



József Cserti



ELTE, TTK
Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

A 2016. évi fizikai Nobel-díj
a topológikus fázisokért

Svéd Királyi Tudományos Akadémia



A 2016. évi fizikai Nobel-díjat

David Thouless, Duncan Haldane és Michael Kosterlitz

(mindhárman amerikai egyetemen kutató brit tudósok),

a **topológiai fázisátmenetek** és az **anyag topológiai fázisainak** felfedezéséért, az anyagkutatás terén elért elméleti eredményeikért kapták.

A díj egyik felét Thouless, a másik felét megosztva Haldane és Kosterlitz kapta.



David J. Thouless, born 1934 in Bearsden, UK.
Ph.D. 1958 from Cornell University, Ithaca, NY, USA.
Emeritus Professor at the University of Washington, Seattle, WA, USA.



F. Duncan M. Haldane, born 1951 in London, UK.
Ph.D. 1978 from Cambridge University, UK.
Eugene Higgins Professor of Physics at Princeton University, NJ, USA.



J. Michael Kosterlitz, born 1942 in Aberdeen, UK.
Ph.D. 1969 from Oxford University, UK.
Harrison E. Farnsworth Professor of Physics
at Brown University, Providence, RI, USA.



Az anyag halmazállapotai

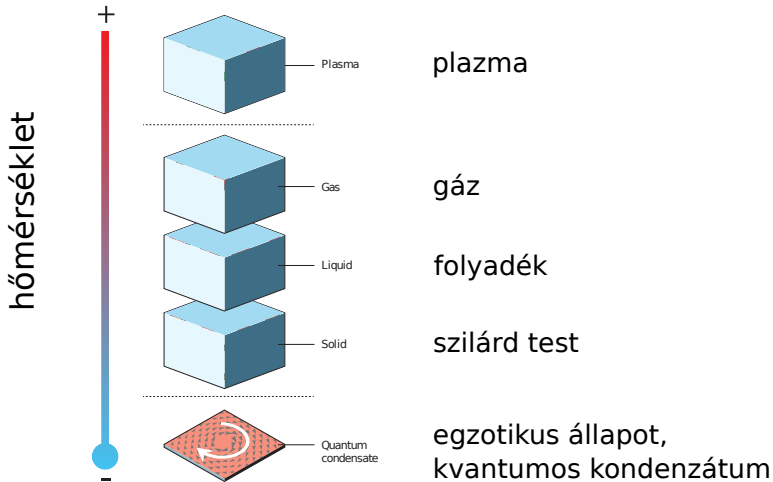


Illustration: © Johan Arnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

Atomcsill előadás, 2016. december 8.

Sasvári László (ELTE TTK, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék):

Fázisátalakulások, avagy az anyag ezer arca

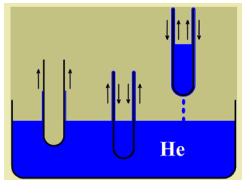
Szuperfolyékony hélium, a szupravezető és a mágneses anyagok

Alacsony hőmérsékleten (néhány K) fellépő jelenségek.

Szuperfolyékonyság: nagy hővezetésű és súrlódásmentes folyadékállapot, **nulla viszkozitású** állapot.

Szupravezető: **zérus az elektromos ellenállás**, teljesen vagy részlegesen **kizárják magukból a mágneses mezőt**.

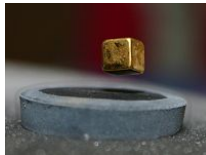
P. Kapica (1894-1984)
1930 (Nobel-díj 1978)



<http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Szuperfo.htm>

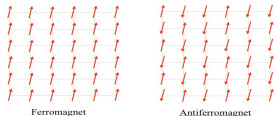


H. Kamerlingh Onnes (1853-1926)
1911 (Nobel-díj 1913)

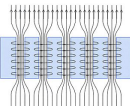


<https://hu.wikipedia.org/wiki/Szupravezet%C3%A9s>

Mágneses kocka lebeg cseppfolyós nitrogénnel hűtött magas hőmérsékletű szupravezető felett



mágneses rendeződés



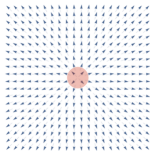
Abrikosov-rács (**vortex-rács**)
a mágneses flux behatol a szupravezetőbe,

Kosterlitz-Thouless-fázisátalakulás

XY-modell, a mágnesek csak a síkban foroghatnak

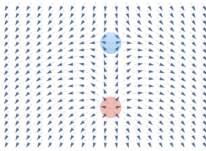
Folytonos transzformációval

nem lehet eltüntetni a vortextet



egy vortext

el lehet tüntetni a vortextet



vortext pár

A vortextek kölcsönhatnak, mint az elektromos töltések 2 dimenzióban, 2D Coulomb-gáz.

Véges hőmérsékleten szétzilálódik a struktúra, a kritikus hőmérsékleten topologikus fázisátalakulás lép fel.

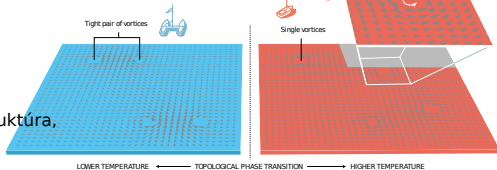


Illustration: © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

alacsony hőmérsékletű fázis

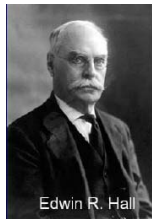
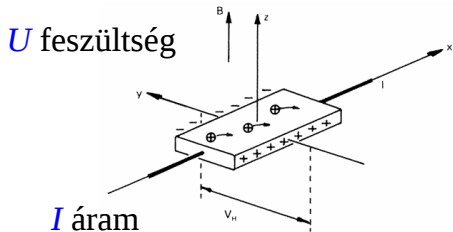
magas hőmérsékletű fázis

A modell alkalmas vékony rétegekben kialakuló szupravezetés és szuperfolyékonyság fázisátalakulásának leírására, az elméletet kísérletileg igazolták.

Hall-effektus

(1879)

kis mágneses tér ($B < 1\text{Tesla}$)



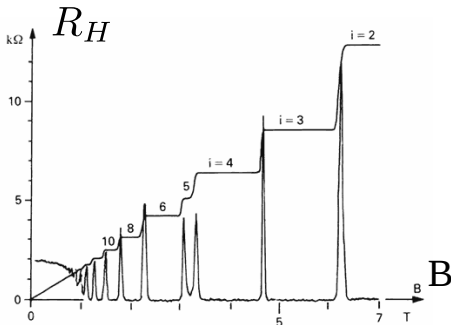
Edwin R. Hall

Edwin Herbert **Hall**
(1855-1938)

Hall-ellenállás: $R_H = \frac{U}{I} \sim B$

Kvantált Hall-effektus

(egész)



- . A hőmérséklet néhány Kelvin
- . A mágneses tér több Tesla

$$R_H = \frac{h}{i e^2}, \quad i = 1, 2, 3, \dots$$



Klaus von Klitzing
Max-Planck-Intézet
Stuttgart

1985. Nobel-díj

$$\frac{h}{e^2} \approx 25812,8 \Omega$$

Univerzális állandó!!!

Topológia a geometriában

Topológia: az alakzatok folytonos deformációja (azaz szakítás, lyukasztás nélküli) - nyújtások, csavarások stb. - közben megmaradó (**invariáns**) geometriai tulajdonságok tanulmányozása.



g = genus (a lyukak száma), topológiailag **invariáns egész szám**

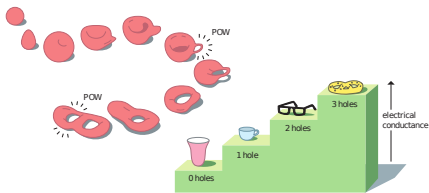


Illustration: © Johan J. Arnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

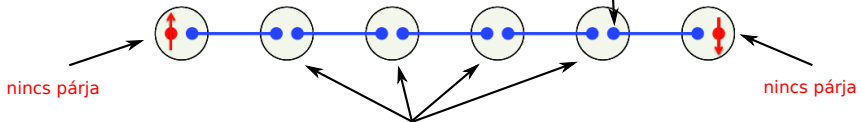
A kvantum Hall-effektus topologikus eredetű. A mágneses tér változásával az elektronok kvantumos állapota **topologikus fázisátalakuláson** megy át.

A Nobel-díjasok az elméleti eredményeiket a **topológia** matematikai elmélete alapján értelmezték.

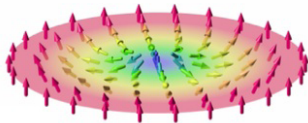
Haldane-fázis mágneses láncban

Antiferromágnes:  $S = \frac{1}{2}$

Haldane-fázis, szabad végű mágneses lánc:



$S = 1$ két kvantummechanikailag összefonódott mágnes



Folytonos deformációval ezt a mágneses (spin) struktúrát **nem** lehet átvinni olyan struktúrába, melyben a mágnesek **azonos irányban** állnak.

A Haldane-fázist kísérletileg kimutatták CsNiCl₃ kristályban.

További egzotikus anyagok: topologikus szigetelők, szupravezetők...

Régóta ismert: elektromos vezetők, szigetelők, félvezetők.

A kvantum Hall-effektus felfedezése kaput nyitott új, egzotikus anyagok kutatása felé.

Topologikus szigetelők

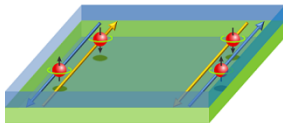
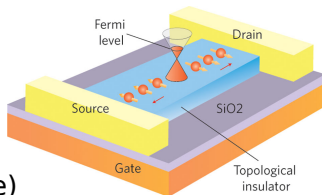
Topologikus szupravezetők

Majorana fermion (részecske=anti részecske)
ún. Kitaev spin-lánconban (Haldane-lánchoz hasonló)

Weyl félfém (grafénhoz hasonló)



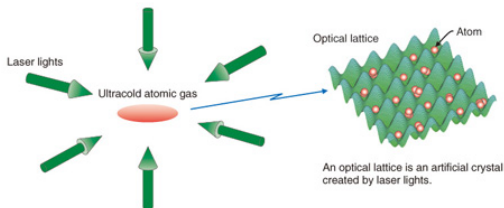
Lehetséges alkalmazások:
Elektronikai és kvantum információ
Topologikus kvantum számítógép



További egzotikus anyagok optika rácsban

Optikai rácsban az egymással szemben terjedő lézersugarakkal térben periodikus elektromos teret lehet létrehozni, amelyben semleges atomokat (pl. Rb, K) lehet csapdázni.

A kapott anyag egy kristályrácshoz hasonlít, tervezhető, mesterségesen topologikus fázissal rendelkező kristály hozható létre.



Optikai rácsba csapdázott hideg kálium atomokkal Esslinger kísérletileg szimulálta a Haldane-modellt.