan vezető, **plazma** állapotba kerülhetnek megfelelően nagy feszültség alkalmazásával



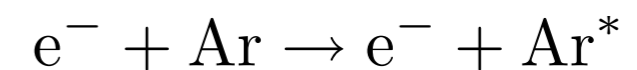
Ebben az állapotban a semleges gáztatomok / molekulák mellett szabad elektronok és ionok is jelen vannak



<https://commons.wikimedia.org/wiki/>



A plazma általában "világít", a fénykibocsátás az adott gázra jellemző



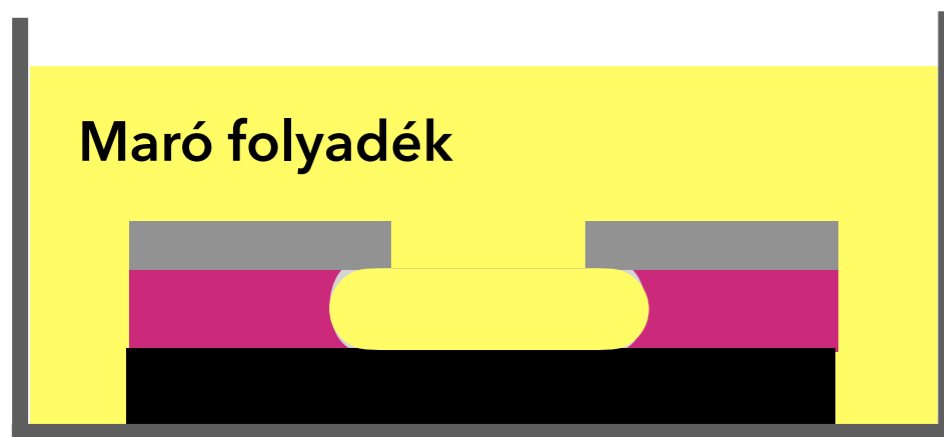
Az aktív részecskék (pl. ionok) "munkára foghatók"

Alkalmazási példa: ionmarás

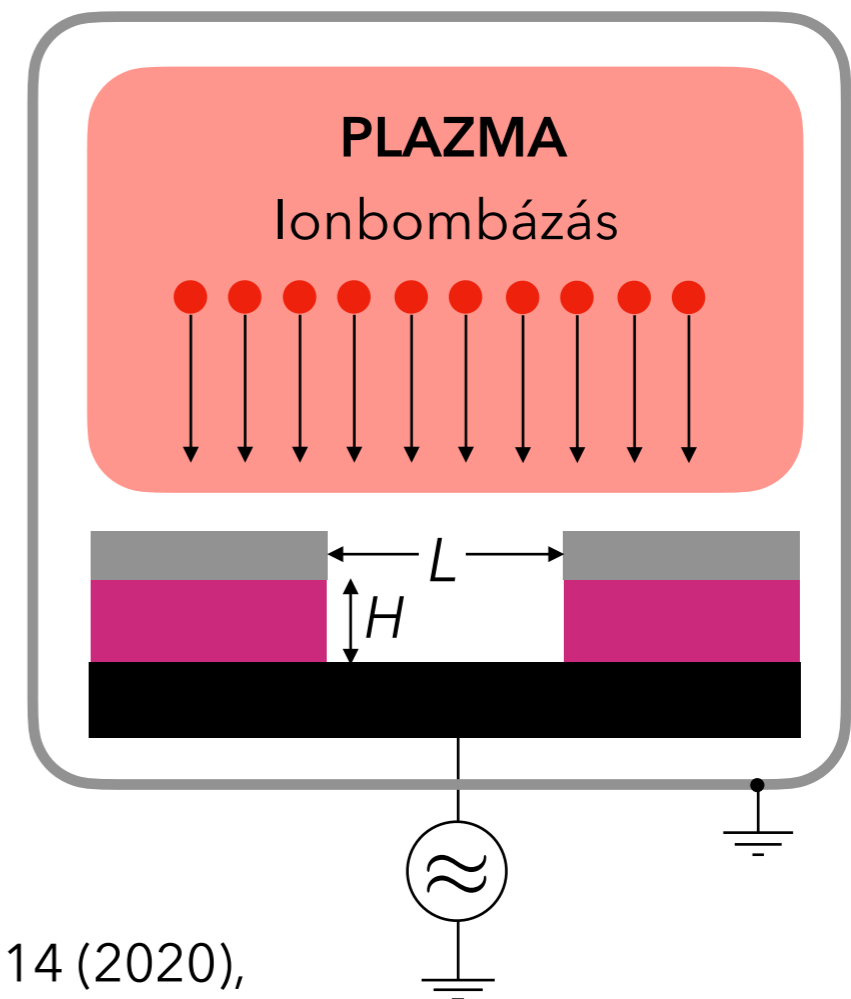
Mikroelektronikai mintázatképzés



Kémiai marás



Ionmarás



$H/L \gg 1$, pl., 3D NAND

Samsung: P. Hartmann et al, Plasma Sources Sci. Technol. 29, 075014 (2020),
J. Phys. D: Appl. Phys. 54, 255202 (2021)

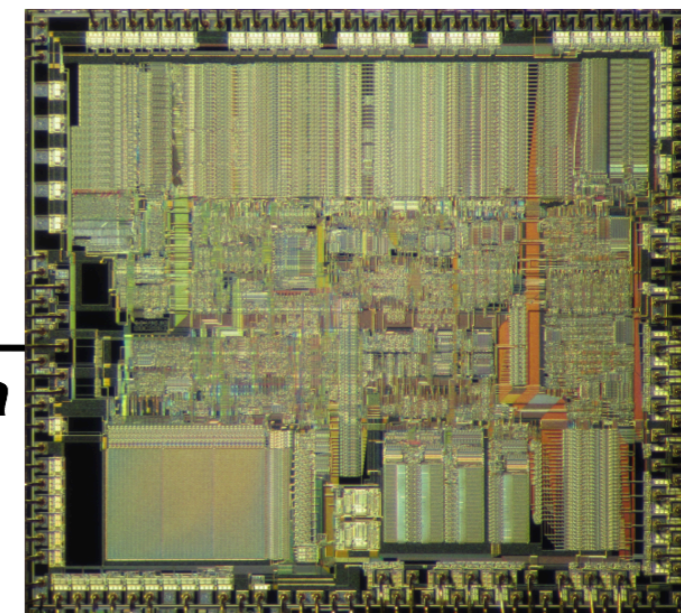
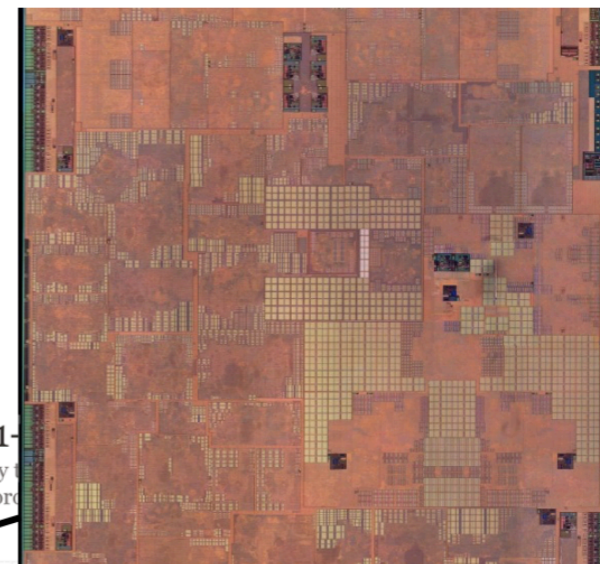
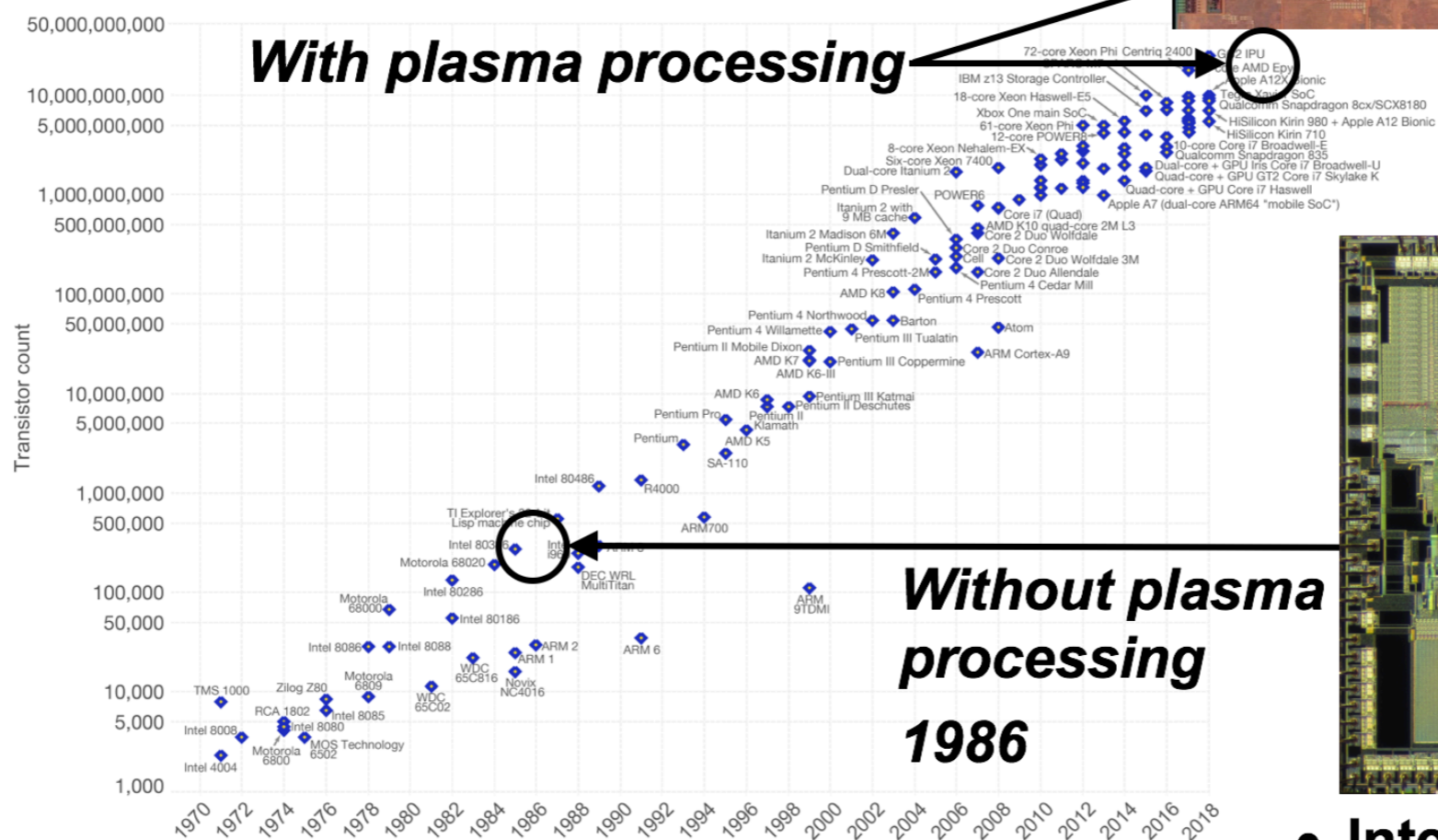
Plazmamegmunkálás a mikroelektronikában

Credit: Prof. Mark Kushner

PLASMA ENABLED INDUSTRY

- TSMC Apple A11 (10 nm) 2018

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2018) Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are linked to Moore's law.



- Intel 80386 IV (1.25 μm)

Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

The data visualization is available at [OurWorldInData.org](https://www.ourworldindata.org). There you find more visualizations and research on this topic.

- en.wikipedia.org/wiki/Moore%27s_law/
- en.wikipedia.org/wiki/Apple_A11
- www.chiprebel.com/apple-a11-bionic/
- de.wikipedia.org/wiki/Datei:Intel_80386_IV_die.JPG

Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

ICPIG/ICRP_2019

University of Michigan
Institute for Plasma Science & Engr.

Alacsony hőmérsékletű plazmák alkalmazásai



01—Plasma TV

02—Plasma-coated jet turbine blades

03—Plasma-manufactured LEDs in panel

04—Diamondlike plasma CVD
eyeglass coating

05—Plasma ion-implanted artificial hip

06—Plasma laser-cut cloth

07—Plasma HID headlamps

08—Plasma-produced H₂ in fuel cell

09—Plasma-aided combustion

10—Plasma muffler

11—Plasma ozone water purification

12—Plasma-deposited LCD screen

13—Plasma-deposited silicon for
solar cells

14—Plasma-processed microelectronics

15—Plasma-sterilization in
pharmaceutical production

16—Plasma-treated polymers

17—Plasma-treated textiles

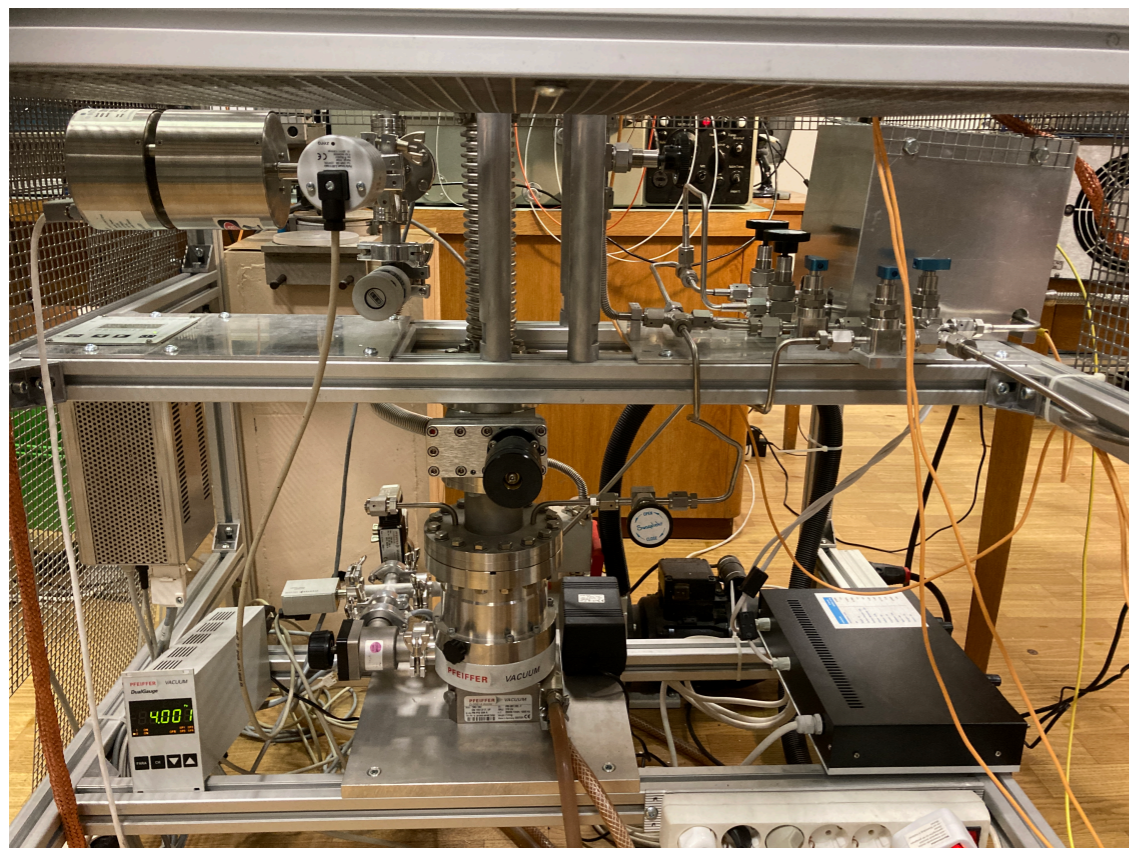
18—Plasma-treated heart stent

19—Plasma-deposited diffusion barriers
for containers

20—Plasma-sputtered window glazing

21—Compact fluorescent plasma lamp

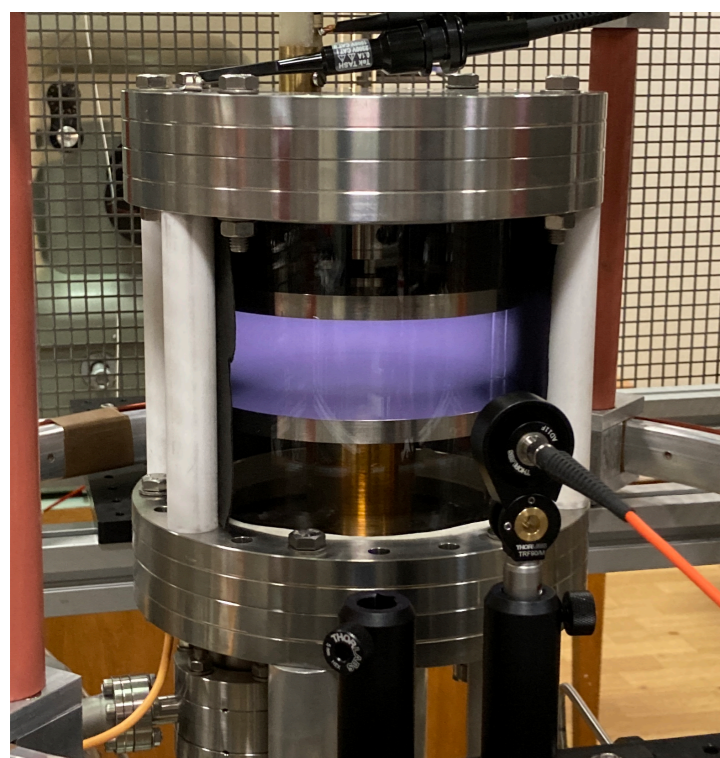
Alacsony hőmérsékletű plazmaforrás



+



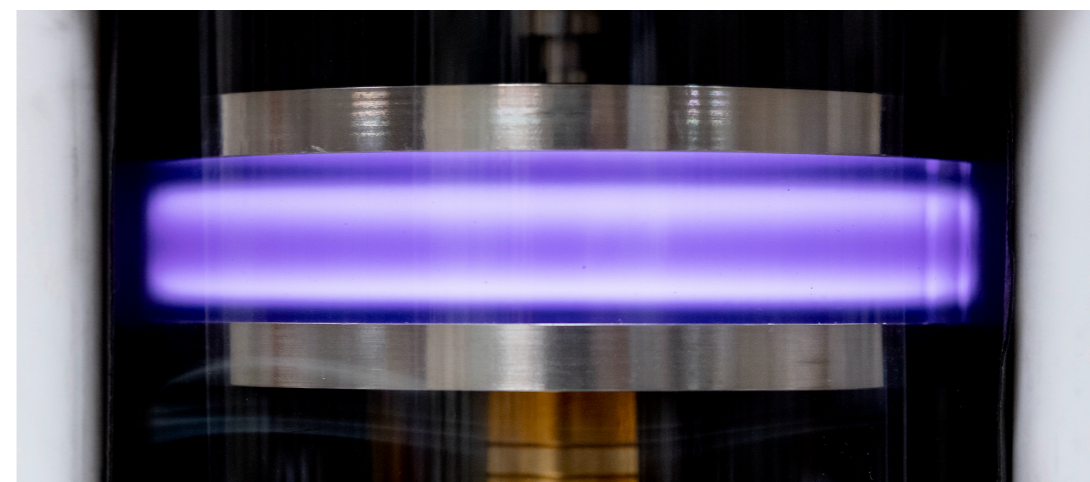
Nagyfeszültségű gerjesztés (300V, 13.56 MHz)



Vákuumrendszer és gáztöltő rendszer
(gáz tisztasága, kontrollált kísérleti körülmények)

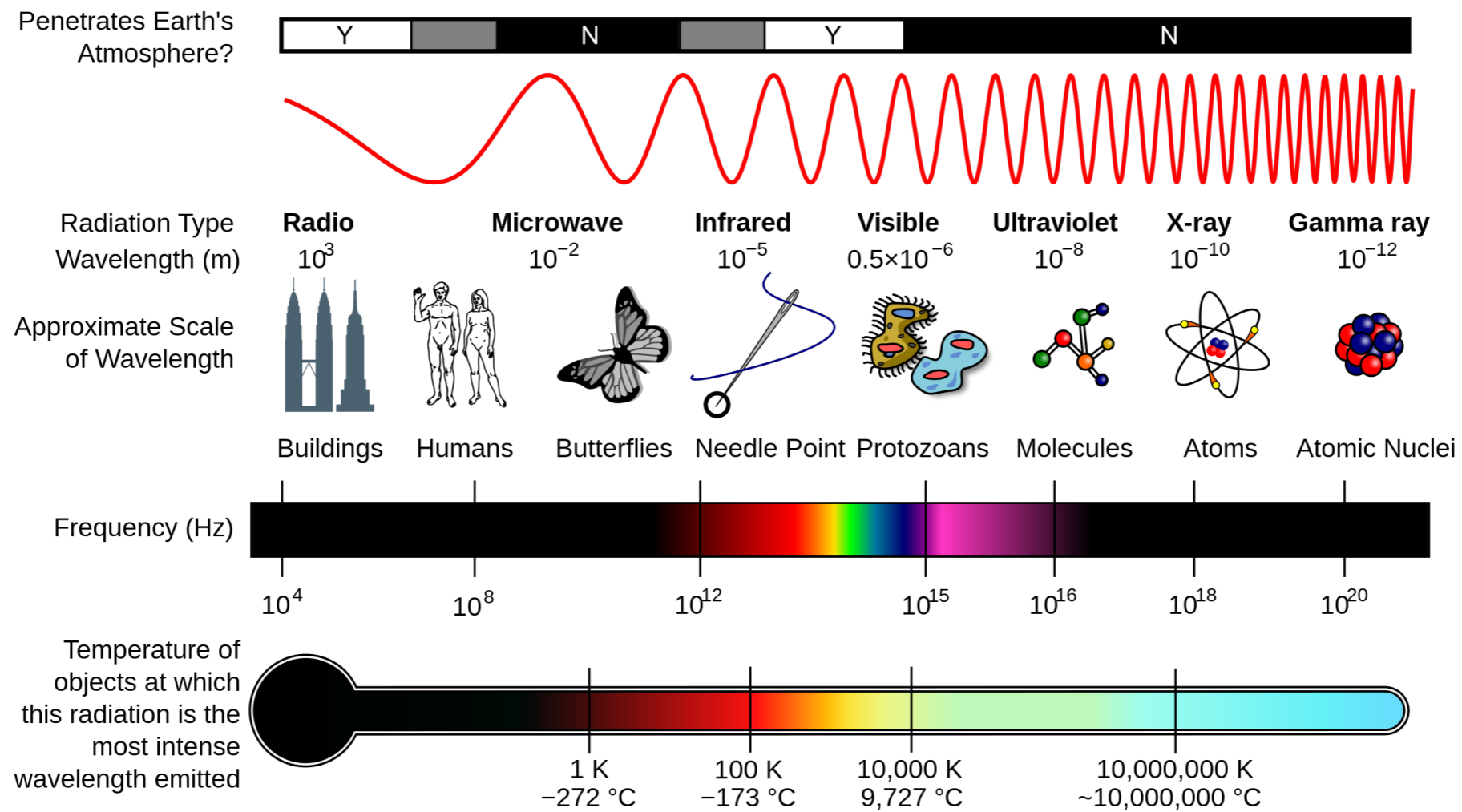
Plazmakamra

(† Szűcs Tibor)



Alacsony hőmérsékletű plazma (Gázkisülés)
(Argon, 2-100 Pa (~1/1000 - 1/50 000 atm))

Elektromágneses hullámok, látható fény, spektrum



https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum#/media/File:EM_Spectrum_Properties_edit.svg

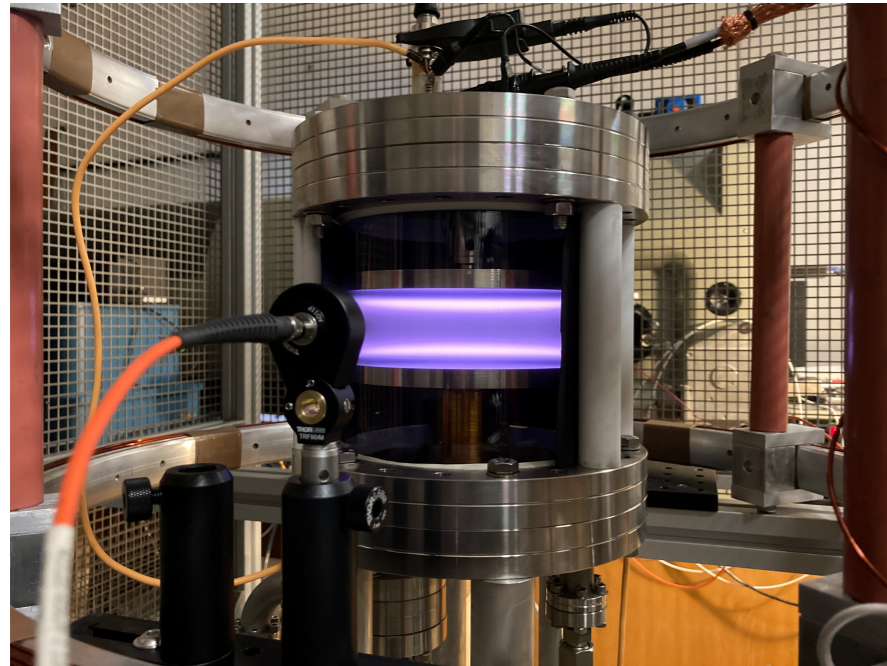
Sugárzási spektrumok: hidrogén és vas



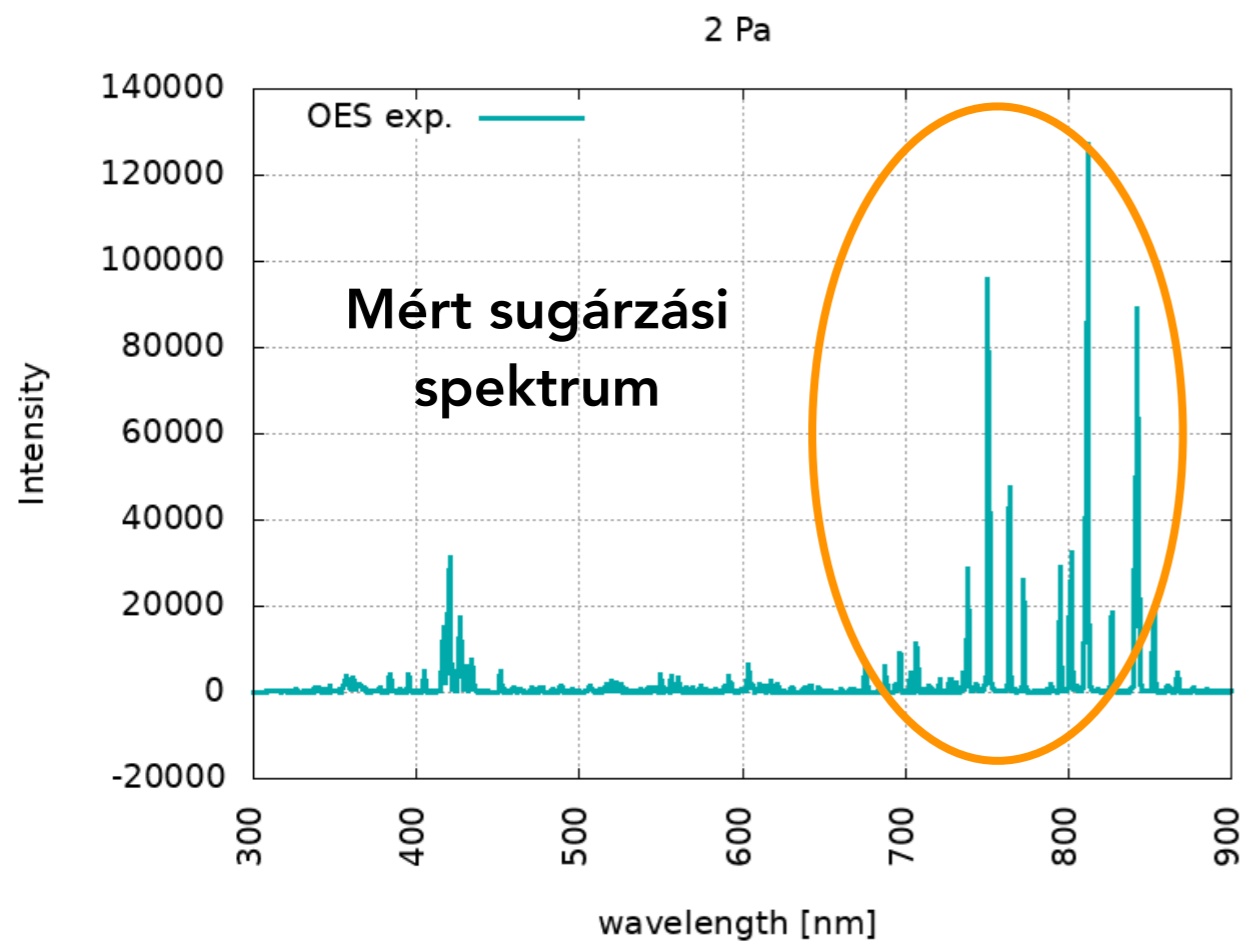
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Emission_spectrum-H.svg

https://en.wikipedia.org/wiki/Emission_spectrum#/media/File:Emission_spectrum-Fe.svg

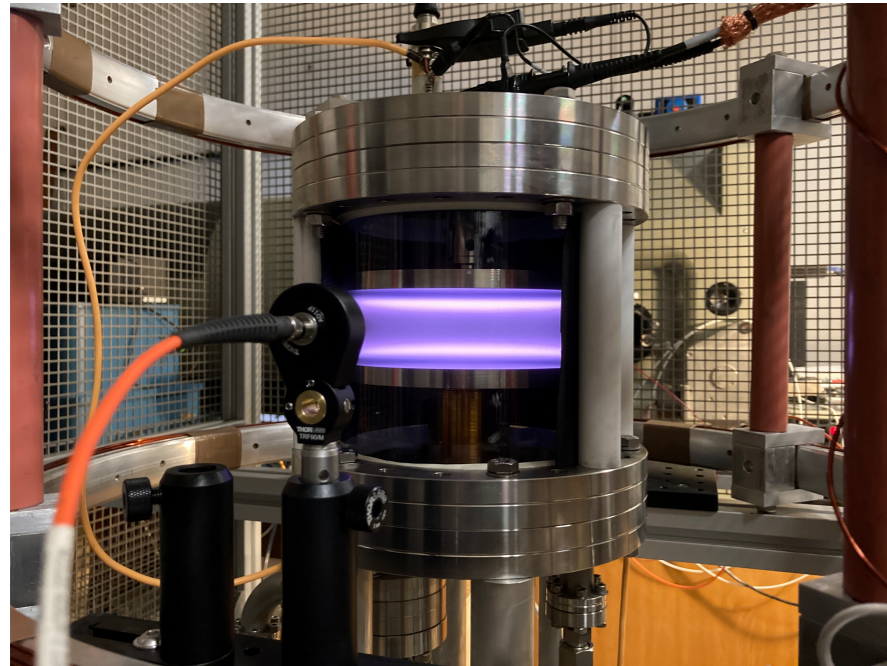
Argon gázkisülés spektruma



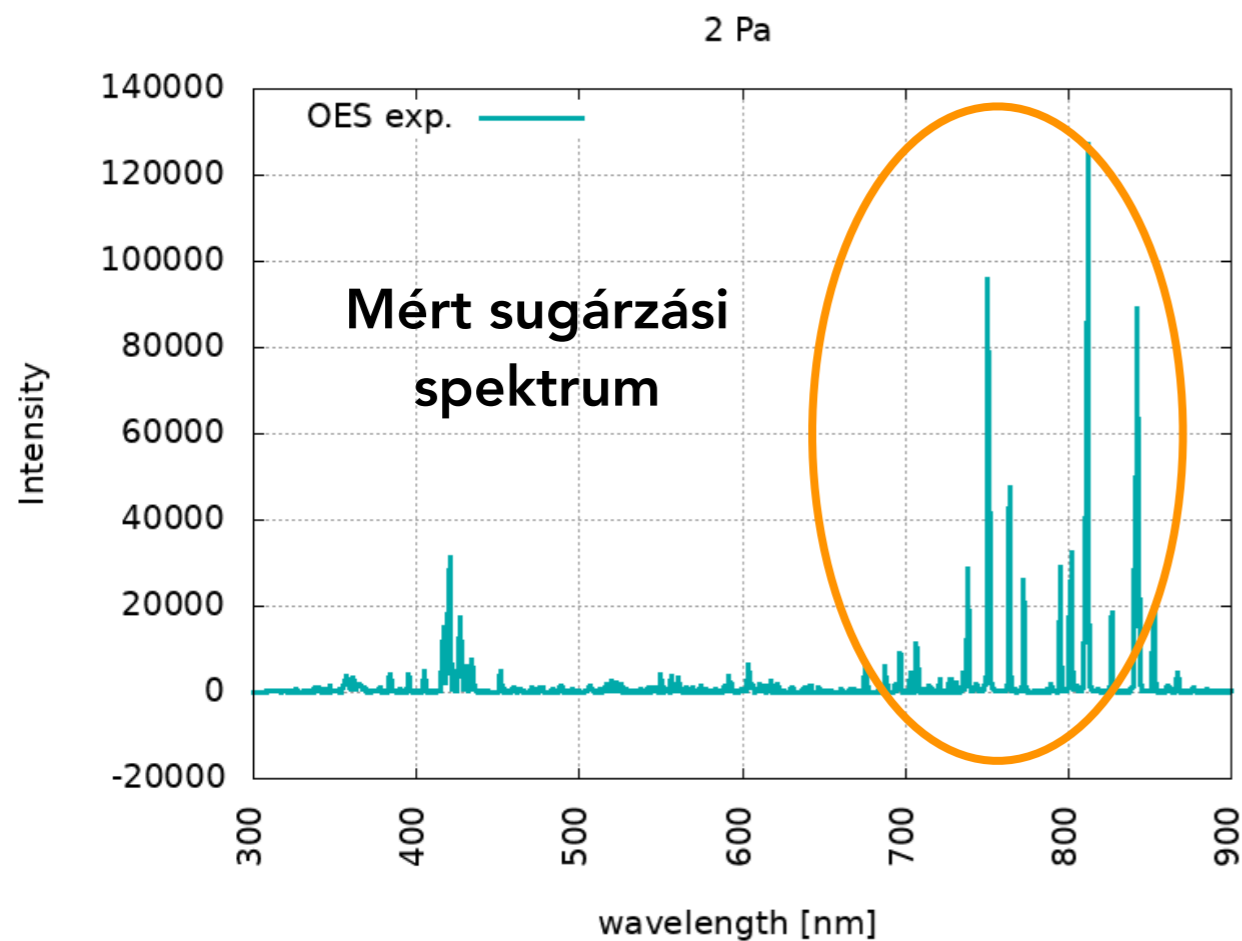
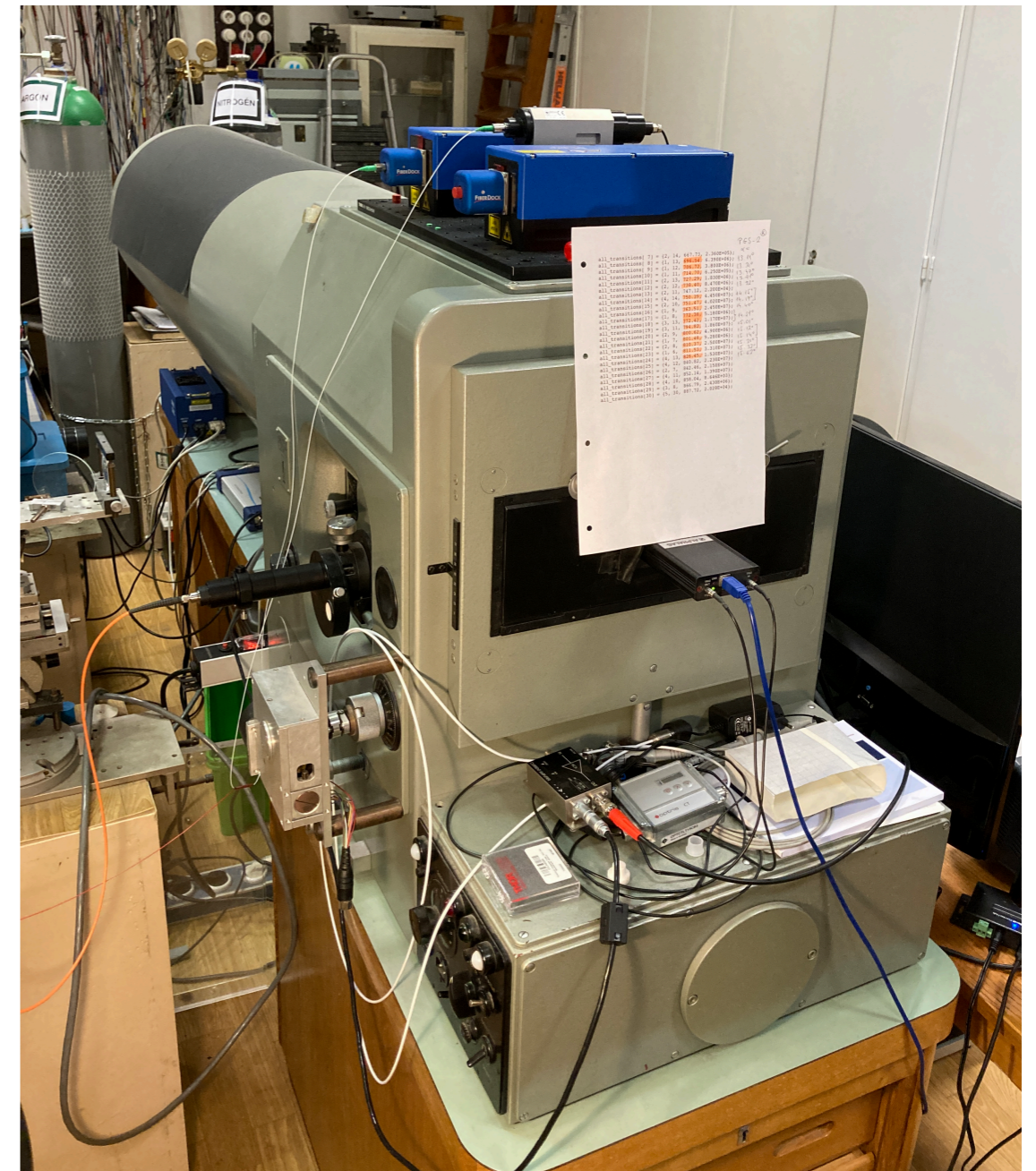
Optikai emissziós spektroszkópia



Argon gázkisülés spektruma

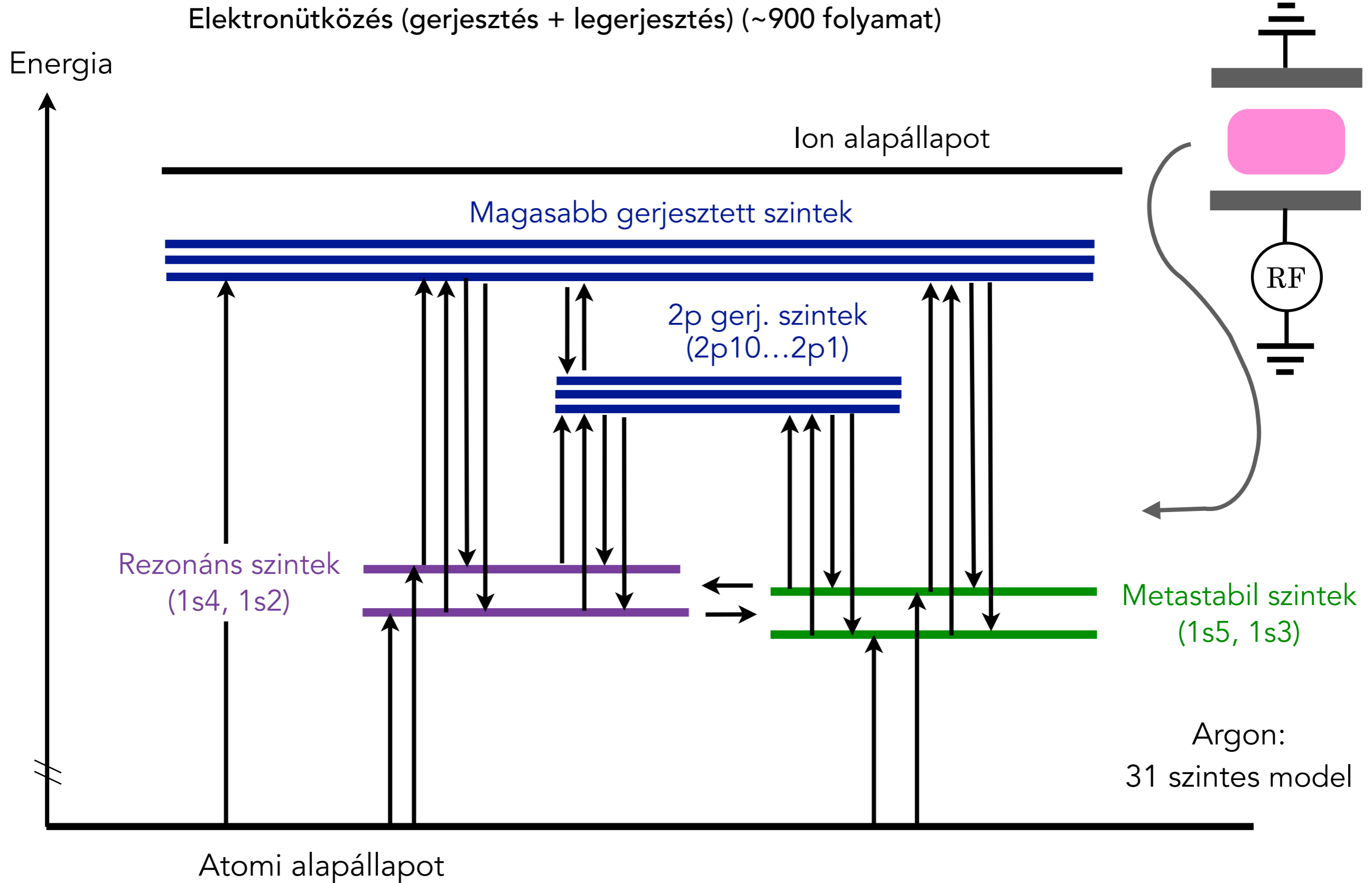


Optikai emissziós spektroszkópia

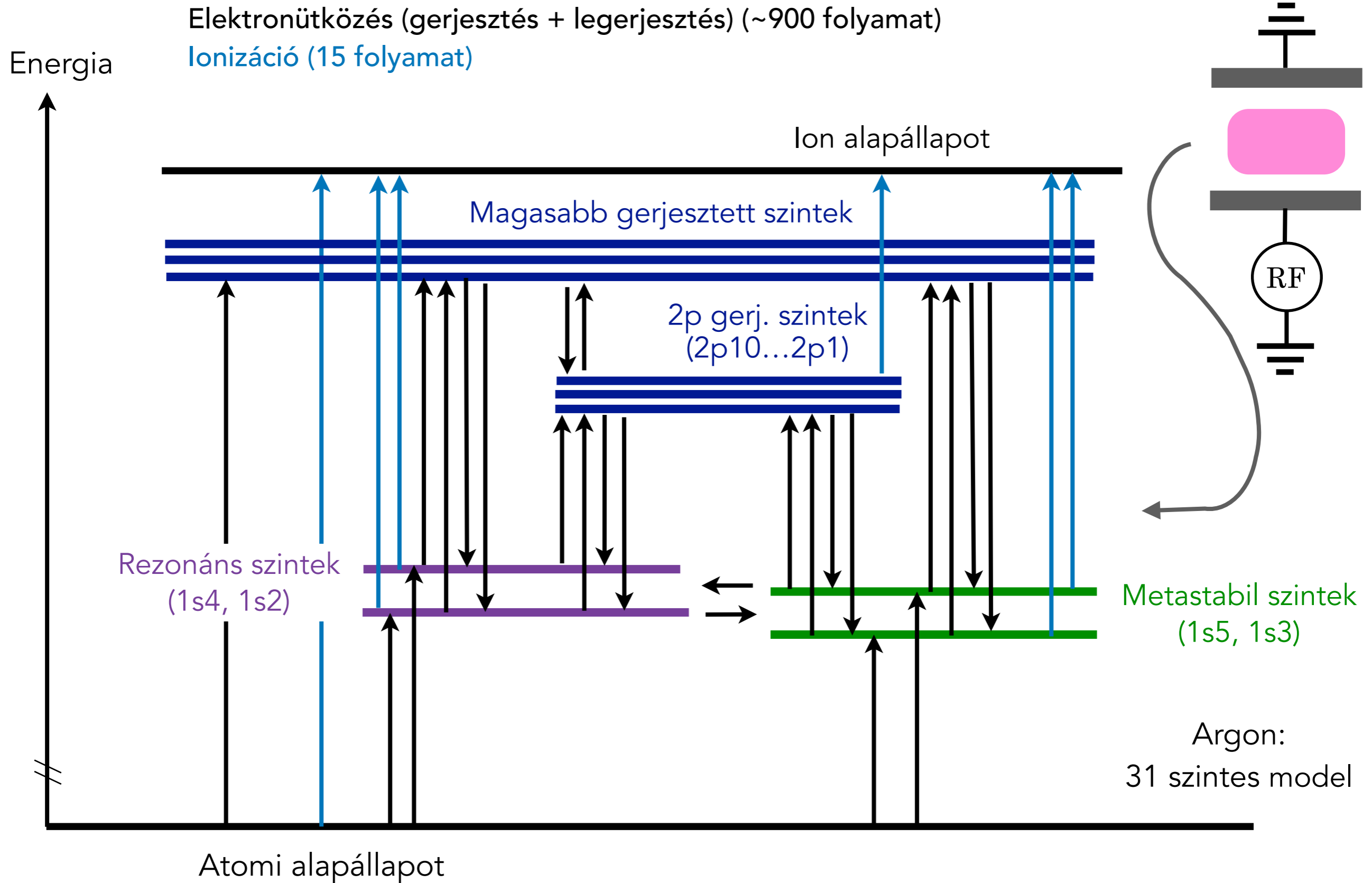


Próbáljuk ezt kiszámítani!

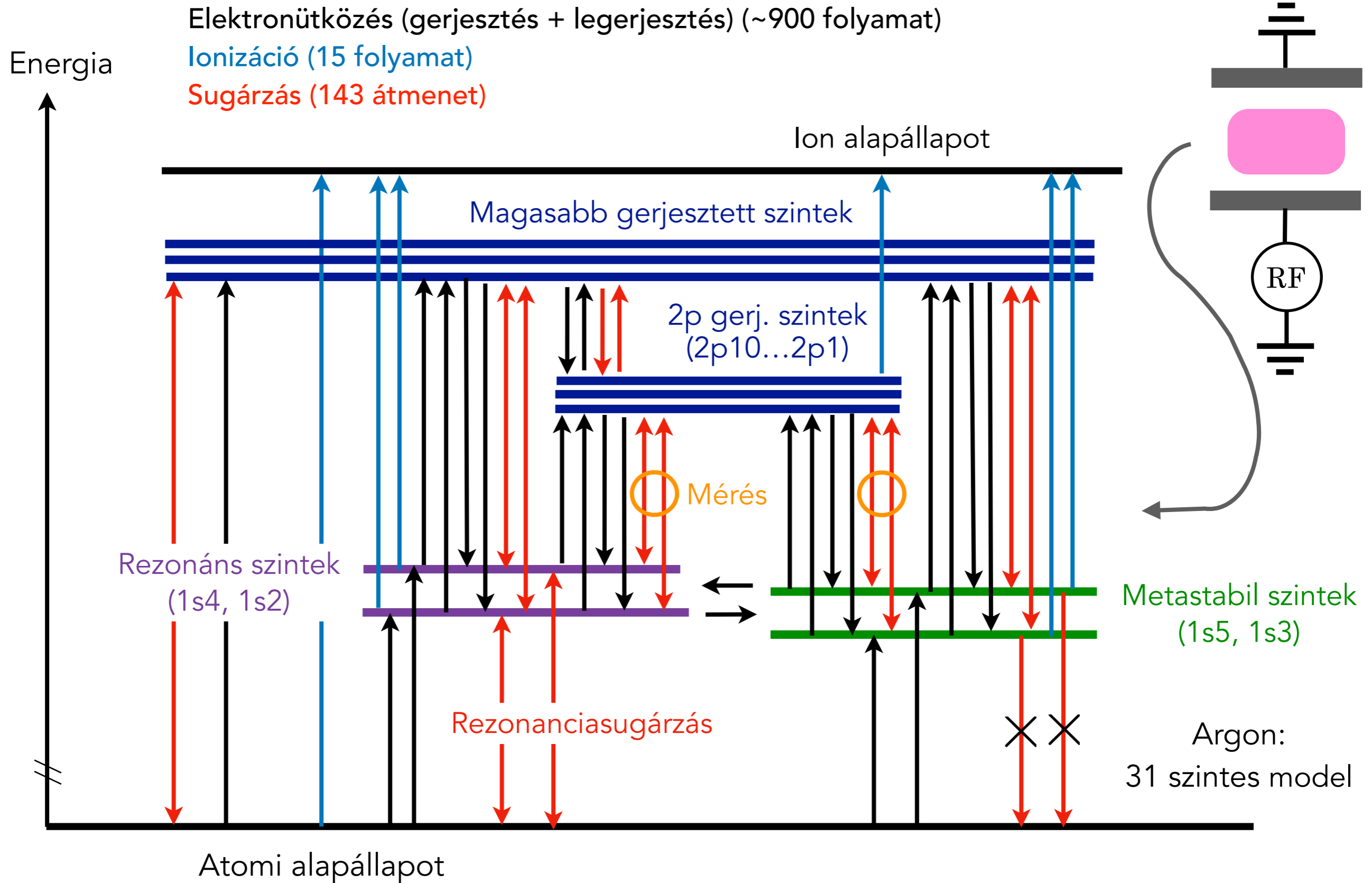
Elemi folyamatok



Elemi folyamatok

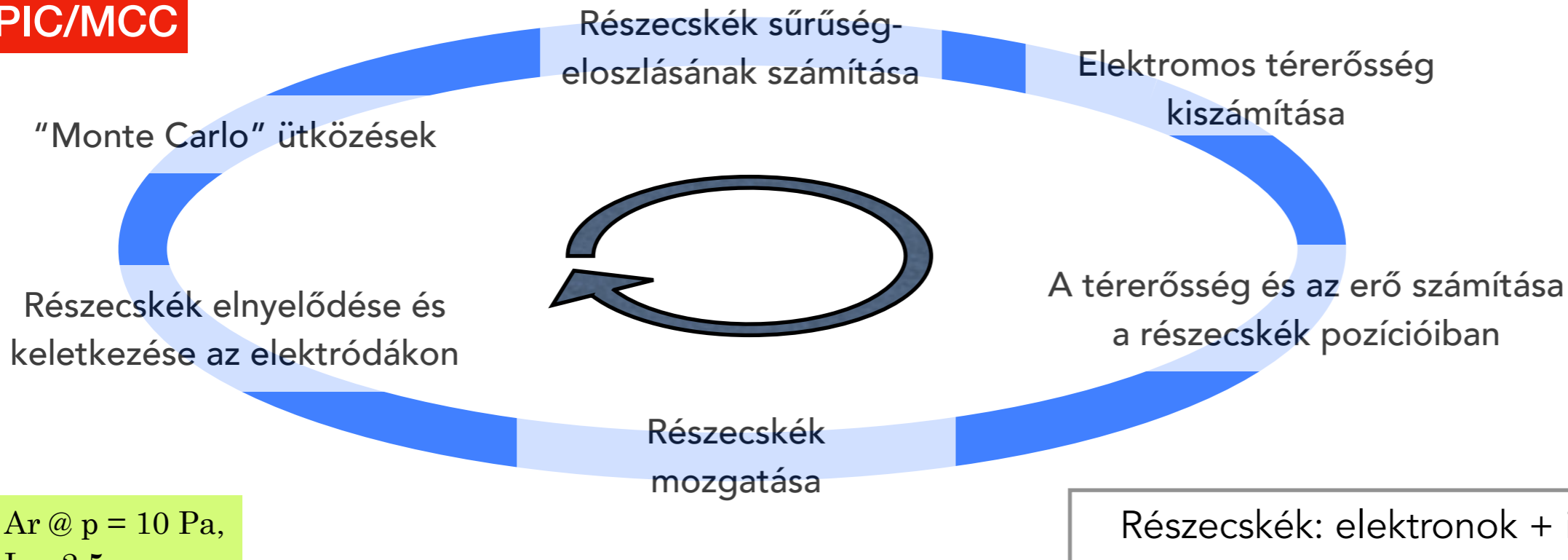


Elemi folyamatok



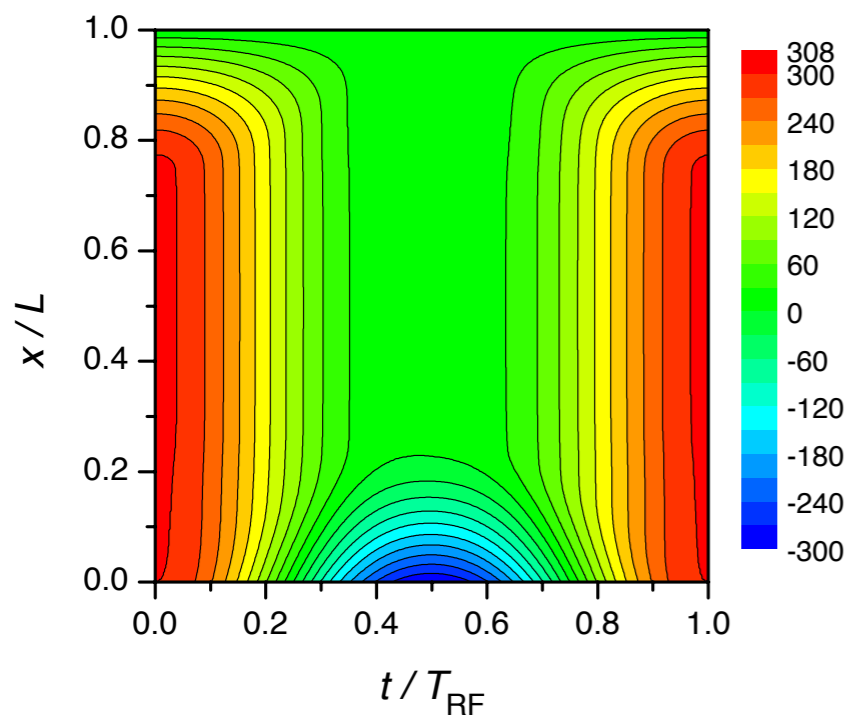
Numerikus (szimulációs) módszerek

PIC/MCC

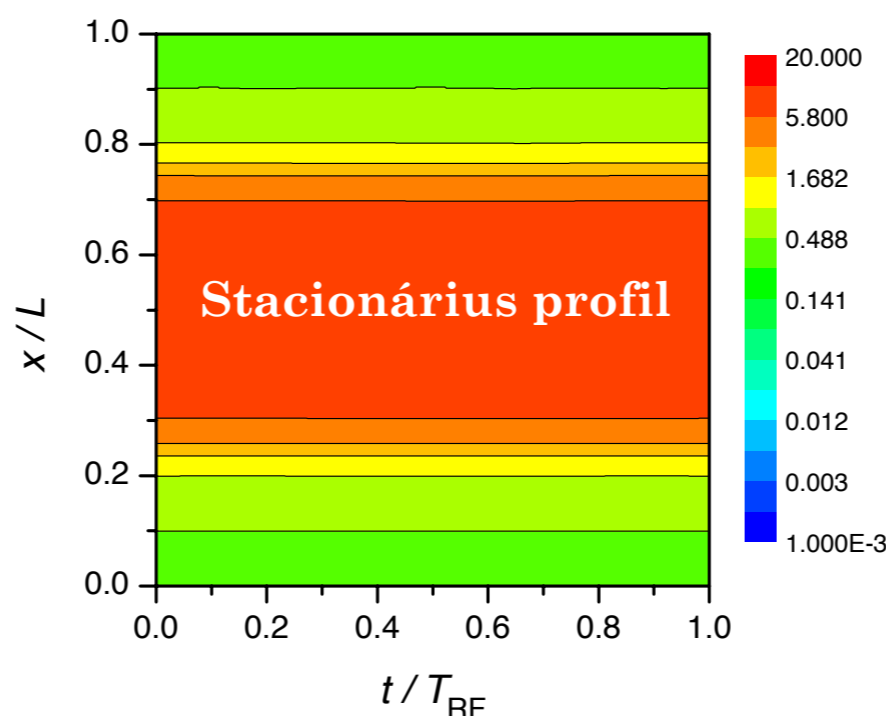


Ar @ $p = 10$ Pa,
 $L = 2.5$ cm,
 $f = 13.56$ MHz,
 $\phi_0 = 300$ V

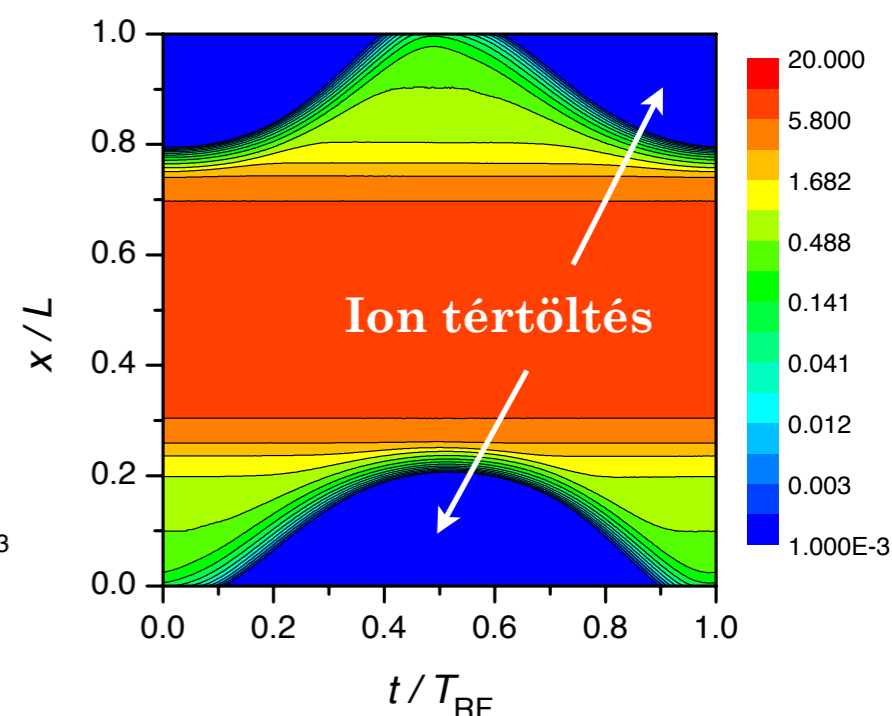
Potenciál



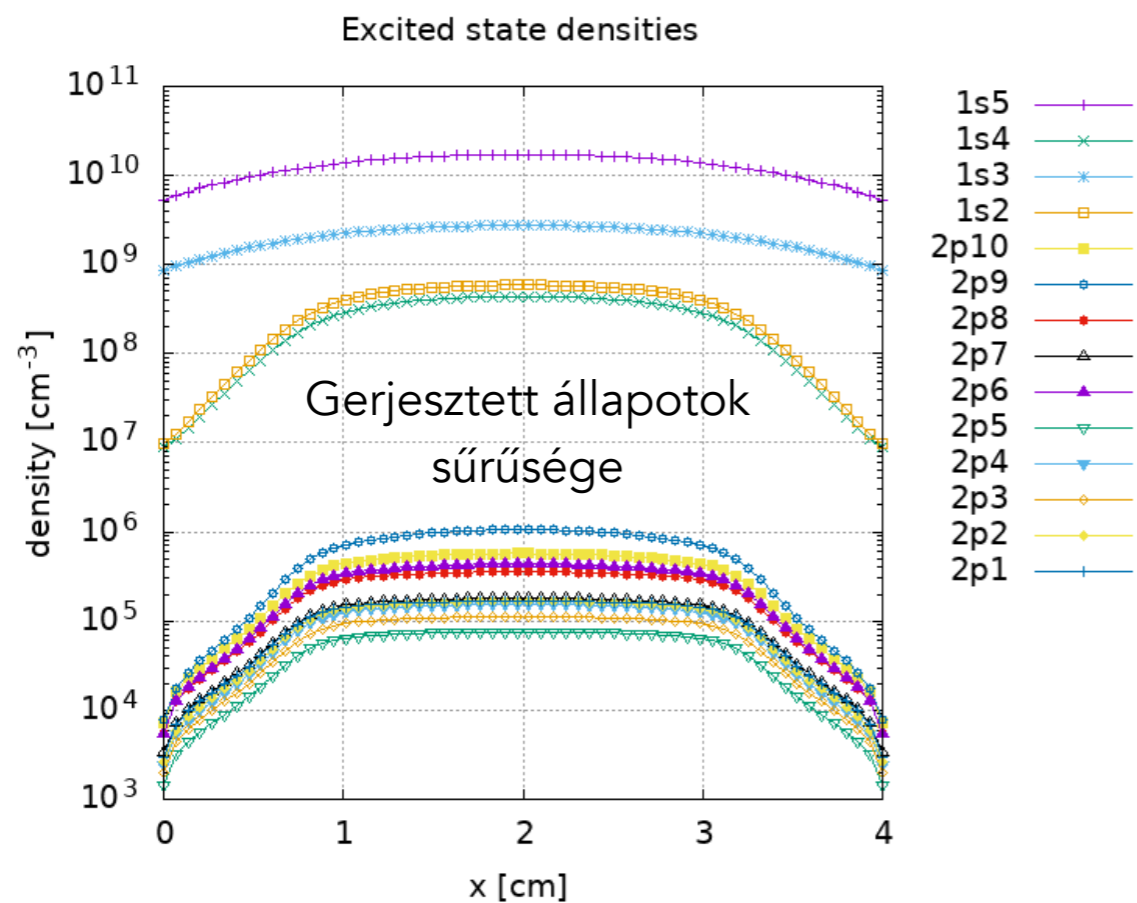
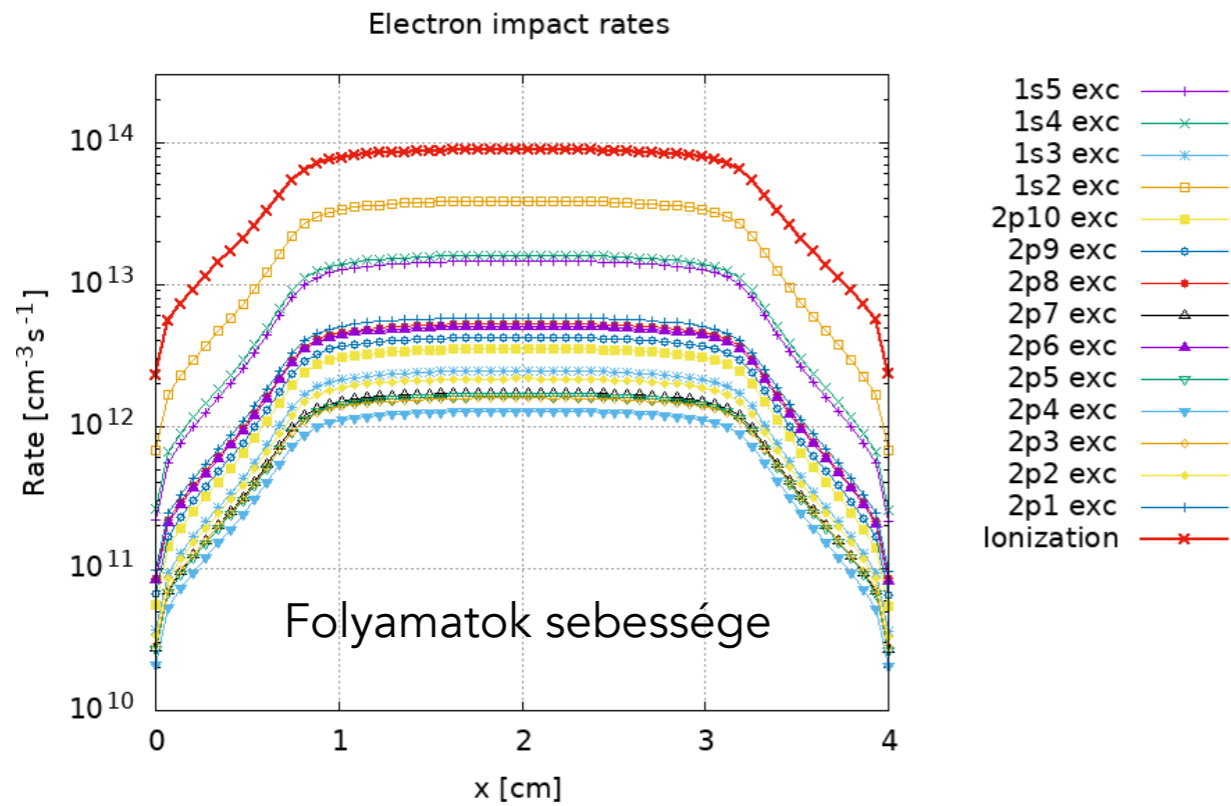
Ionsűrűség [10^9 cm⁻³]



Elektronsűrűség [10^9 cm⁻³]

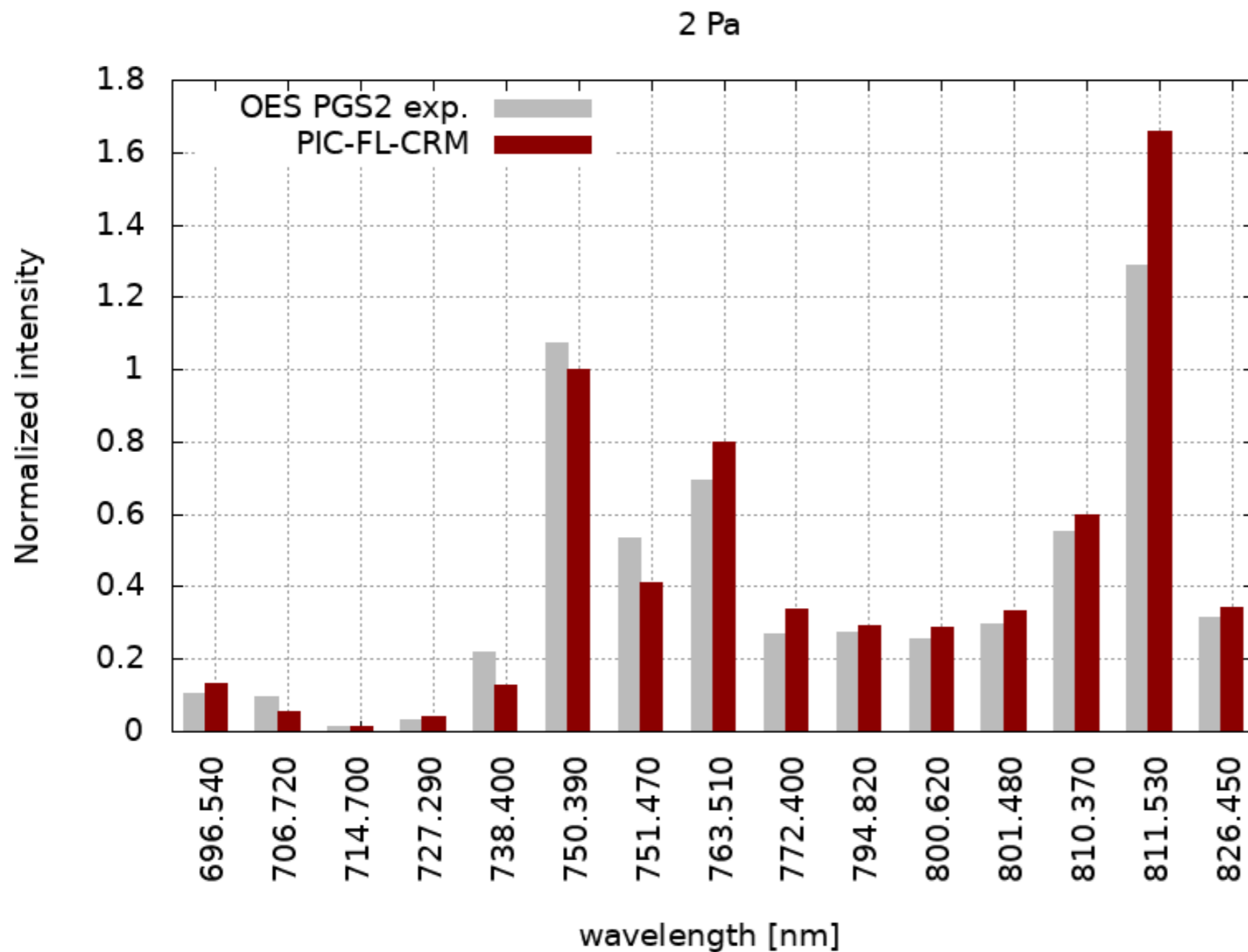


Számítási eredmények



Számítási eredmények

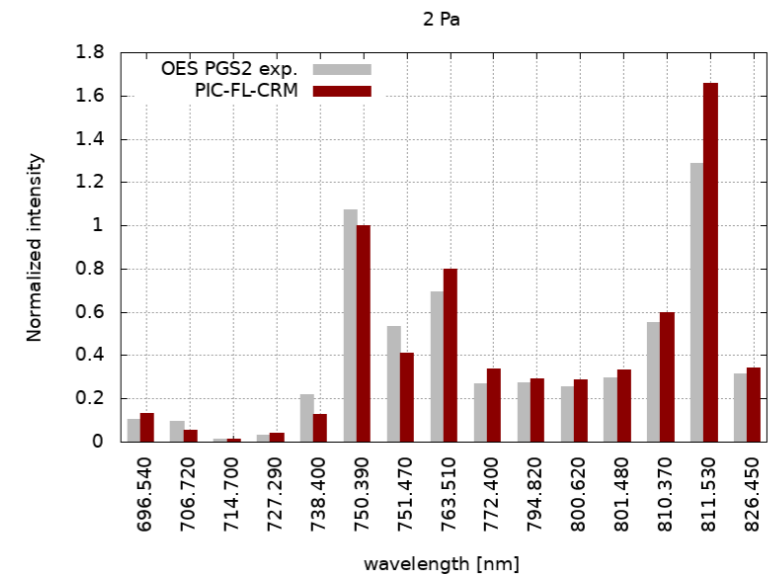
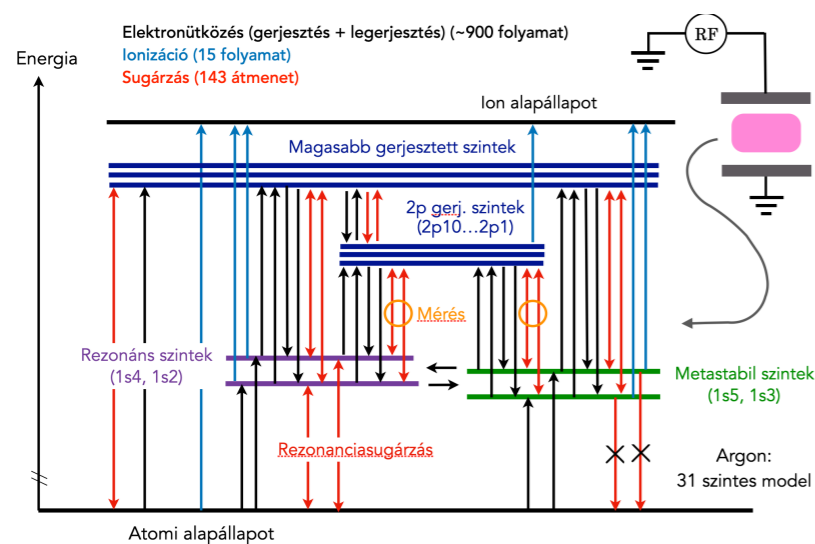
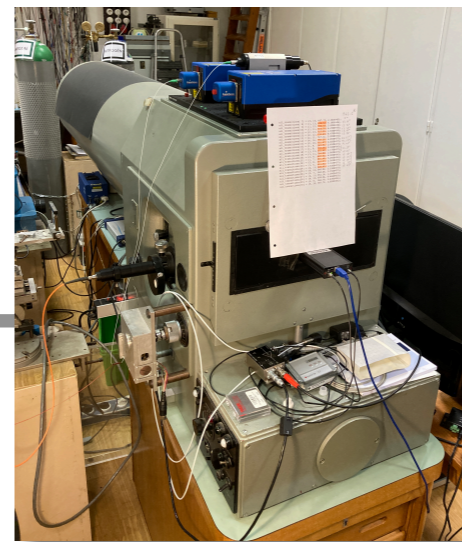
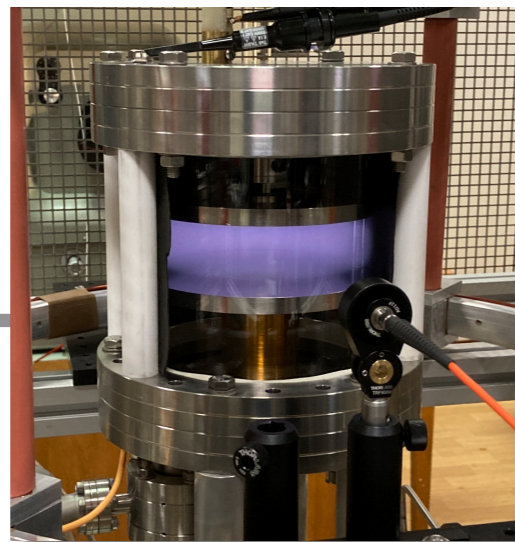
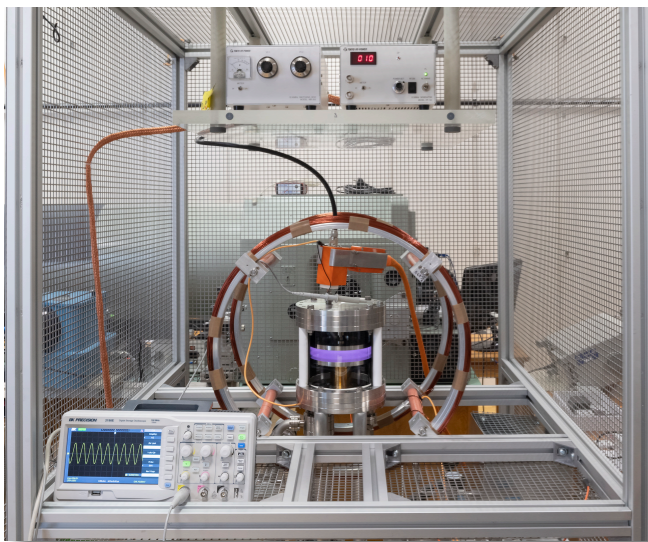
Spektrumvonalak intenzitásának összehasonlítása



Alacsony hőmérsékletű plazmák kísérleti és numerikus diagnosztikája

Összefoglalás:

- Plazmaállapot / alacsony hőmérsékletű plazmák (gázkisülések)
- Alkalmazási példák
- Alacsony hőmérsékletű plazma kísérleti berendezés
- Szimulációs megközelítés - modell
- Spektrumvonalak intenzitásának összehasonlítása



Alacsony hőmérsékletű plazmák kísérleti és numerikus diagnosztikája

Összefoglalás:

- Plazmaállapot / alacsony hőmérsékletű plazmák (gázkisülések)
- Alkalmazási példák
- Alacsony hőmérsékletű plazma kísérleti berendezés
- Szimulációs megközelítés - modell
- Spektrumvonalak intenzitásának összehasonlítása

Köszönet:

- Wigner FK
- NKFIH
- Hartmann Péter, † Szűcs Tibor,

