

# Fizika

Szabó István PhD

PTE MIK 2019.

# Kriogenika

- A gázcseppfolyósítások korszaka
- Az elektronrendszer adiabatikus lemágnesezése
- Az atommagok demagnetizációja
- Lézeres hűtés

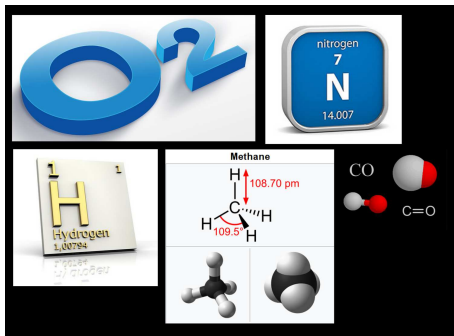
Nagy eredmények: Atomok befogása elektro-optikai és magneto-optikai csapdába. A Bose-Einstein kondenzáció megvalósítása.

# A gázcseppfolyósítások korszaka



„Ha a Föld sokkal hidegebb területen lenne, például, ahol a Jupiter vagy a Szaturnusz található, folyóink és óceánjaink vizei kemény hegyekké lennének. A levegő vagy legalábbis annak alkotórészei nem maradnának továbbra is láthatatlan gázok, hanem cseppfolyós állapotba kerülnének. Egy ilyenfajta átalakulás olyan folyadékokat hozna létre, amelyekről eddig sejtelmünk sem volt.„ Antoine Laurent de Lavoisier

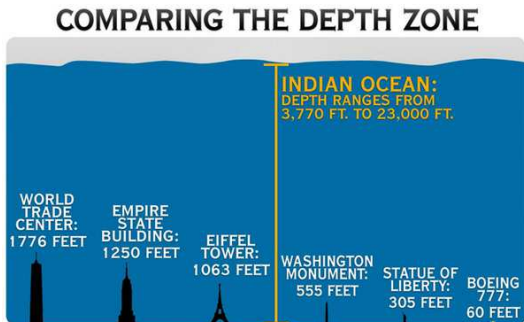
# A permanens gázok



Kezdetben úgy gondolták, hogy az oxigén, a nitrogén és a hidrogén olyan gázok, amelyek csak gáz állapotban léteznek. Ennek oka, hogy igen nagy nyomás hatására sem mutattak hajlandóságot a kondenzációra.

# Nagy nyomás előállítása

Az óceánba süllyesztett dugattyúval ellátott hengerbe töltött gázokra igen nagy nyomás hat! Elérhető a légköri nyomás több százszorosa is.

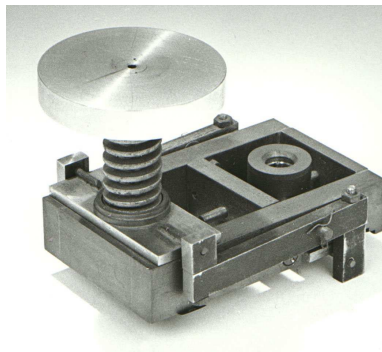


# Nagy nyomású technika előfutára Johann A. Natterer

A 3000 atmoszféra nyomásnak kitett oxigén sem mutatott kondenzációs hajlamot!

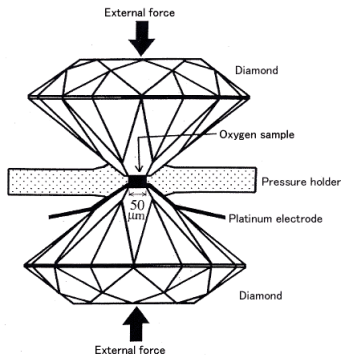


# Az ultranagy nyomású technika kidolgozója Percy Williams Bridgeman



# A gyémánt üllő

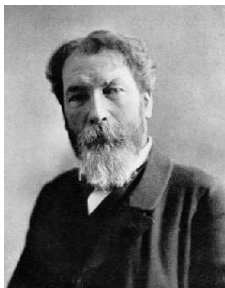
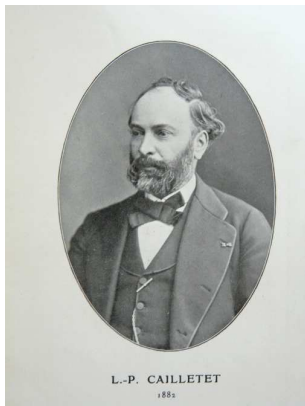
A légköri nyomás több milliószorosa egy speciális eszközzel, az ún. gyémánt üllővel érhető el.





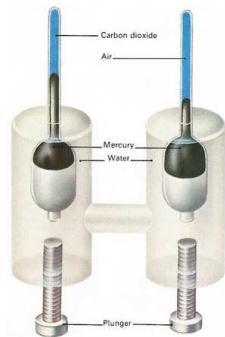
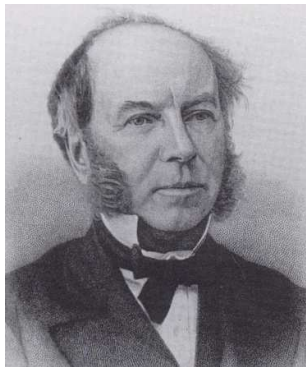
## Az oxigén cseppfolyósítás kezdete

Cailletet és Pictet hirtelen nyomásesés hatására kondenzálódott cseppeket figyelt meg. A nyomásesés oka a készülékek kilyukadtak!



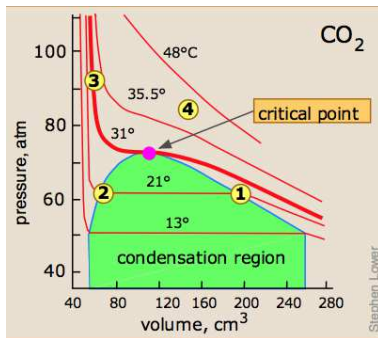
# Andrews: A nyomás és a hőmérséklet egyaránt fontos

1863-ban Thomas Andrews feltárta a kritikus pont jelentőségét a gázcseppfolyósítás során.



# A széndioxid izotermái

A kritikus hőmérséklet alatt egyetlen gáz sem létezik cseppfolyós állapotban.



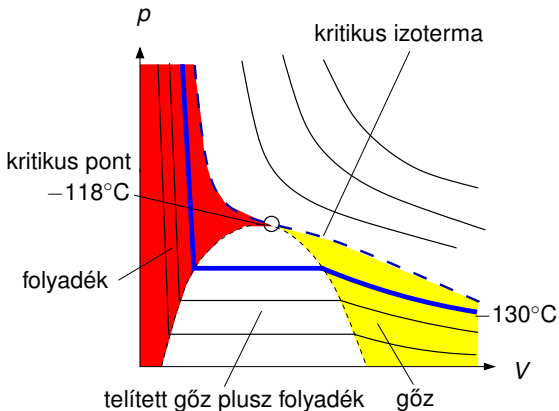
## Az oxigén cseppfolyósítása: Z. F. von Wroblewski és K. Olszewski

A Jagelló Egyetemen Krakkóban tudtak a világon először, nagyobb mennyiségű oxigént cseppfolyósítani (143 K (-130 °C)). 1883 folyékony nitrogén (77 K (-195,79 °C))



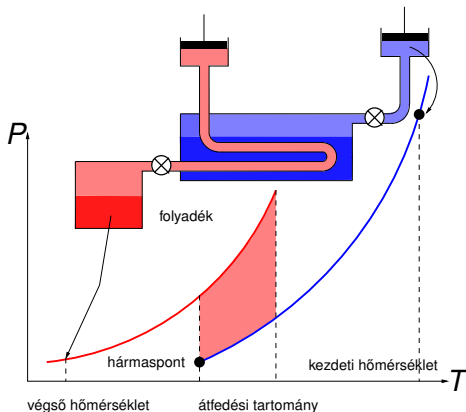
# Az oxigén cseppfolyósítása: Z. F. von Wroblewski és K. Olszewski

Elértek egy a kritikus hőmérséklet alatt lévő izotermát.



# A kaszkád eljárás

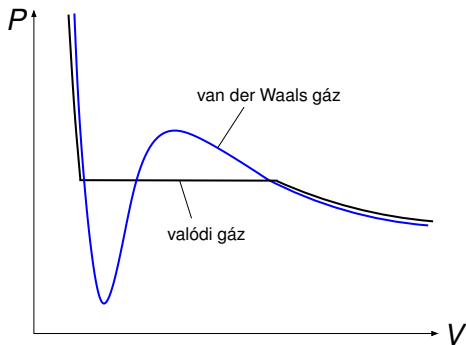
1877 Pictet: kén-dioxid, szén-dioxid, oxigén. 1892 Onnes: metil-klorid, etilén, oxigén



# A van der Waals állapotegyenlet

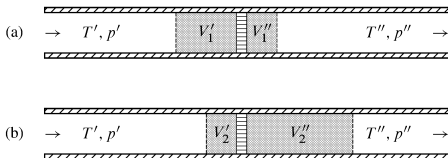
A hideg és sűrű gázok esetében a részecskék közötti intermolekuláris kölcsönhatások a kritikus hőmérséklet fölött egyre jelentősebbé válnak.

$$\left(p + a \frac{m^2}{V^2}\right) (V - mb) = \frac{m}{M} R T,$$



# A Joule-Thomson kiterjesztés

A molekuláris erők ellenében végzett munka egy ún.  $T_i$  inverziós hőmérséklet alatt további hőmérséklet csökkenést okoz.



$$\Delta T = \frac{n(RT_1 b - 2a)}{\left(\frac{f}{2} + 1\right) R V_1} \quad T_i = \frac{2a}{Rb}$$

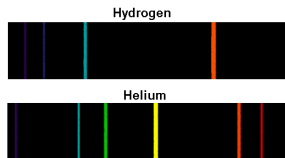
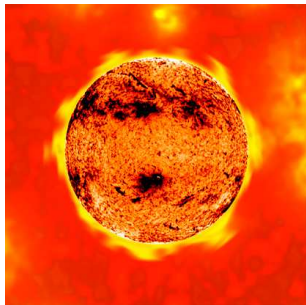


# James Dewar: A hidrogén cseppfolyósítása 1898 (-253 °C)



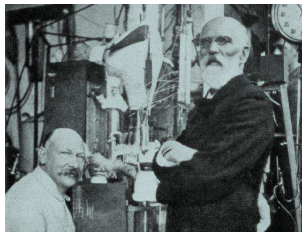
# Új elem a játékban: a hélium

A Nap spektrumában új elemet fedeztek fel. (Helios: Nap)



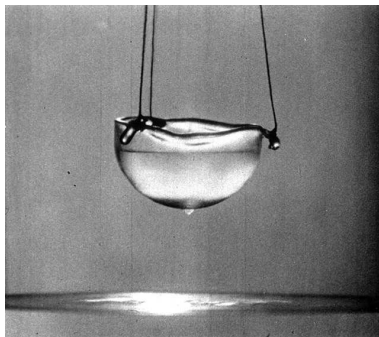
# Új résztvevő a játékban: Kammerlingh Onnes

Leideni Kriogén Laboratórium (Hollandia)



# 1908: Kammerling Onnes cseppfolyósítja a héliumot -269 °C (4 K)

Lavoisier jóslata bevált: az utolsó ismert gáz is cseppfolyósodott.



# Alacsony forráspontú gázok

gáz	forráspont (°C)	forráspont (K)
$\text{C}_2\text{H}_2$	-103,7	169,3
Xe	-108,1	164,9
Kr	-153,4	119,6
$\text{CH}_4$	-161,5	111,5
$\text{O}_2$	-183	90
Ar	-185,8	87,2
CO	-191,5	81,5
$\text{N}_2$	-195,8	77,2
Ne	-246	27
$\text{H}_2$	-252,9	20,1
He	-268,9	4,1

# 1908: Kammerling Onnes a szupravezetés felfedezése

1911 április 28-án: Hg és Au minták elektromos ellenállása folyékony He-mal hűtve (egy meghatározott nagyon alacsony hőmérsékleten) eltűnt. Ezt a jelenséget alacsony hőmérsékletű szupravezetésnek nevezzük.

Onnes a He fajhőjét is vizsgálta a kritikus 2,2 K hőmérséklet közelében. A He<sub>II</sub> különleges viselkedése olyan rendkívüli volt, hogy kezdetben mérési hibára gyanakodtak.

1922-ben a He fölötti gőz intenzív elszívásával elérte a 0,83 K hőmérsékletet.

# A magas hőmérsékletű szupravezetés

1986-ban felfedezték, hogy réz tartalmú kerámiák (YBCO: 93 K, BSCCO: 107 K) képesek 90 K feletti hőmérsékleten is szupravezetővé válni. Ilyen anyagok esetén a sokkal olcsóbb folyékony nitrogén hűtés is elegendő a szupravezető fázis eléréséhez.

Az alacsony hőmérsékletű szupravezetésnek jól kidolgozott –igaz bonyolult– elmélete van, amelyet BCS-elméletnek neveznek. A magas hőmérsékletű szupravezetés elmélete nincs teljes mértékben kidolgozva.

# A szupravezetés alkalmazásai: MRI, MAGLEV

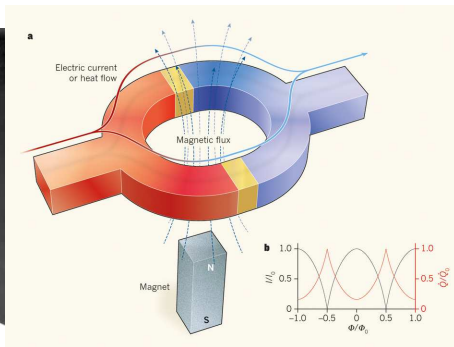
Az mágneses képalkotás és a mágnesvasút mellett rendkívül érzékeny mérőeszközök is konstruálhatók: SQUID.





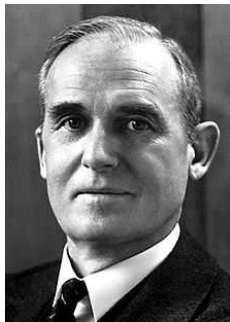
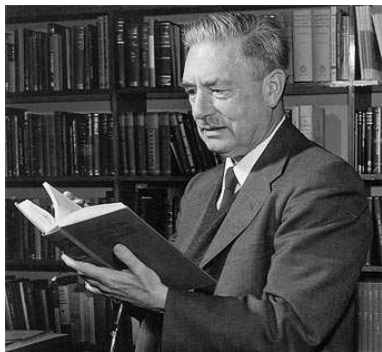
# Brian Josephson: A szupravezető érdekes alkalmazása.

Josephson javaslatára rendkívül érzékeny mérőeszközök ún. szupravezető kvantum interferometrikus eszközök konstruálhatók. Ezekkel egyetlen neuron mágneses mezője is mérhető.



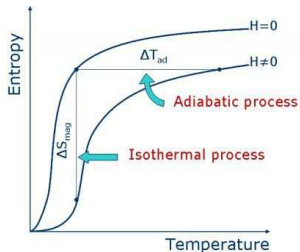
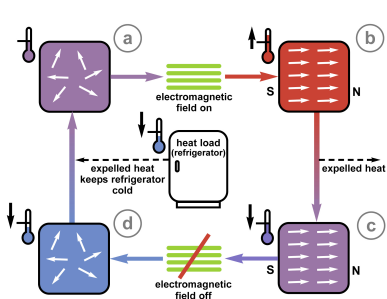
## Az elektronrendszer demagnetizációja

Az 1926-ban Peter Debye és William Francis Giauque egymástól függetlenül jött rá az adiabatikus demagnetizáció alkalmazhatóságára az ultraalacsony hőmérséklettartományban.



# Az elektronrendszer demagnetizációja

Az elektronok feles spinnel rendelkező részecskék, ún. fermionok. A spinhez mágneses momentum is tartozik. 1933-ban végezték el az első kísérletet a kaliforniai Berkeleyben. (Gadolínium-szulfát)

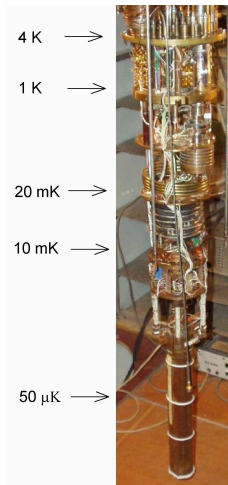


# Az atommagok demagnetizációja

1956: Oxfordban Francis Simon és Kürti Miklós alkalmazta az atommagok demagnetizációját. Ugyanis az atommagoknak az elektronokhoz hasonlóan van spinje. A magspinhez tartozó mágneses momentum azonban 1000-szer kisebb!



# Az atommagok demagnetizációjával érték el a mikrokelvint hőmérséklettartományt

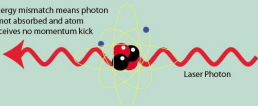


# Lézeres hűtés

## Laser Cooling

**Stationary Atom:**

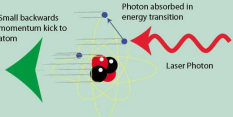
Energy mismatch means photon is not absorbed and atom receives no momentum kick



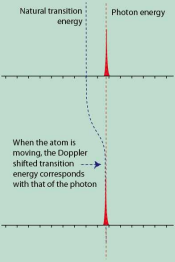
**Moving Atom:**

Small backwards momentum kick to atom

Photon absorbed in energy transition

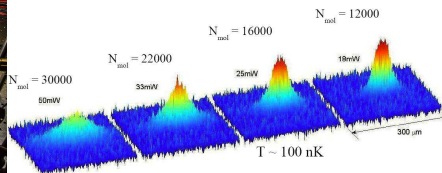
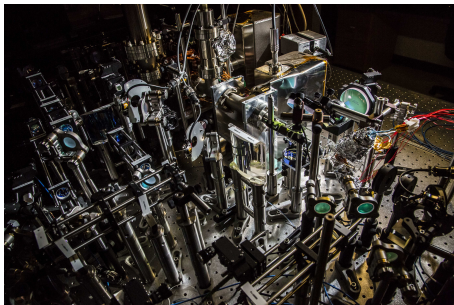


When the atom is moving, the Doppler shifted transition energy corresponds with that of the photon



# Lézeres hűtés

Az egyik célkitűzés a Bose-Einstein-kondenzátum létrehozása volt, amelyet sikeresen meg is valósítottak.



# Lézeres hűtés

A lézeres hűtés felhasználható atomok csapdázására is.

