

Století kapalného helia

1

Prehistorie zkapalnění helia

předchůdci:

Martinus van Marum (1750 – 1837)

Charles Cagniard de la Tour (1777 – 1859)

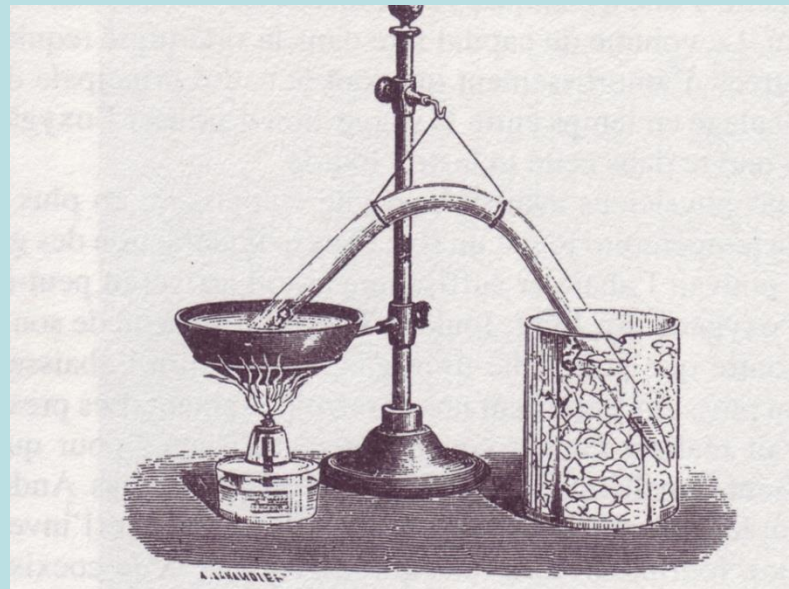
Thomas Andrews (1813 – 1885)

Michael Faraday (1791 – 1867)

geniální anglický fyzik a chemik - samouk, vyučený knihvazač, navštívil přednášky Humphry Davyho, asistent → profesor na Royal Institution
zkapalnil většinu plynů: Cl, NH₃, CO₂,...kromě O₂, N₂ a H₂



prostá destilace

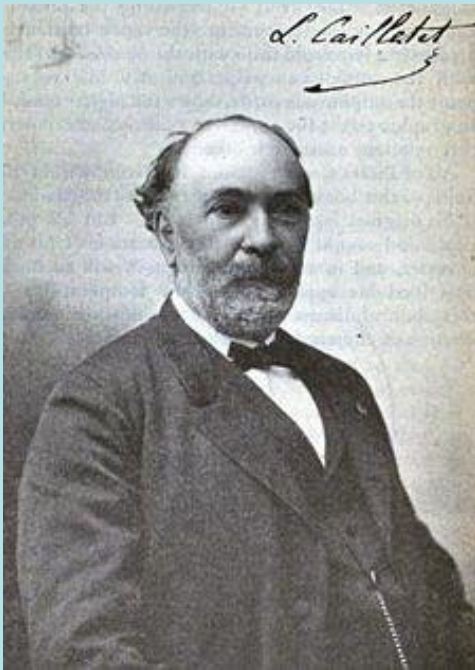


1877 – zkapalnění kyslíku (90 K)

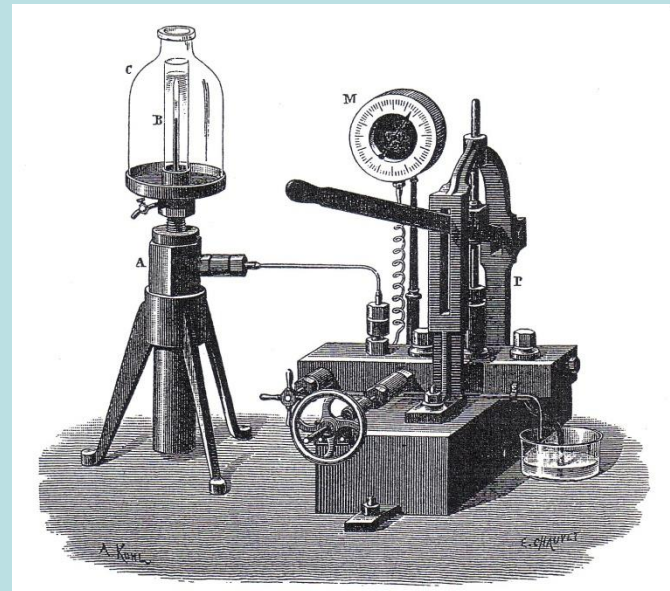
vánoční zasedání Académie des Sciences v Paříži 24. 12. 1877

zapečetěný dopis stálému tajemníku prof. Jeanu Baptistovi Dumasovi

Louis – Paul Cailletet (1832 – 1913) soukromý výzkumník z Châtillon-sur-Seine veřejně předváděl své pokusy v Ecole Normale Supérieure



směs kyslíku a CO_2 stlačená na 30 MPa ochlazená na $-29\text{ }^\circ\text{C}$ zkapalněným SO_2 po expanzi dávala kapky zkapalněného kyslíku (využití Jouleova – Thomsonova jevu)



Raoul – Pierre Pictet (1846 – 1929)

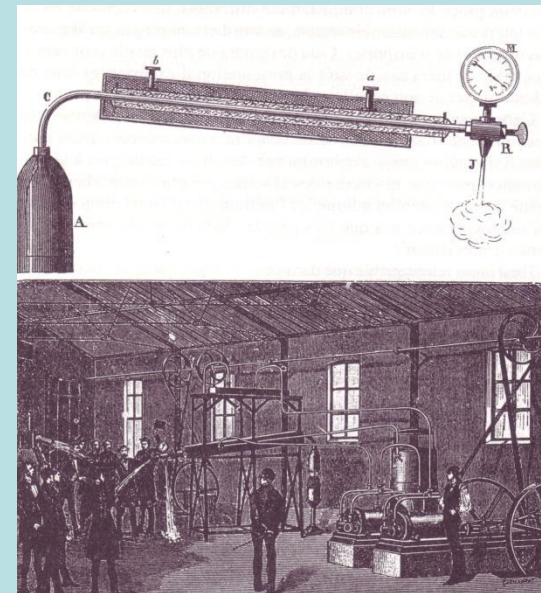
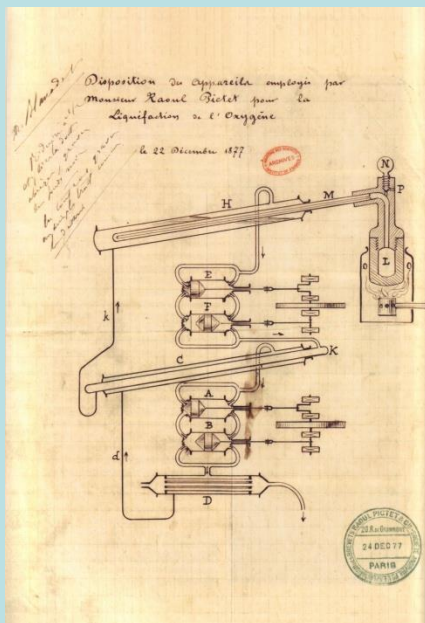
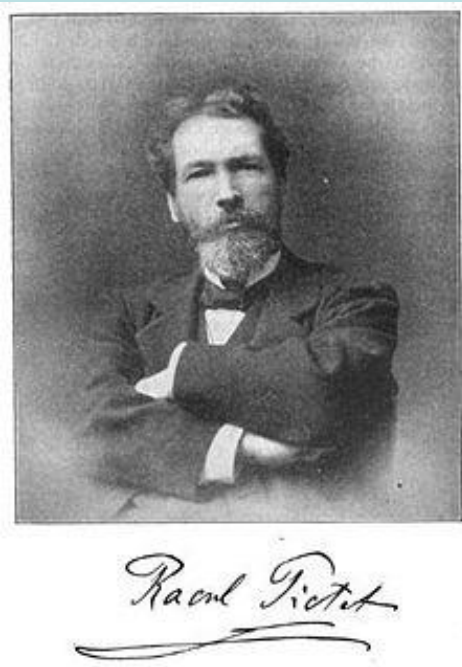
průmyslník, absolvent Ecole Polytechnique
na tomtéž zasedání byl přečten
telegram od firmy Raoul Pictet et C^{ie} z Ženevy

kaskádní princip:

– chlazení kapalným SO₂ čerpaným na -65 °C

uvnitř pevný CO₂ čerpaný na -140 °C

kyslík stlačený na 32 MPa, při otevření ventilu byla
pozorována krátká sprška kapalného kyslíku



1883 zkapalnění dusíku (77 K)

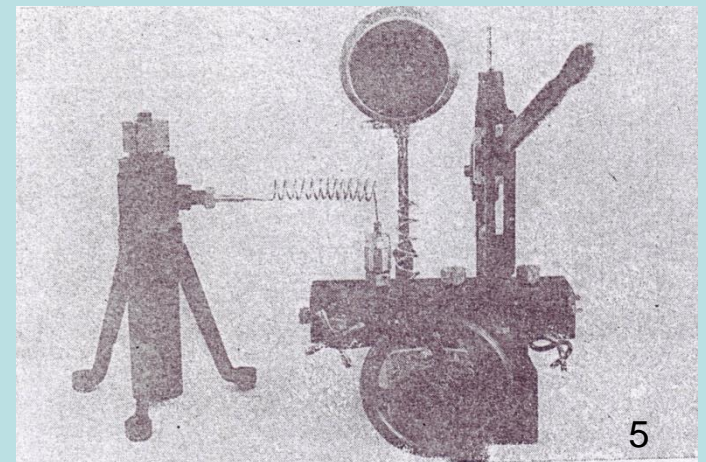
Jagellonská univerzita v Krakově

Zygmund Wróblewski (1845 – 1888) Karol Olszewski (1846 – 1915)



Z. Wróblewski

Z. Wróblewski – za účast na studentské vzpouře v Kyjevě poslán na nucené práce na Sibiř, po amnestii - oční operace v Berlíně, studoval v Heidelbergu u Helmholtze, z Krakova vyslán na stáž ve Francii a Anglii zakoupil Cailletetovu aparaturu, v několika měsících ve spolupráci s K. Olszewskim ji zdokonalil, zlepšil tepelnou izolaci, používal kapalný etylén





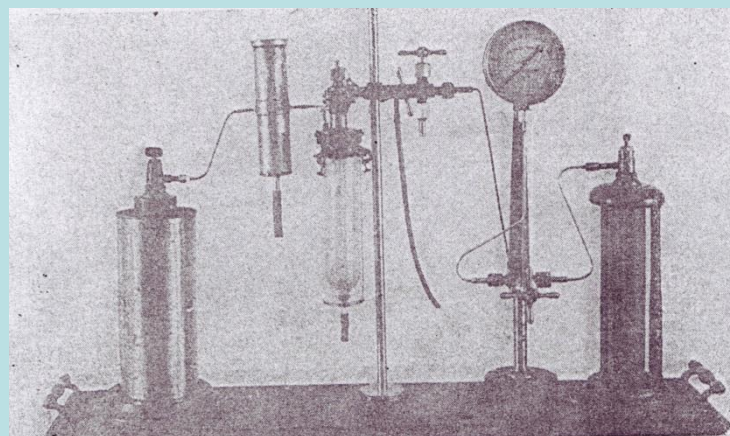
K. Olszewski

společně zkapalnili kyslík a posléze dusík
- spolupráce měla krátké trvání,
pokračovali v práci samostatně
r. 1888 Z. Wróblewski zemřel na těžké popáleniny
způsobené rozlitym hořícím petrolejem

K. Olszewski – zkapalnil argon
vyvolával spory o prvenství
s francouzskými vědci a J. Dewarem



návštěva R. Picteta v Krakově



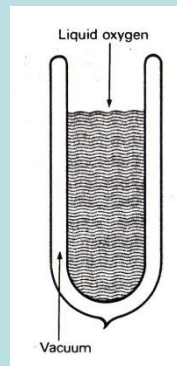
Olszewského aparatura

1898 zkapalnění vodíku (20 K)

James Dewar (1842 – 1923)



v 33 letech jmenován profesorem experimentální filozofie v Cambridge, po 2 letech získal místo profesora chemie na Royal Institution v Londýně (přednášel až do své smrti ve věku 81let)



1892 – vynalezl vakuovou tepelnou izolaci

1895 – Carl Linde and William Hampson
- vynalezli tepelné výměníky

Reinhold Burger a Albert Aschenbrenner, Thermos
[GmbH](#) 1904



Páteční večerní přednášky prof. J. Dewara v Royal Institution v Londýně

veřejná demonstrace fyzikálních experimentů včetně zkapalnění plynů

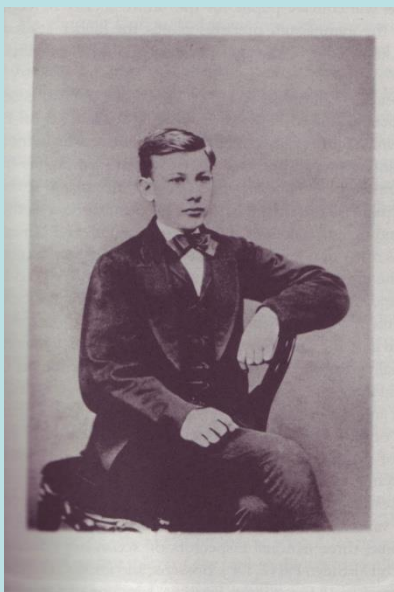
v publiku: Alexandr Siemens s chotí, Lady Dewar, Sir Williams Crookes, Lord Rayleigh, Ludwig Mond, Sir Oliver Lodge, Sir Francis Galton, Robert Mond, Commendatore Marconi
asistenti: J. W. Heath, R. N. Lennox
(autor: Henry Jamyn Brooks)

1908 zakapalnění helia – 4,2 K

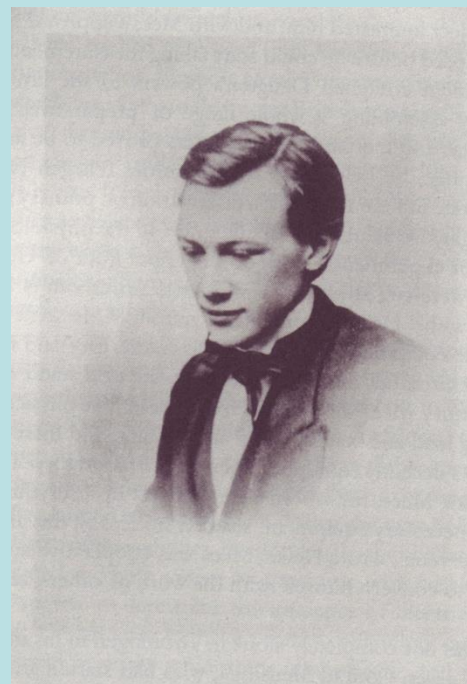
Heike Kamerlingh Onnes

se narodil 21. září 1853 v Gronigen

v rodině majitele cihelny, v kultivovaném prostředí literatury, hudby a malířství

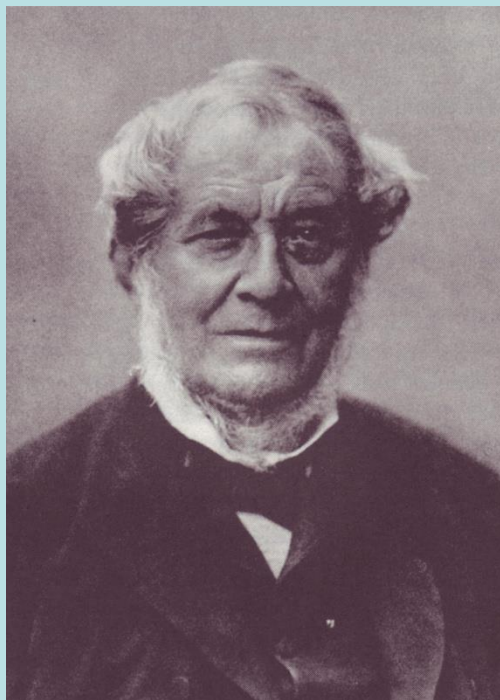


Heike ve věku 17 let,
studoval na univerzitě v Groningen (1870 – 1876)
aktivní účast ve studentských spolcích

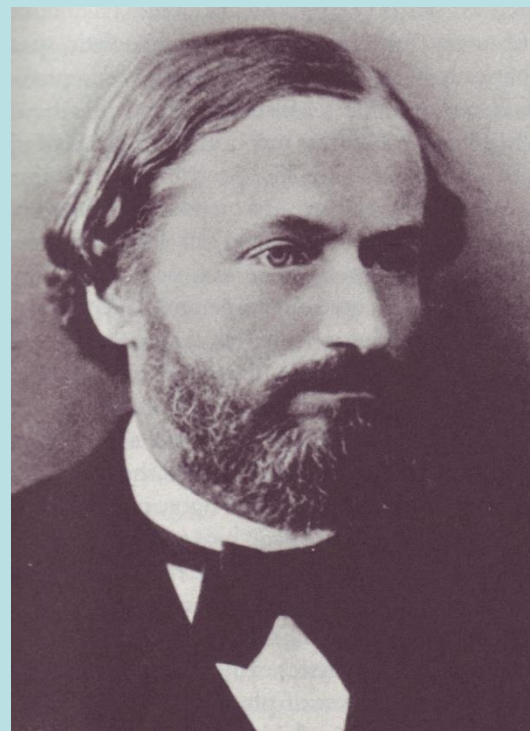


Heike v 22 letech

od listopadu 1871 do dubna 1873
studoval na univerzitě v Heidelbergu



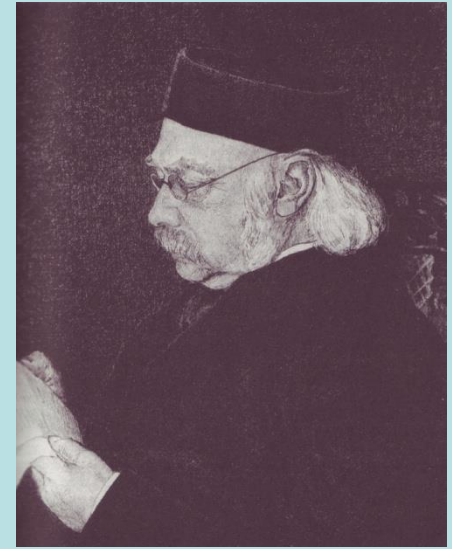
Robert Bunsen (1811 – 1899)
profesor chemie



Gustav Kirchhoff (1824 – 1887)
profesor fyziky

- důraz na přesnost měření

v roce 1876 získal H. K. O. vědecký stupeň Master ve fyzice
a aprobaci Higher Educational Act
v letech 1878 – 1882 asistentem na univerzitě v Delftu



Johannes Bosscha
profesor univerzity v Delftu

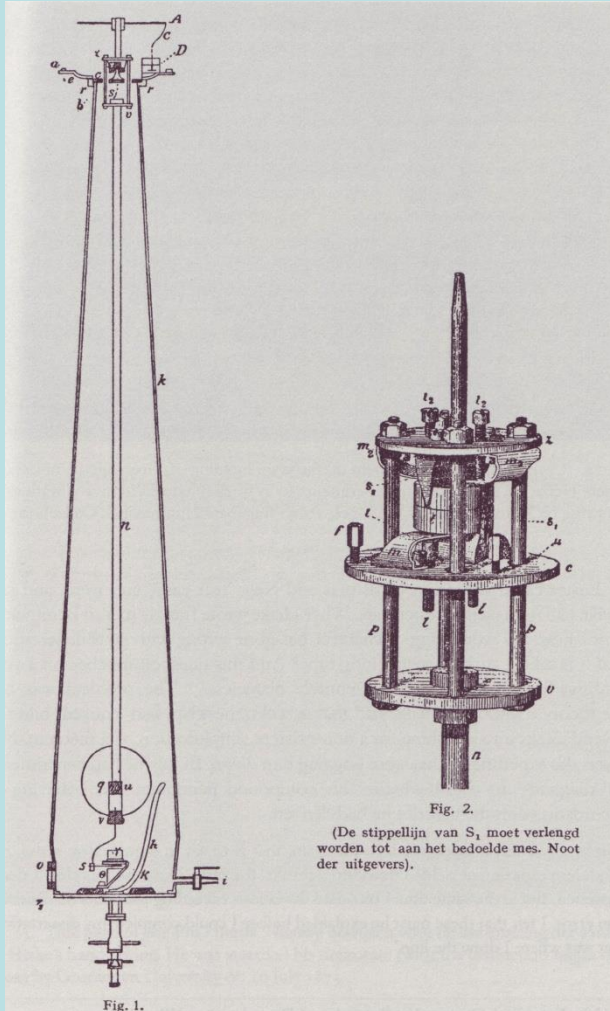
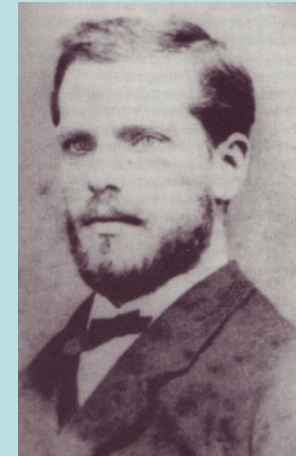


Fig. 2.
(De stippellijn van S₁ moet verlengd worden tot aan het bedoelde mes. Noot der uitgevers).

v roce 1879 obhájil disertaci o vlastnostech
Foucaultova kyvadla:
New proof of the Earth's rotation on its axis

Johannes Diderick van der Waals (1837 – 1923)



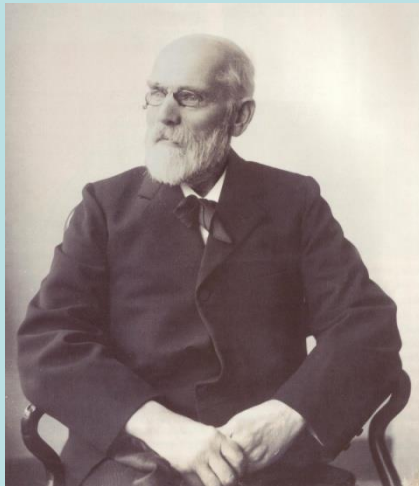
1873 – stavová rovnice reálného plynu

$$(V - b)(p + a/V^2) = nRT$$

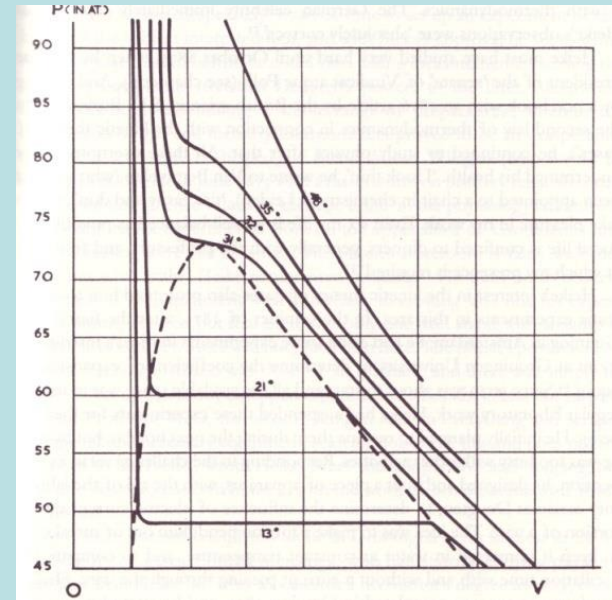
1879 – zákon o korespondenčních stavech

$$(\pi + 3/v^2)(v - 1/3) = 8/3 \tau$$

$$\pi = p/p_c, v = V/V_c, \tau = T/T_c$$



inspiroval Dewara a H.K.O.
ke studiu fázových přechodů plynů a kapalin



1910 Nobelova cena za fyziku

**za formulování fázových rovnic
plynů a kapalin**

v září 1882 byl Heike Kamerlingh Onnes jmenován profesorem fyziky na univerzitě v Leidenu

V inauguračním projevu 11. listopadu 1882
O významu kvantitativního výzkumu ve fyzice
zdůraznil nutnost přesného měření pro formulování
teoretických závěrů

nade dveře laboratoří umístil nápis

Door meten tot weten

(od měření k poznání)

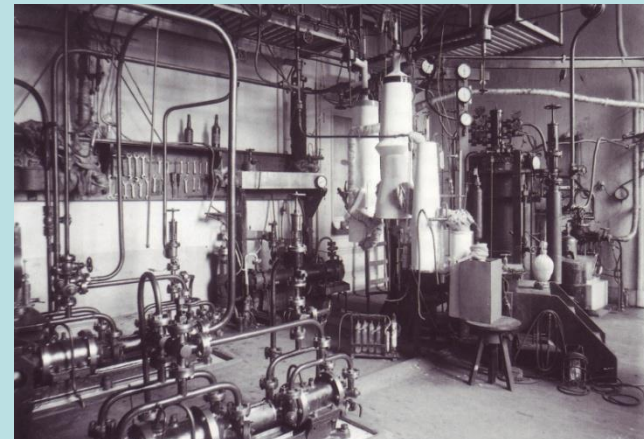


budova fyzikálního ústavu na Steenschuur
postavená v roce 1859



Scanned at the American
Institute of Physics

sál zkapalňovače helia



kaskáda refrigerátorů



založil odborný časopis *Communications from the Physical Laboratory at the University of Leiden* pro okamžitou publikaci výsledků výzkumu

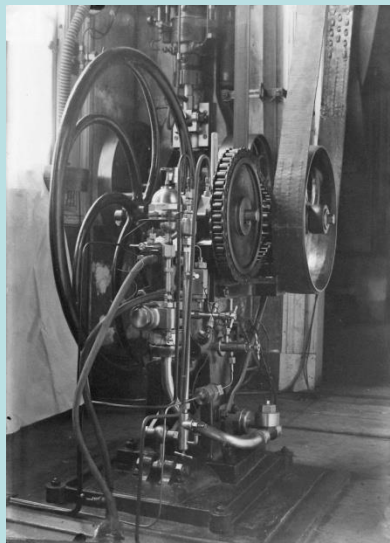
v září 1887 se H. K. O.
oženil s Betsy Bijleveldovou



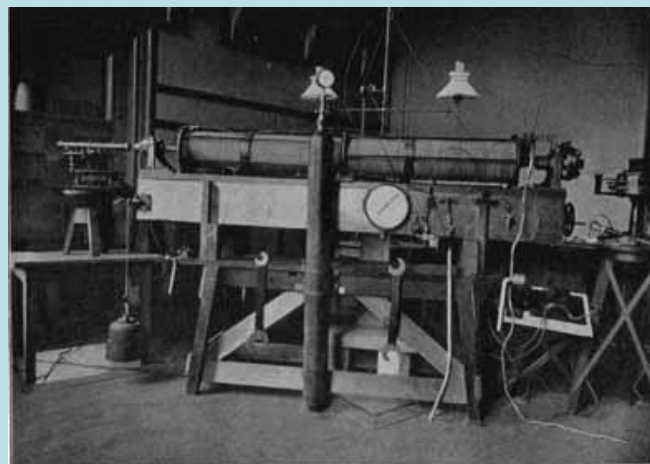
zřídil sklářskou školu a dílnu vedenou Oskarem Kesselringem



v roce 1900 založil v budově fyzikálního ústavu školu jemných mechaniků 14



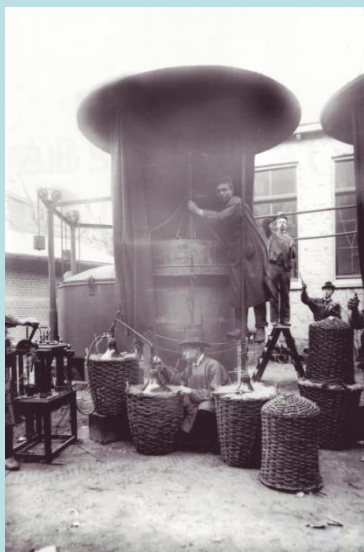
Cailletetův kompresor se rtuťovým pístem



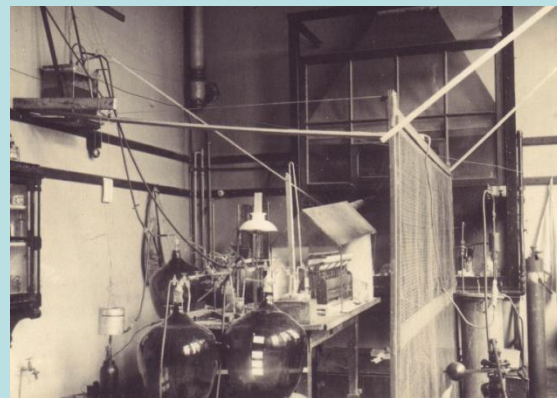
WERKAMER C.

Scanned at the American
Institute of Physics

sál kompresorů



plnění plynojemu etylénem



čištění plynného helia



H. K. O. se svými asistenty

1868 – Pierre Janssen objevil čáry He ve spektru sluneční korony
1895 – William Ramsay objevil He v plynech uvolňovaných ze smolince
1905 – H.K.O. získal monazitový písek ze Severní Karoliny

v únoru 1895 byly zastaveny práce na zkapalňování plynů
- po 2 roky vládní komise vyšetřovala bezpečnostní opatření při zacházení se stlačenými plyny
- dobrozdání zahraničních fyziků (Dewar, Olszewski)
- konečný výrok: „energie stlačeného plynu v tlakové lahvi nepřesahuje energii exploze bedničky dělostřeleckých granátů, jejíž přeprava po železnici nepodléhá zvláštním předpisům“

vzpomínka na výbuch lodi
naložené střelným prachem v roce 1807



Heike Kamerlingh Onnes

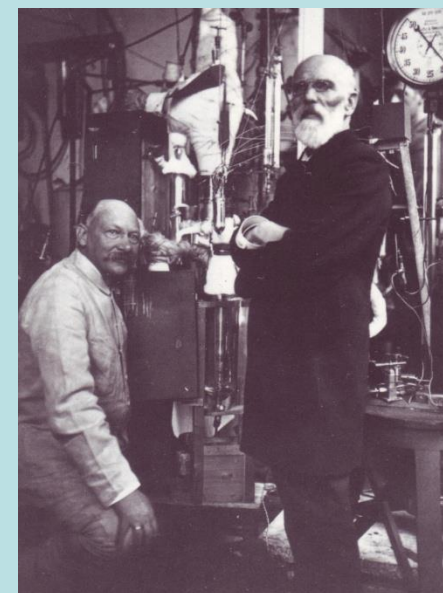


21/09/1853 Groningen – 21/02/1926 Leiden

Průběh památného dne 10. července 1908

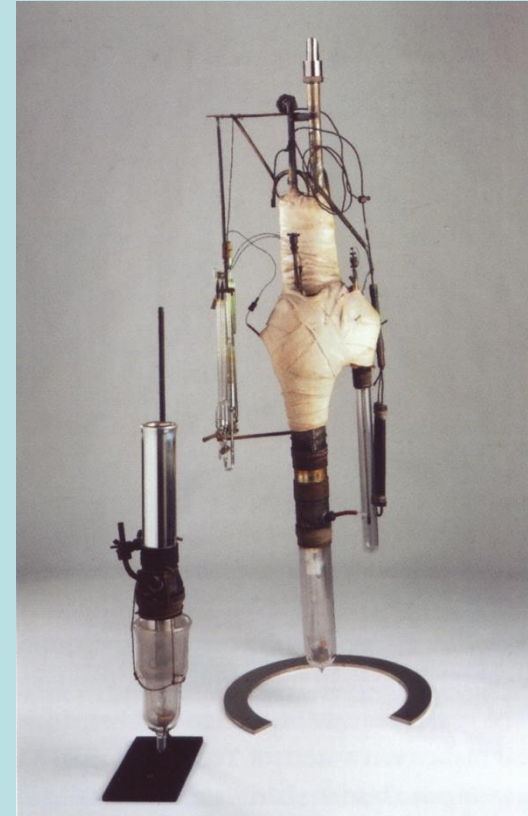
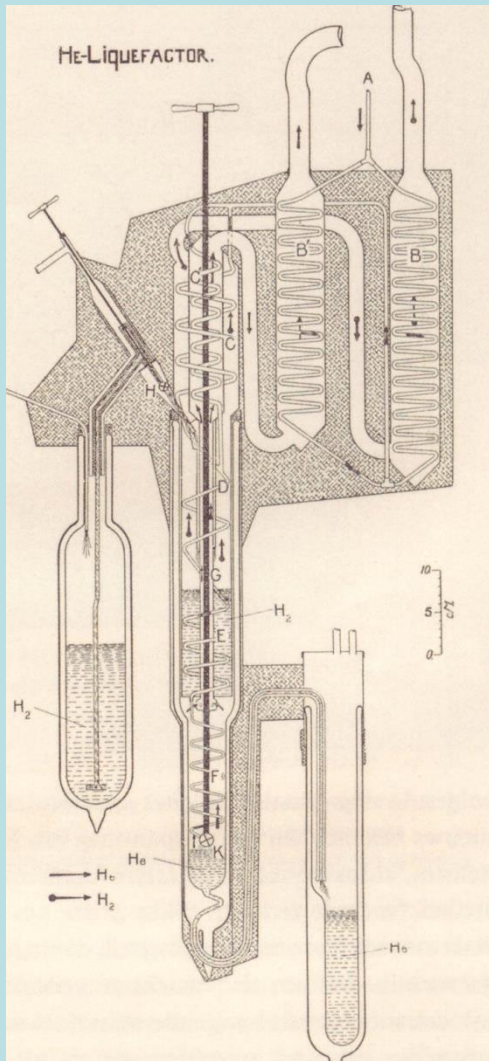
- den předem bylo připraveno 75 litrů kapalného vzduchu
- zařízení bylo testováno na těsnost, vyčerpáno a napuštěno čistým plynem
- do 11:30 hod. bylo připraveno 20 litrů kapalného vodíku
- 200 litrů plynného helia bylo po několik měsíců získáváno žháním monazitového písku a opakovaně zbavováno zbytků nečistot
- do aparatury byl nalit kapalný vzduch, kapalný vodík byl použit k prochlazení vnitřních prostor
- ve 14:30 hod. bylo zahájeno prochlazování helia, po 30 minutách klesla teplota na $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$
- v 16:20 hod. byl spuštěn kompresor oběhu helia, hodinu poté byl plyn stlačen na 10 MPa, byl ochlazován čerpaným vodíkem teplota klesala, v 18:30 hod. byla teplota nižší než teplota kapalného vodíku a klesala nepravidelně až na $-267\text{ }^{\circ}\text{C}$
- do aparatury byla nalita poslední zásoba kapalného vodíku
- teploměr začal ukazovat stálou teplotu $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$, nebylo vidět žádnou kapalinu
- profesor chemie Schreinemaker doporučil osvětit nádobu zespodu a tak poprvé spatřili hladinu kapalného helia (bez menisku)
- bylo připraveno **60 ml kapalného helia**.
- ihned bylo zahájeno čerpání par až na tlak 23 torr (1,5 K) ve 20:30 hod. bez přeměny kapaliny v led
- ve 21:30 hod. zbývalo jen několik mililitrů kapalného helia a experiment byl ukončen

(Communication No. 108)



H. K. O. a Van der Waals

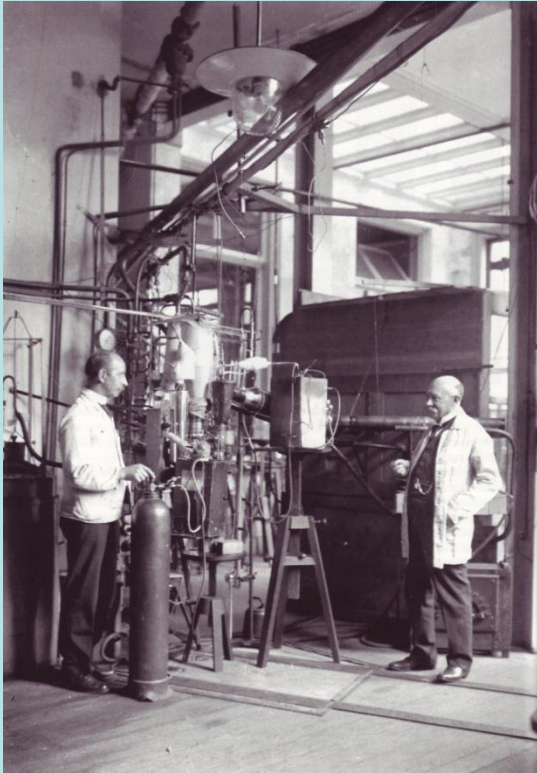
10. červenec 1908 zkapalnění helia - 4,2 K



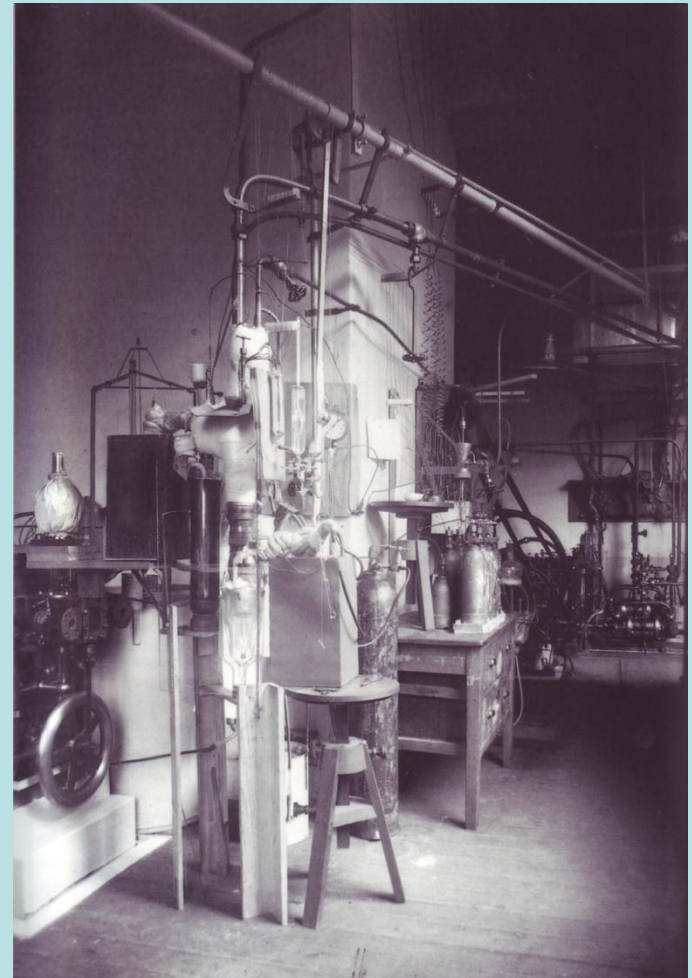
Communication No. 108

Nejen zařízení pracovalo na mezi svých možností během experimentu a při jeho přípravě, ale i moji spolupracovníci byli nuceni pracovat na mezi svých sil.

1908



Chtěl bych zvláště vyjádřit svou vděčnost panu Gerritu J. Flimovi, který mi nejen asistoval jako vedoucí technické skupiny kryogenní laboratoře při řízení všech operací, ale dohlížel i na konstrukci všech zařízení pod mým vedením. Poskytl mi tak velmi účinnou a inteligentní pomoc v obou směrech.
(*Communication No. 108*)



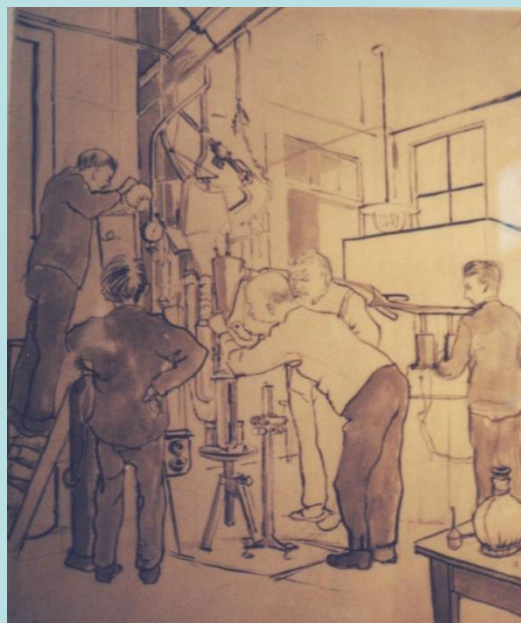
první zkapalňovač helia



Menso K. O. 1904
(bratr H.K.O.)



Harm K. O. 1920 (synovec H.K.O.)



Harm K. O. 1920



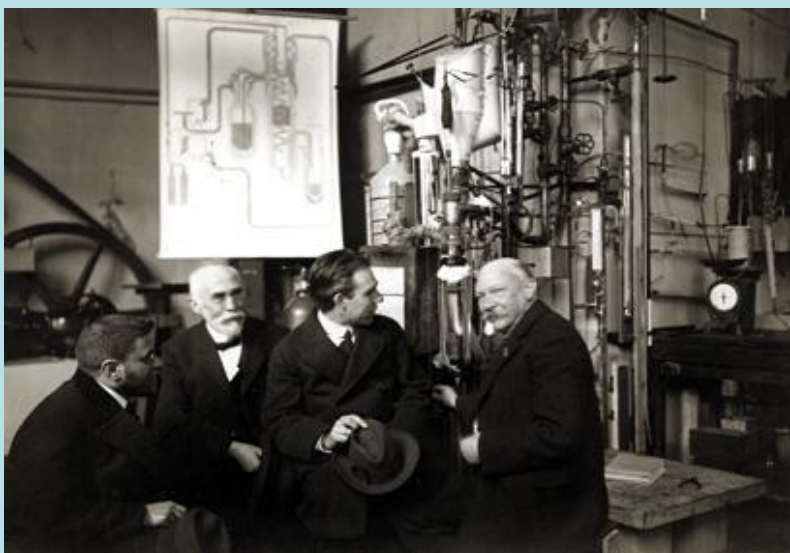
Harm K. O. 1921

1911 objev supravodivosti

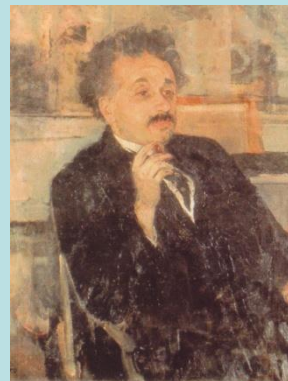
1913 Nobelova cena za fyziku

„za výzkum vlastností hmoty při nízkých teplotách, který vedl. kromě jiného. ke zkapalnění helia“

slavní návštěvníci



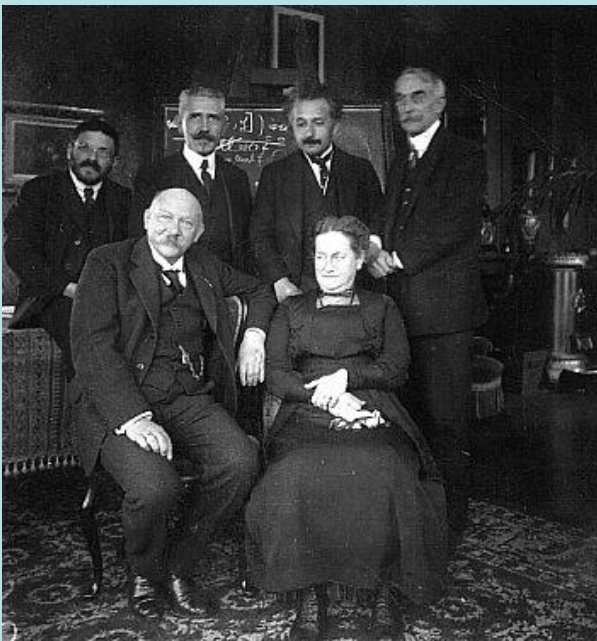
P. Ehrenfest, H. A. Lorentz, Niels Bohr a H. K. O.
v roce 1921



Albert Einstein byl v roce 1920
hostujícím profesorem v Leidenu



Harm K. O. 1921



H.K.O. s chotí, A. Einstein, P. Ehrenfest,...



Marijke K.O. 1920 (Museum De Lakenhal) (neteř H. K. O.)

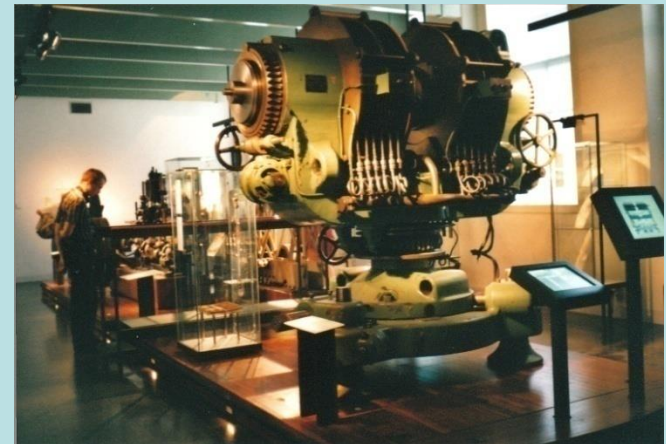
Boerhaaveovo muzeum v Leidenu



zkapalňovače

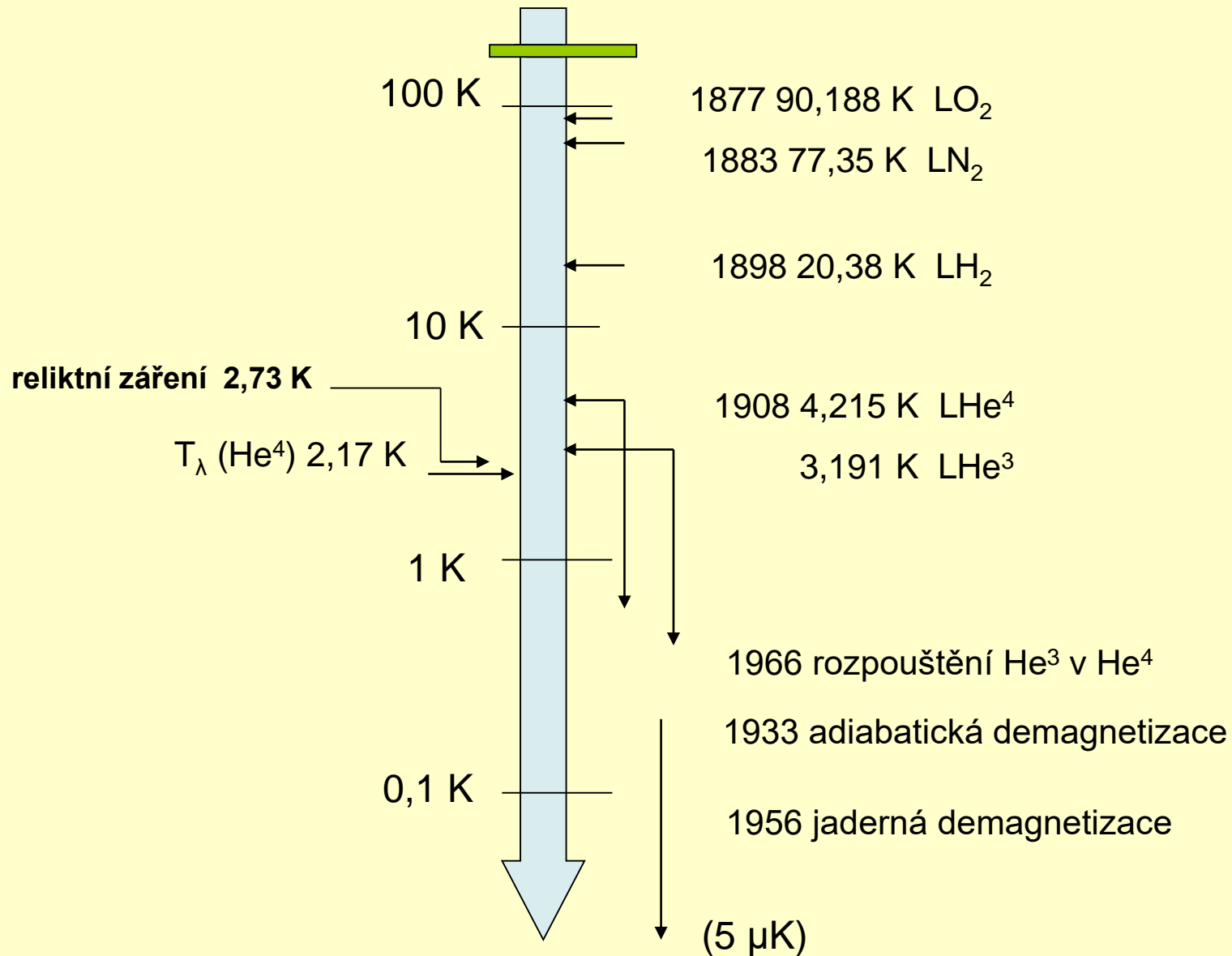


starší fyzikální přístroje



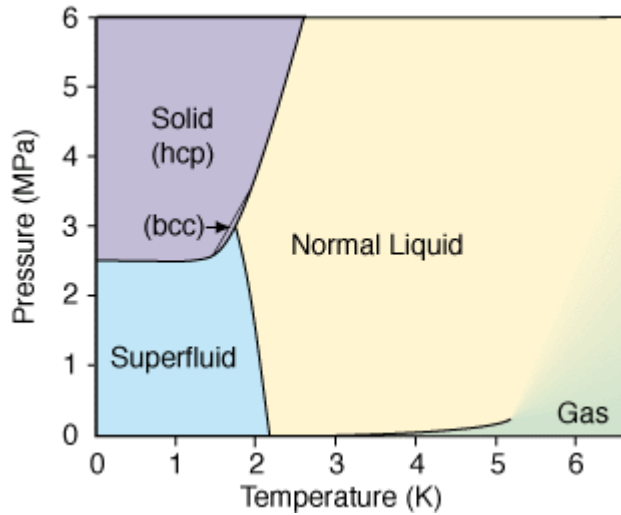
demagnetizační aparatura W. J. de Haase

Historický teploměr

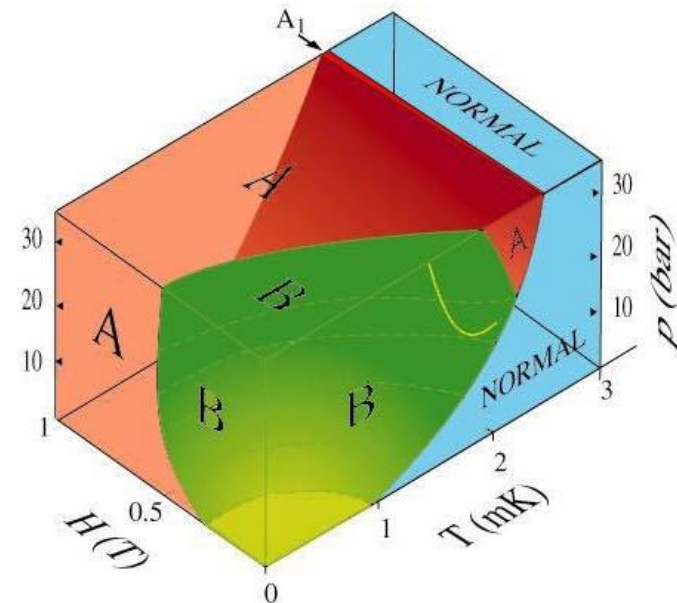


Supratekutost

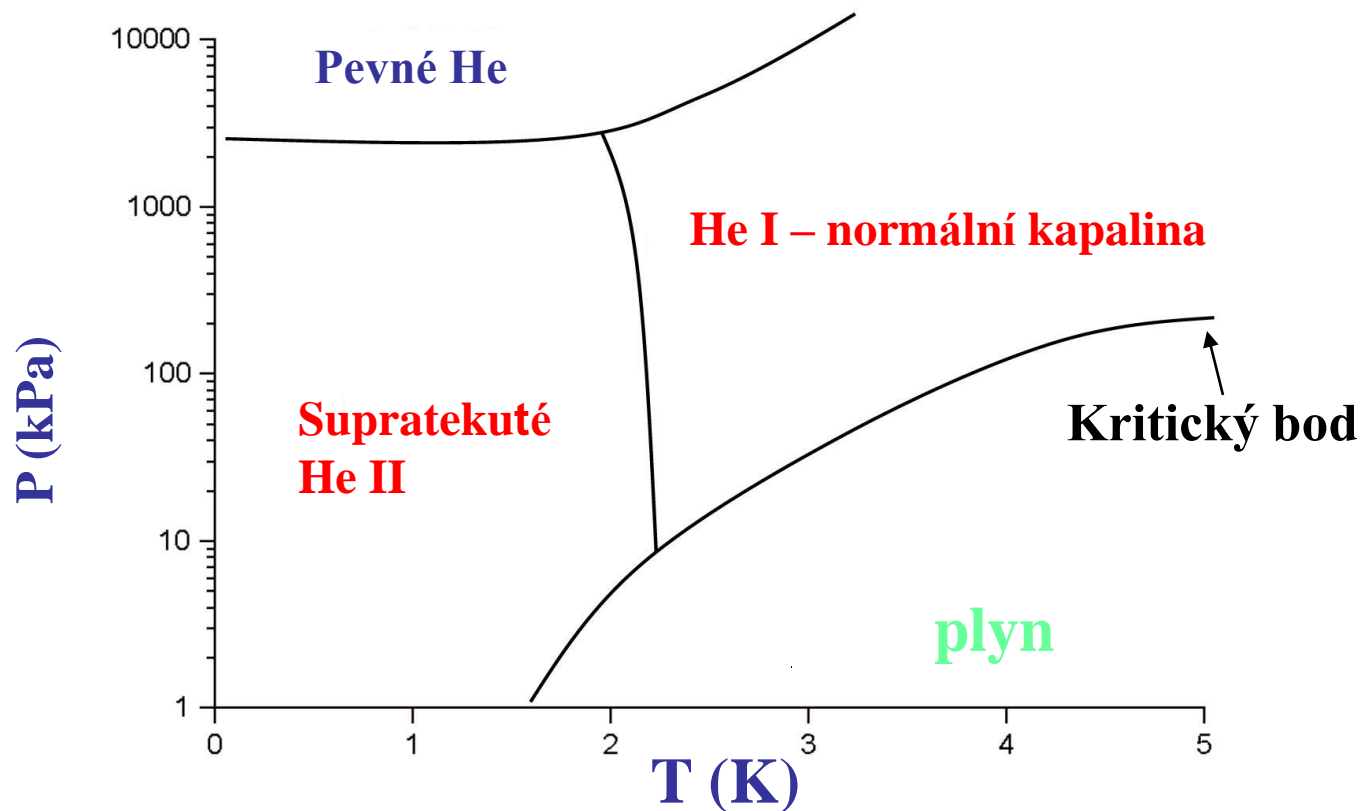
^4He – kondenzát bosonů



supratekuté fáze ^3He - párování fermionů



Fázový diagram ^4He

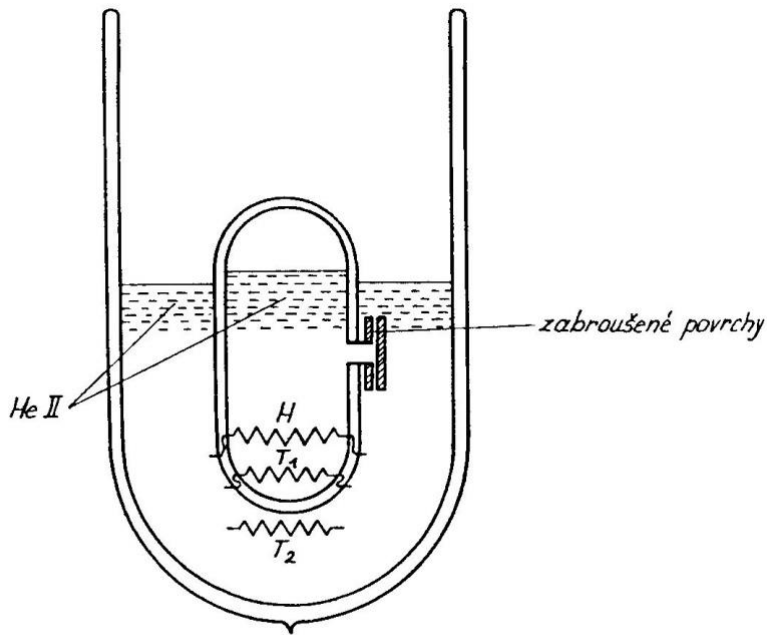


Mezi oblastmi I a II neexistuje skupenské teplo – nemohou existovat současně - fázový přechod 2. druhu

Tepelná vodivost při přechodu I – II vzroste $3 \cdot 10^6$ krát.

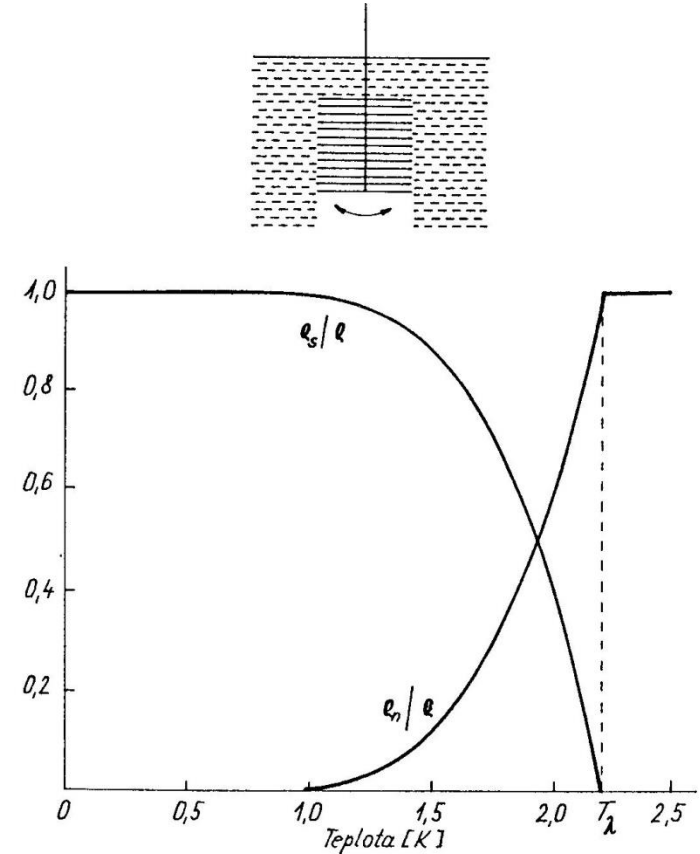
He II – kvantová kapalina, nezamrzá až do teploty absolutní nuly !

Objev supratekutosti – experimenty P. L. Kapica



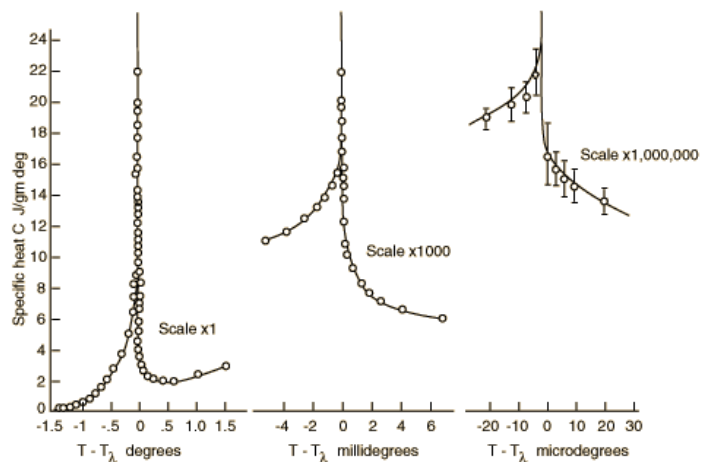
Obr. 3.3. Schema Kapicova pokusu ke stanovení viskozity HeII
H - odporový ohřivač, T₁, T₂ - teploměry

Andronikašviliho pokus



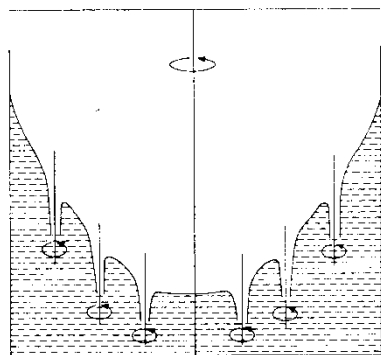
Tisza - model dvousložkové kapaliny
Boseho – Einsteinova kondenzace

Projevy supratekutosti



supratekutý film

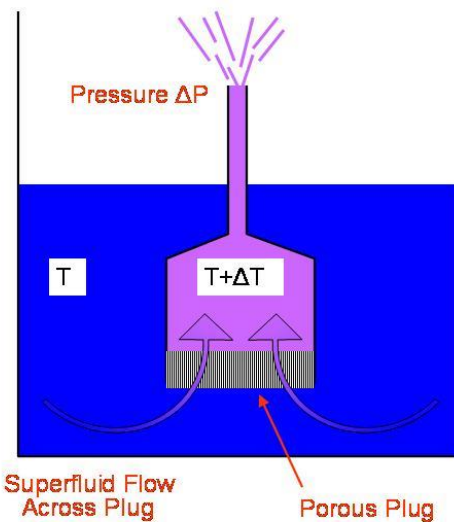
přechod λ mezi supratekutou a normální kapalinou



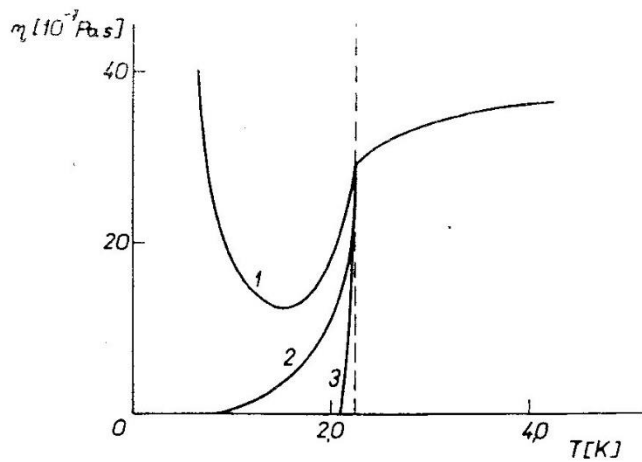
$$\oint_L \vec{v} d\vec{l} = n \frac{h}{m_4}$$

$$k_0 = \frac{h}{m_4} = 9,98 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

rotace supratekuté kapaliny

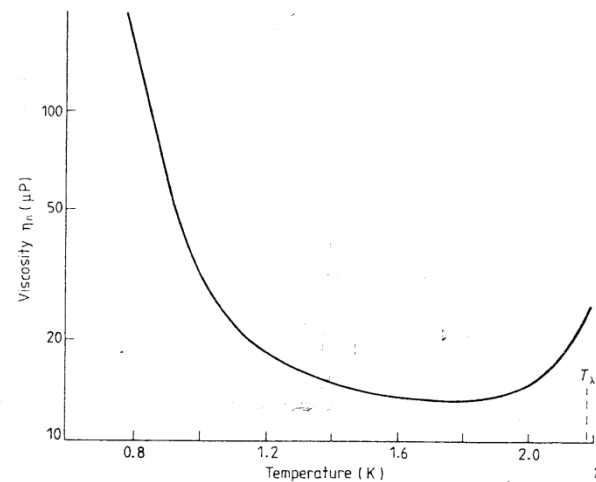


fontánový jev

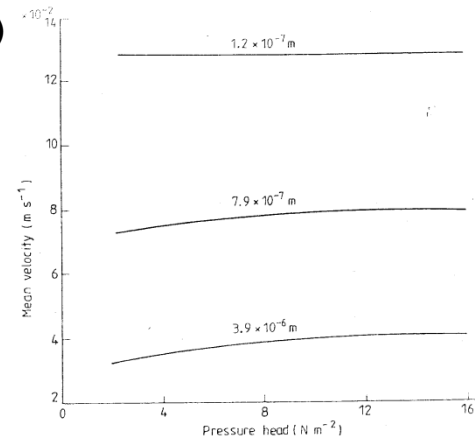


- 1 – rotační viskozimetr
- 2 – oscilující disk
- 3 - průtok kapilárou

rotační viskozimetr

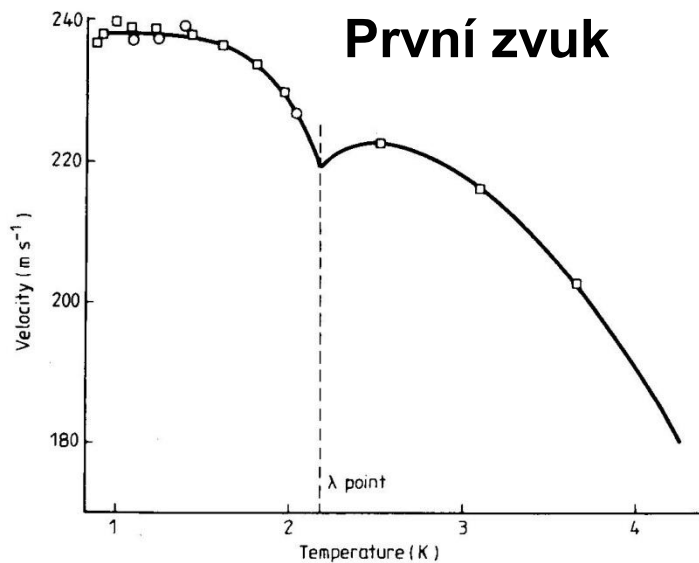


rychlost (m/s)

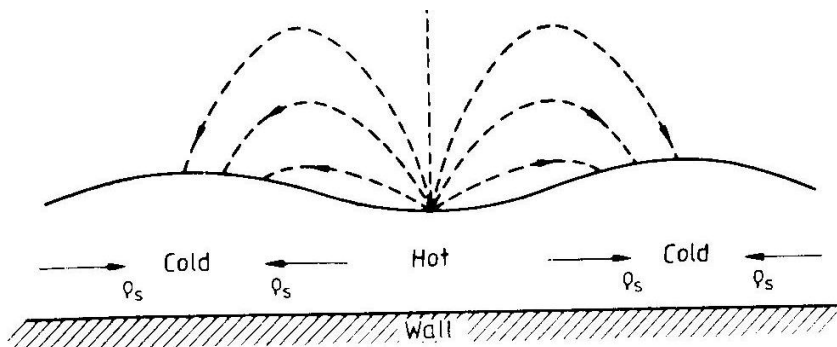


průměr
kapiláry

tlak (Pa)



Třetí zvuk - vlny na povrchu supratekutého filmu



Čtvrtý zvuk – v porézním prostředí, kdy je normální složka díky konečné vazkosti „přibita“ ke stěnám

Děkuji vám za pozornost,

