

Topologiset rakenteet fysiikassa: vuoden 2016 Nobel-palkinnosta kvanttisolmuihin ja -monopoleihin

– Mikko Möttönen

OSA I

Vuoden 2016 Nobel-palkinnot

Nobel-luennnot

<https://www.youtube.com/watch?v=SQWXK7qYOPU&feature=youtu.be>



Fysiikan Nobel 2016



© Trinity Hall, Cambridge University. Photo: Kiloran Howard

David J. Thouless

Prize share: 1/2

82 v.

(44 v.)



Photo: Princeton University, Comms. Office, D. Applewhite

F. Duncan M. Haldane

Prize share: 1/4

65 v.

(33 v.)



Ill: N. Elmehed. © Nobel Media 2016

J. Michael Kosterlitz

Prize share: 1/4

73 v.

(44 v.)

Fysiikan Nobel 2016



© Trinity Hall, Cambridge University. Photo: Kiloran Howard

David J. Thouless

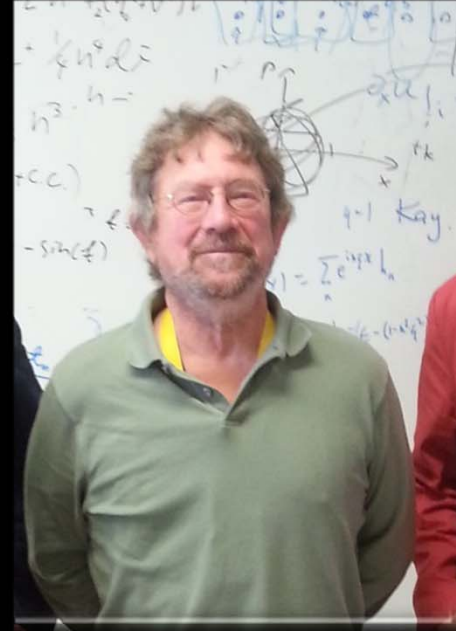
Prize share: 1/2



Photo: Princeton University, Comms. Office, D. Applewhite

F. Duncan M. Haldane

Prize share: 1/4



Ill: N. Elmehed. © Nobel Media 2016

J. Michael Kosterlitz

Prize share: 1/4

Fissuro Kosterlitz (1970)



Fysiikan Nobel 2016

"Topologisten eli laadullisesti erilaisten rakenteiden vaikutuksia materiaaleissa ja aineen olomuodon muutoksissa."



Kuva: LucasVB

Topologian muuttumattomuuden säännöt

Saa: venyttää
 siirtää
 kääntää
 kiertää

Ei saa: repiä
 liittää



Topologisesti stabiili

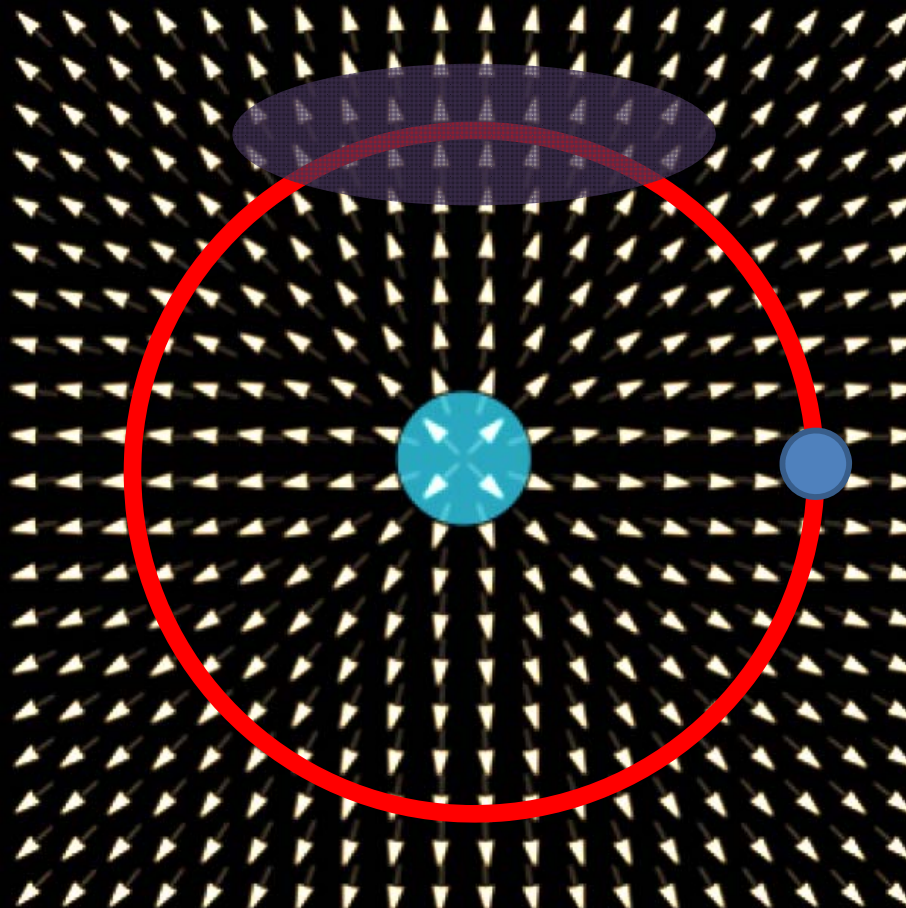
- Ominaisuus ei katoa sääntöjä noudattamalla



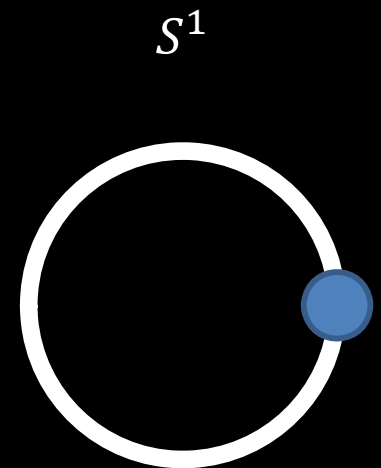
100 μm

Vorteksi

- ”Suunta” pyörähtää ympäri luupissa

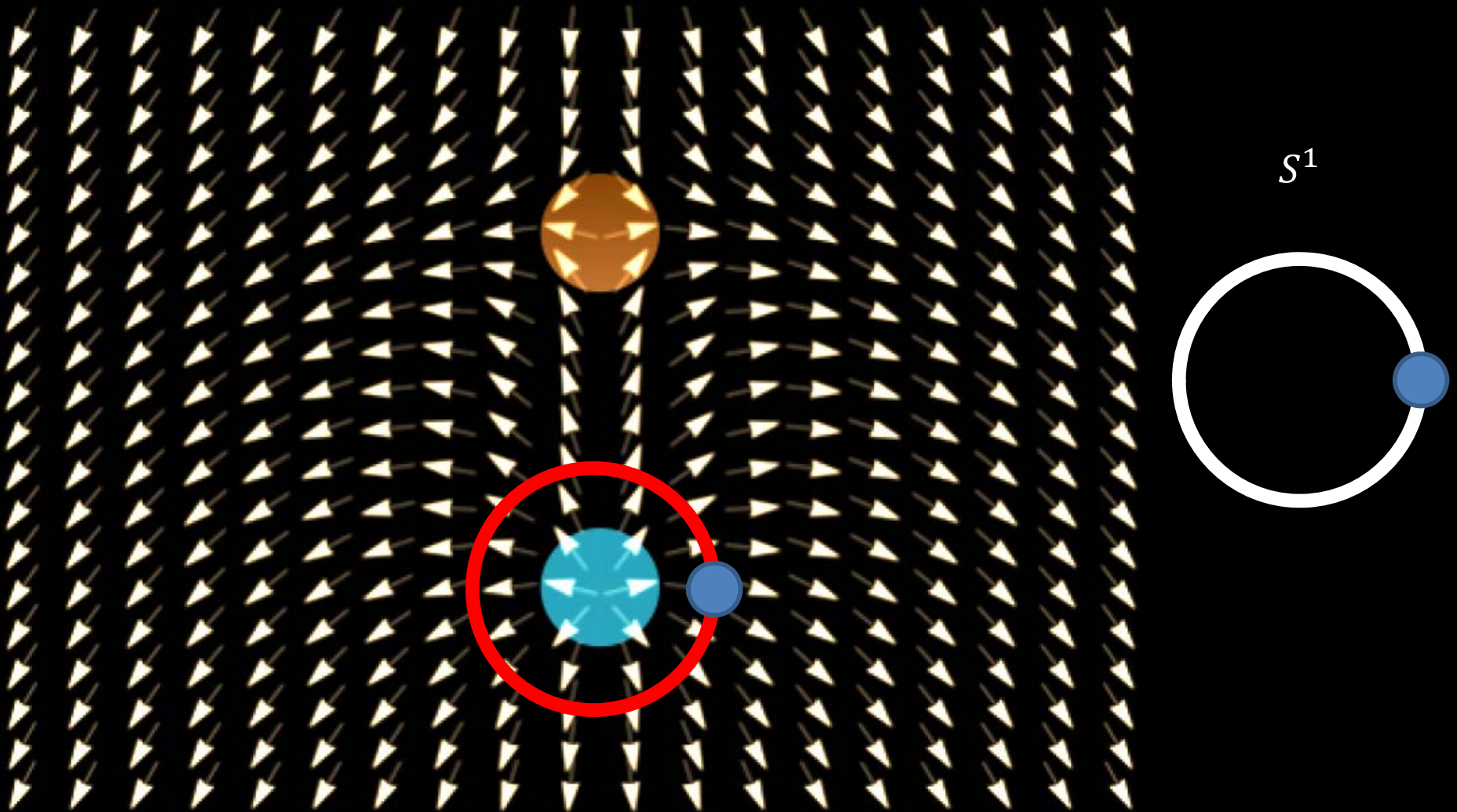


- Ei voi poistaa paikallisilla muunnoksilla



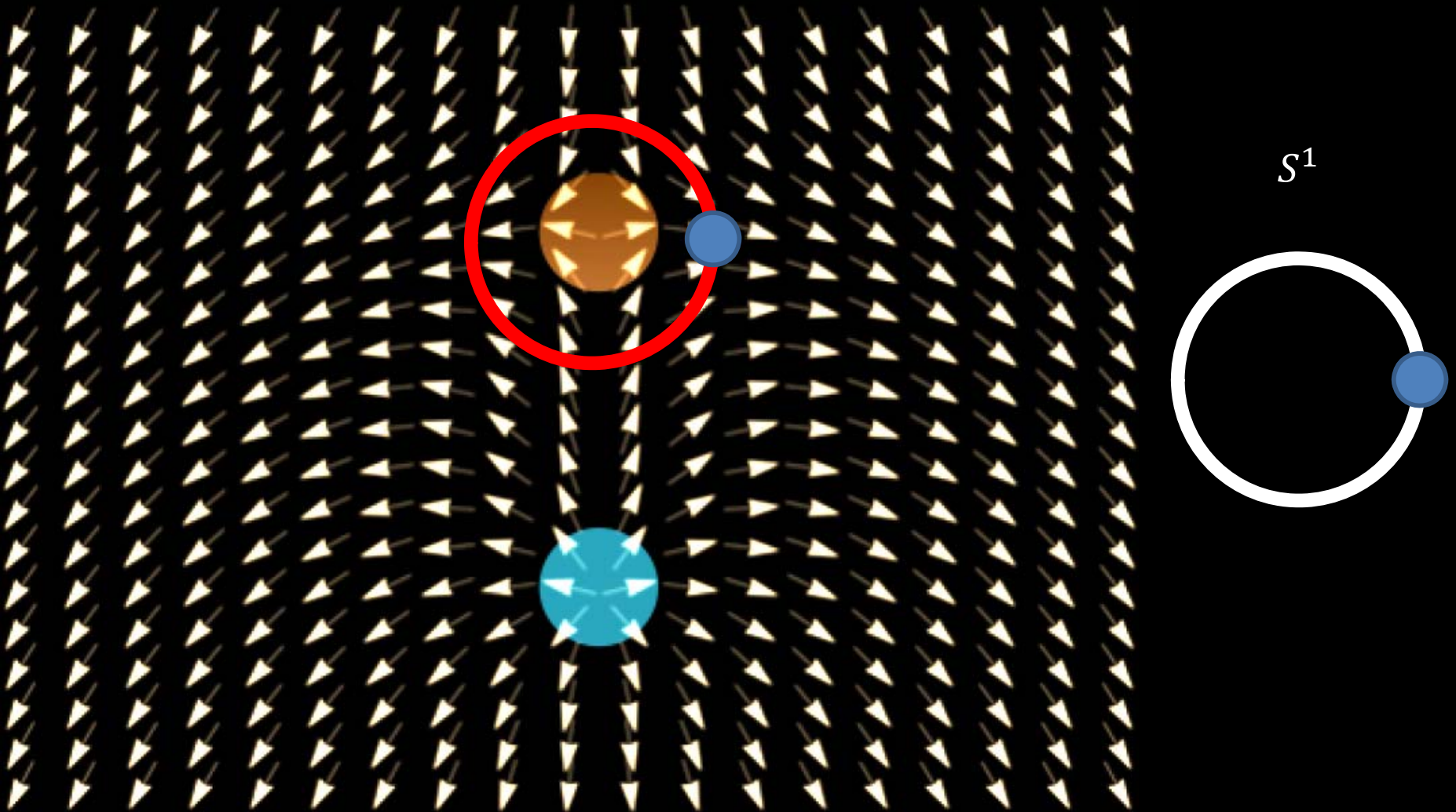
Vorteksipari

- Pienempi energia



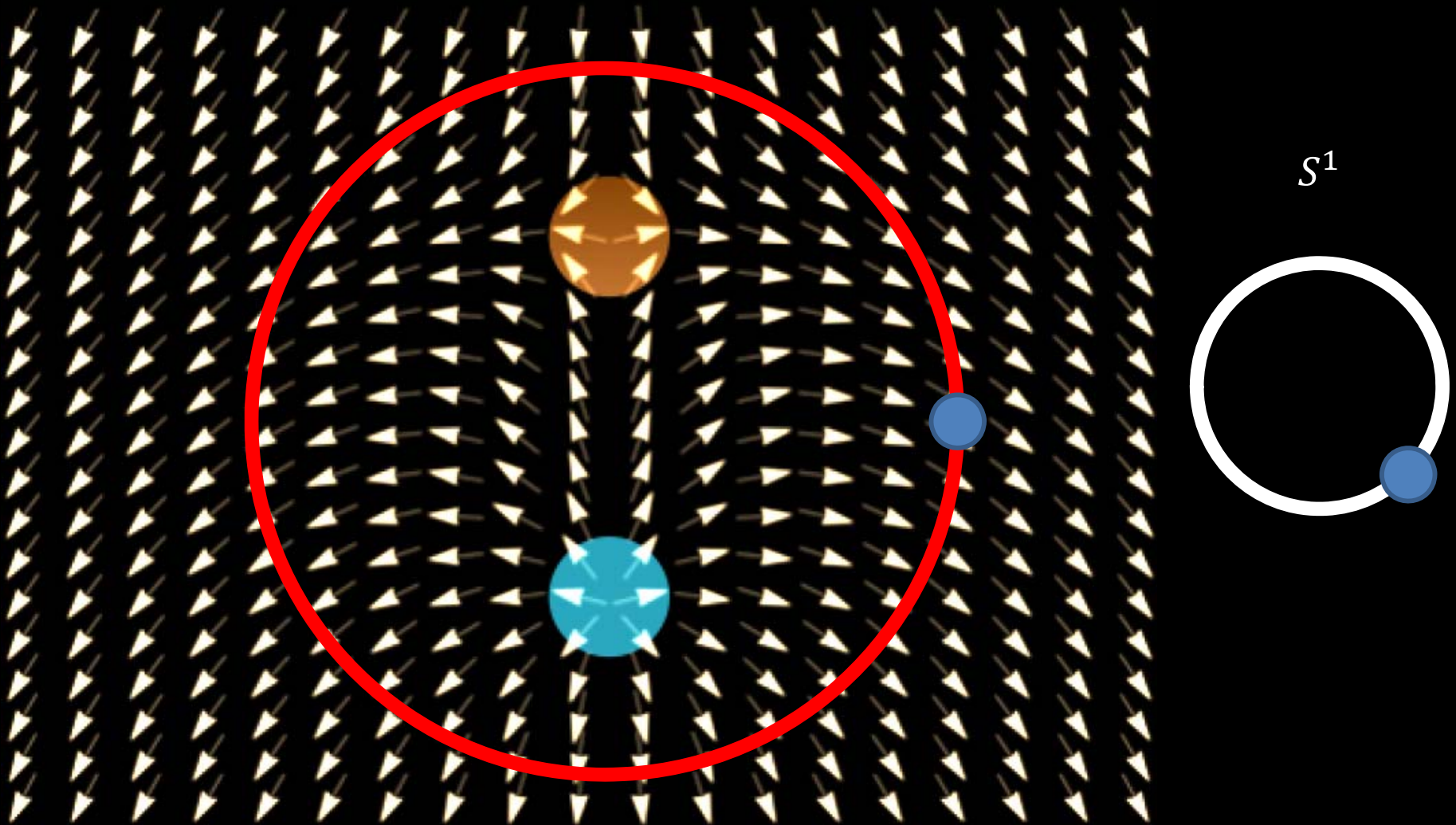
Vorteksipari

- Pienempi energia



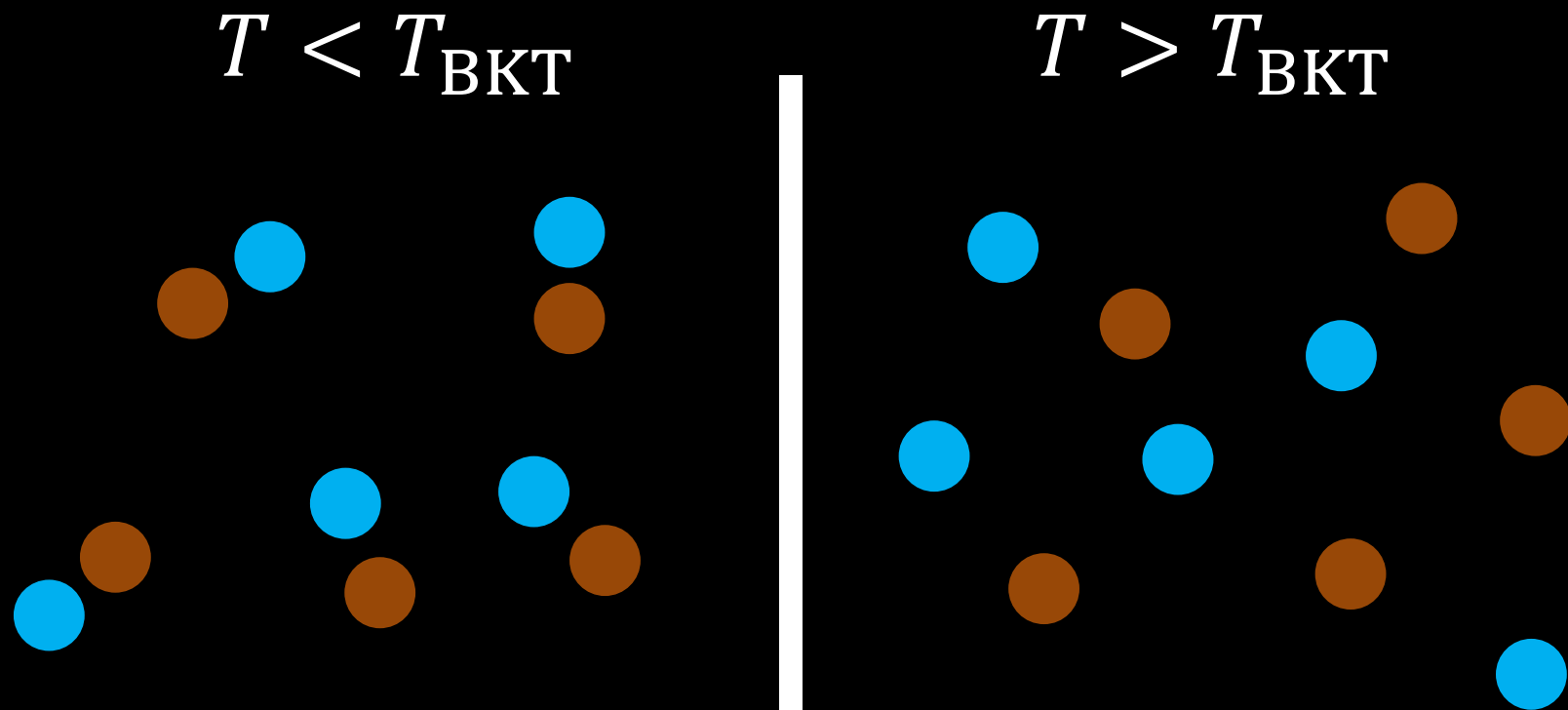
Vorteksipari

- Pienempi energia; Ei kokonaiskiertoa



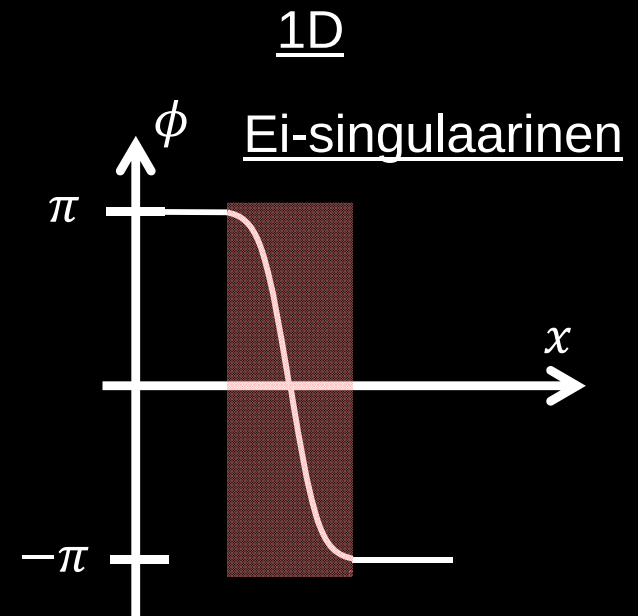
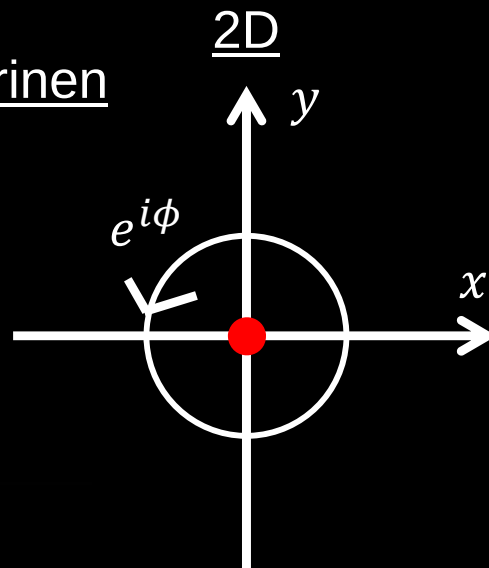
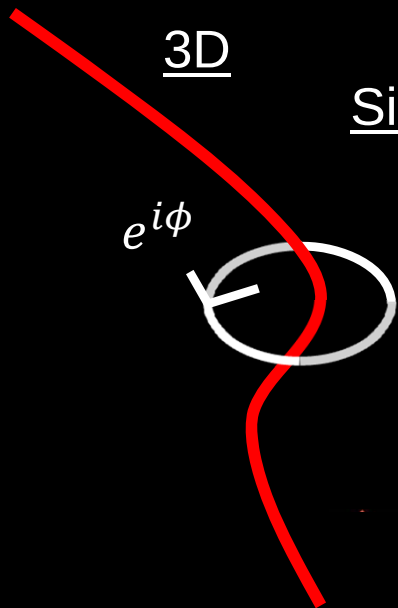
Berezinskiin–Kosterlitzin–Thoulessin transiio

- Vorteksien pariutumistransiio
- Kahdessa ulottuvuudessa



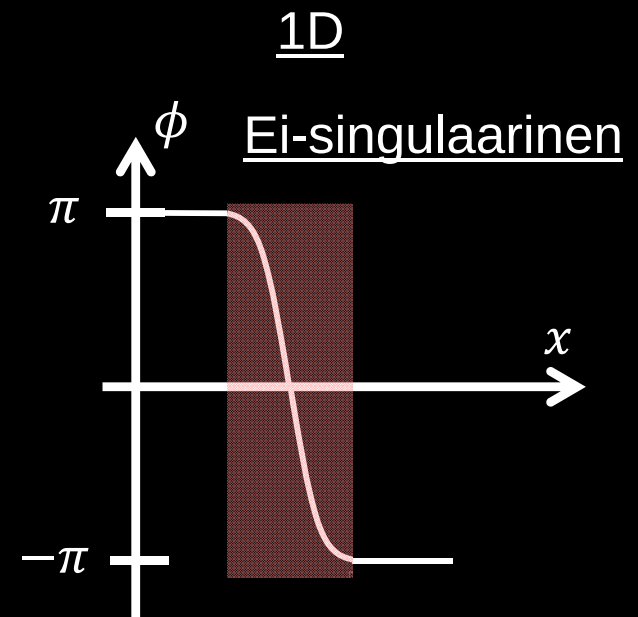
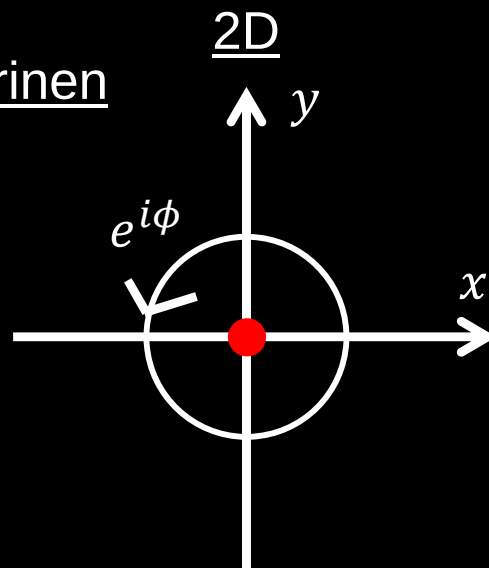
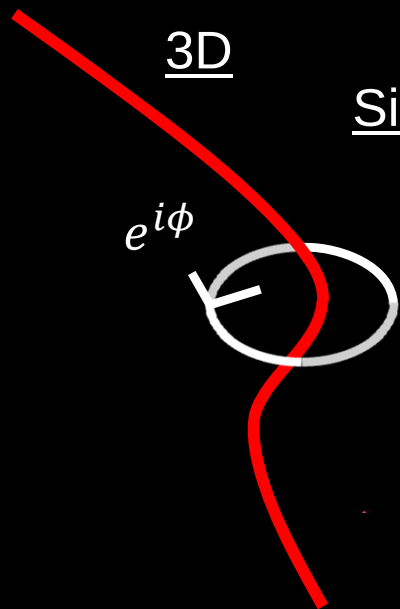
Topologinen perhepotretti

Homotopia ryhmä	Singulaari	D		Ei-singulaarinen	D
π_1	Vorteksi	2		1D solitoni	1
π_2	Monopoli	3		2D skyrmioni	2
π_3	N/A	4		Solmu	3
π_4	N/A	5		N/A	4



Topologinen perhepotretti

Homotopia ryhmä	3D	2D	1D
π_1	M. Ray et al., Science 348 , 544 (2015)		1
π_2	Monopoli	3	2D skyrmioni
π_3	N/A	4	Solmu
π_4	N/A	5	N/A



Klaus von Klitzing

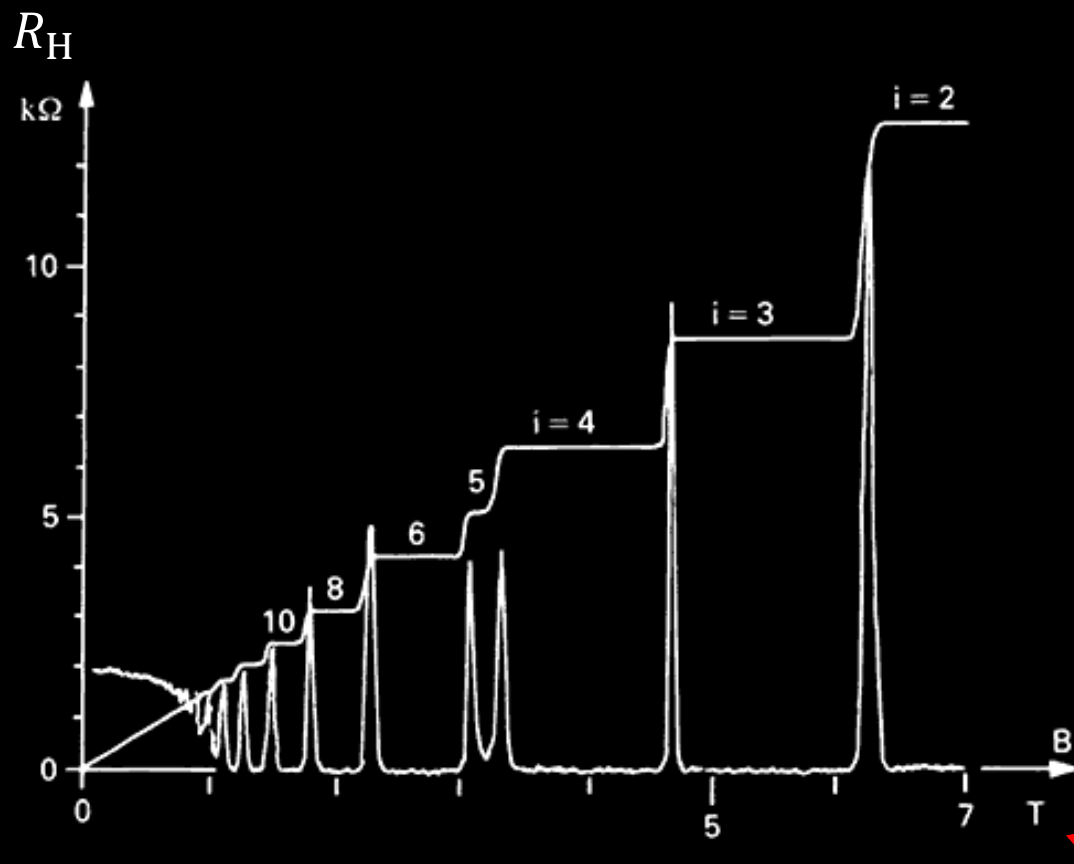


Nobel-palkinto 1985

*"Sähköisen vastuksen
kvantittumisesta"*

Kvantti-Hall-ilmio

Vastus kasvaa hyppäyksin



$$R_H = \frac{1}{i} \times \frac{h}{e^2}$$

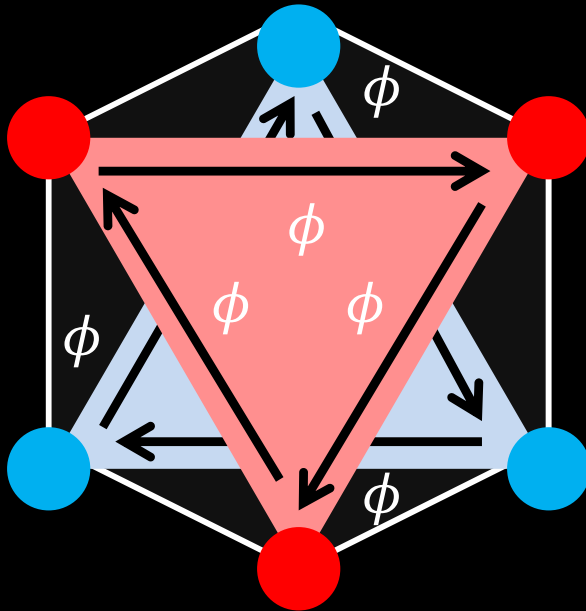
Topologia määrää



Voimakas magneettikenttä

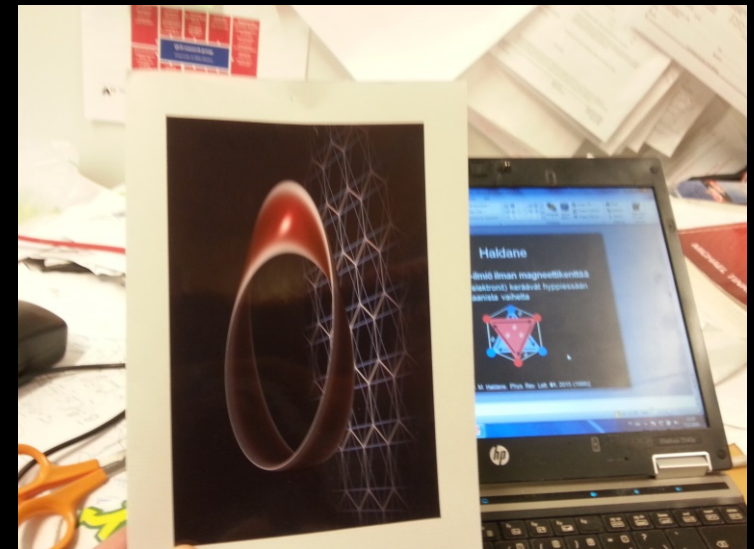
Haldane

- Kvantti-Hall-ilmiö ilman magneettikenttää
 - Fermionit (elektronit) keräävät hyppiessään kvanttimekaanista vaihetta



Havaittu kokeellisesti!

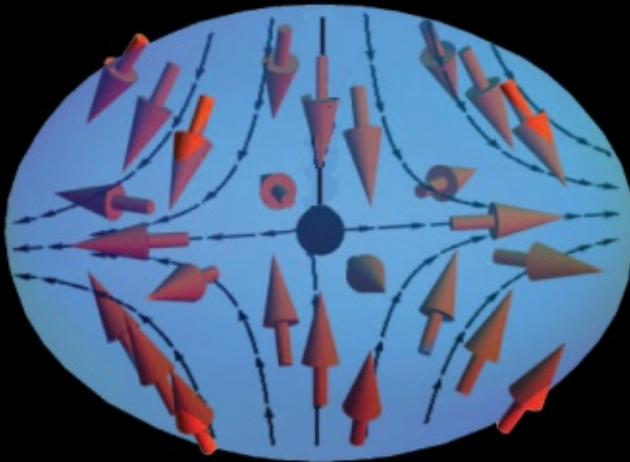
- Kiinteässä aineessa
- Kylmissä atomikaasuissa



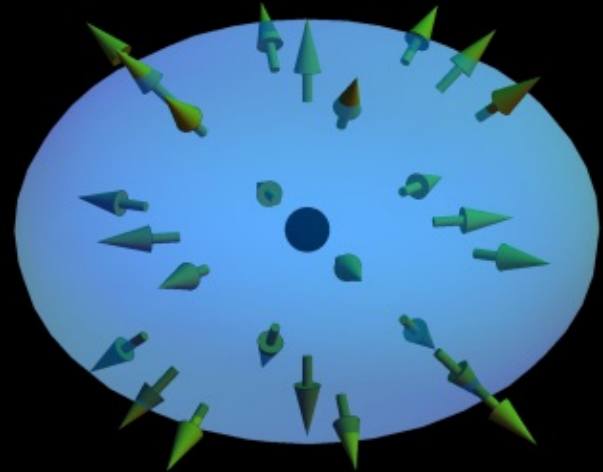
Magneettinen monopoli ilman magneettikenttää

- Atomin spin-vektorin kierto tuottaa kvanttimekaanista vaihetta kuten magneettinen monopoli

Spin-vektori



Synteettinen magneettikenttä



- Kokeellinen realisointi: M. Ray et al., Nature **505**, 657 (2014)
- Teoreettinen ehdotus: V. Pietilä ja MM, Phys. Rev. Lett. 103, 030401 (2009)
- Realisoi Diracin 86-vuotta vanhan teorian magneettisista monopoleista