Il Premio Nobel per la Fisica 2016 alla topologia

A. Bettini 28-10-2016 http://www.primapagina.sif.it/article/506

T. H. Hansson mostra tre invarianti topologici commestibili / T. H. Hansson shows two edible topological invariants [1].

La grande scoperta in fisica del 2016 è certamente quella delle onde gravitazionali. Essa tuttavia è stata pubblicata dopo la data di scadenza del 31 gennaio per le designazioni, fissata dalle precise regole del Premio Nobel. Il Premio, come ormai ben noto, è stato assegnato per il settore della materia condensata, per una metà a David Thouless dell'Università di Seattle e per l'altra congiuntamente a Duncan Haldane dell'Università di Princeton e a Michael Kosterlitz dell'Università Brown, tutte negli Stati Uniti, "*per le scoperte teoriche delle transizioni di fase topologica e delle fasi topologiche della materia*" (da notare che Thouless contribuì a entrambe) [2].

La topologia è un affascinante settore della matematica che può descrivere processi che non siano continui, ma che, per così dire, avvengono a gradini. Un divertente esempio di oggetti di topologia diversa, è stato utilizzato da Thors Hans Hansson, il rappresentante del Comitato Nobel per la Fisica che quest'anno ha tenuto la conferenza stampa. Nella foto, Hansson mostra nella sua presentazione un rotolo alla cannella, una ciambella e un pretzel con zero, uno e due buchi rispettivamente. Il

numero di buchi non può che essere intero – non esistono mezzi buchi – e non può essere modificato deformando l'oggetto (senza spezzarlo). In matematica si parla di invariante topologico.

Un sottile foglio (oggetto a due dimensioni) contenente elettroni di conduzione a bassa temperatura (< 2 K) in un intenso campo magnetico (dell'ordine di 15 T) mostra l'effetto Hall quantizzato (QHE) scoperto da Klaus von Klitzing nel 1980. La conduttività risulta essere n volte la costante fondamentale e^2/h, indipendentemente, entro certi limiti, dalle impurezze, dalla temperatura, etc. Le misure danno n intero entro una parte su un miliardo. Perché?

Nel 1972, Kosterlitz e Thouless avevano già identificato una nuova transizione di fase in mezzi a due dimensioni, nella quale il ruolo della topologia è fondamentale. A differenza di altre, come il ferromagnetismo, la transizione KT non porta a rotture di simmetria.

Nel 1982 Thouless e collaboratori spiegarono i valori interi del QHE sulla base dell'invarianza topologica. Si pensi a un campo vettoriale in due dimensioni, come per esempio la velocità di un fluido o la magnetizzazione di un materiale. Il campo può essere irrotazionale, ma anche contenere un vortice (come un tornado nel campo della velocità del vento), o due vortici, o tre, ..., ciascuno con le stesse caratteristiche. Nel QHE all'aumentare del campo magnetico si passa da zero a un vortice, poi da uno a due, etc.

La scoperta teorica risultò dall'aver accoppiato una bellissima matematica con una profonda visione della fisica. Originato dall'interpretazione di un fenomeno noto, il metodo portò a risultati inattesi in molti altri sistemi fisici, non solo a due, ma anche ad una e a tre dimensioni, che furono confermati dall'esperimento [3].

Nel 1988 Haldane trovò che per un comportamento "a gradini" neppure il campo magnetico è necessario. In sostanza, i premiati trovarono che, oltre che nelle ben note fasi, gas, liquido e solido, la materia può trovarsi in diverse altre, ciascuna caratterizzata da una diversa topologia. I vortici possono essere orari o antiorari e una coppia di questi può formarsi o annichilarsi, come accade per particelle e antiparticelle. L'affascinante descrizione topologica accomuna fenomeni di struttura della materia con quelli delle particelle elementari, invarianza di gauge compresa. Nella materia ci sono sia modi bosonici sia fermionici, inclusi quelli con spin 2 e 3/2, come gli ipotetici gravitone e gravitino. E la prima evidenza di spinori completamente neutri, le particelle di Majorana, è venuta dagli stati topologici della materia.

Scopri di più 1, 2, 3

The Nobel Prize for Physics 2016

The great event in physics of 2016 is certainly the discovery of the gravitational waves. This was published, however, after the deadline for nominations, which is fixed by the Nobel Prize rules at the 31st of January. The 2016 Prize, as is by now well known, has been awarded for the sector of condensed matter, with one half to David Thouless of the University of Seattle and the other half jointly to Duncan Haldane of Princeton University and to Michael Kosterlitz of Brown University, all

of them in the USA, "*for the theoretical discoveries of topological phase transitions and topological phases of matter*" (To be noted that Thouless contributed to both discoveries) [2].

Topology is a fascinating branch of mathematics suitable to describe processes that are not continuous, but that rather evolve by steps. Thors Hans Hansson, the member of the Nobel Committee in charge this year of the press release, gave in his presentation an amusing example of objects of different topology. As shown in the picture, Hansson hands a cinnamon roll, a bagel and a pretzel, having in them zero, one and two holes respectively. The number of holes is necessarily an integer – half a hole does not exist – and cannot be modified by deforming the object (without breaking it). In mathematics this is called topological invariance.

Conduction electrons in a thin layer (a two-dimensional object) at very low temperature (< 2K) in a strong magnetic field (on the order of 15 T) lead to the Quantum Hall Effect (QHE), discovered by Klaus von Klitzing in 1980. The measured conductivity is n times the fundamental constant e^2/h, regardless, within certain limits, of impurities, temperature, etc., where n is an integer within a part in a billion. Why?

Already in 1972 Kosterlitz and Thouless had identified a new phase transition in two-dimensional media, in which topology plays a critical role. Unlike other phase transitions, such as the onset of ferromagnetism, in the KT transition no symmetry is broken.

In 1982 Thouless and collaborators explained the integer values in the QHE on the basis of the topological invariance. Think on purpose to a two-dimensional vector field, like the velocity of a fluid or the magnetization of a medium. The field may be irrotational, but it may also contain one vortex (as is a tornado in the wind velocity field), two, three vortices, etc., each with the same characteristics. In the QHE, with increasing magnetic field the system changes from containing zero vortices, to one, to two, etc. This theoretical discovery was the result of having combined beautiful mathematics and deep insights in physics and led to unexpected results in several physical systems, not only in two dimensions but in one and three dimensions as well. The theoretical results were later confirmed experimentally [3].

In 1988 Haldane showed that a magnetic field is not even necessary for a step-wise behaviour. As a matter of fact, the Laureates discovered that more phases of matter exist, beyond the gas, liquid and solid ones, each characterised by a definite topology. In addition, a vortex may whirl clockwise or counterclockwise and a pair of opposite vortices can be created or can annihilate each other, similarly to an elementary particle-antiparticle pair. The fascinating topological description joins condensed matter phenomena and elementary particle properties, gauge invariance included. Both bosonic and fermionic modes exist in matter, included spin 2 and spin 3/2 ones, like those of the hypothetical graviton and gravitino. And the first evidence for completely neutral spinors, namely the Majorana particles, came from the topological states of condensed matter.

Learn more about 1, 2, 3

Homepage image credits: Nobel Prize Medal © The Nobel Foundation. llustration: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences.