Polscy fizycy współodkrywają „samotne” spinony – nowy krok w kierunku technologii kwantowych

2025-07-07

Naukowcy z Uniwersytetu Warszawskiego i University of British Columbia opisali, w jaki sposób w modelach magnetycznych może powstać tzw. samotny spinon – egzotyczne kwantowe wzbudzenie będące pojedynczym niesparowanym spinem. Odkrycie to pogłębia zrozumienie natury magnetyzmu i może mieć znaczenie dla rozwoju przyszłych technologii, takich jak komputery kwantowe czy nowe materiały magnetyczne. Wyniki badań zostały opublikowane w renomowanym czasopiśmie „Physical Review Letters”.

Magnetyzm znany jest ludzkości od czasów starożytnych – gdy odkryto naturalnie namagnesowane magnetyty. To właśnie z nich w XI wieku w Chinach skonstruowano pierwsze kompasy, które szybko zaczęto wykorzystywać do celów nawigacyjnych. Dziś magnesy odgrywają kluczową rolę w wielu technologiach — od pamięci komputerowych i głośników po silniki elektryczne i diagnostykę medyczną. Co ciekawe, obok fotografii, magnesy stały się także powszechną pamiątką z podróży, zajmując eksponowane miejsce w naszych domach.

Magnesy a mechanika kwantowa

Pomimo szerokiego zastosowania, natura magnetyzmu przez długi czas pozostawała nie do końca zrozumiana. Sytuacja dodatkowo się skomplikowała, gdy Niels Bohr i Hendrika Johanna van Leeuwen wykazali, że magnetyzmu nie da się wyjaśnić w ramach fizyki klasycznej. Dopiero rozwój mechaniki kwantowej w latach 20. XX wieku pozwolił zrozumieć, że właściwości magnetyczne materii wynikają przede wszystkim z oddziaływań między spinami elektronów. Spin, obok masy i ładunku elektrycznego, jest jedną z podstawowych cech cząstek elementarnych. W 1931 roku Hans Bethe zaproponował matematycznie eleganckie rozwiązanie jednowymiarowego modelu Heisenberga — podstawowego modelu kwantowego magnetyzmu. Niespełna pół wieku później, w 1981 roku, Ludwig Faddeev i Leon Takhtajan zauważyli, że rozwiązania tego modelu wskazują na zaskakujące zjawisko: jakby niepodzielny elektron „rozszczepiał się" na dwie bardziej fundamentalne cząstki. Spin elektronu ma wartość 1/2 (w jednostkach stałej Plancka ħ) i może być skierowany w dowolnym kierunku w przestrzeni. W standardowej sytuacji wzbudzenie polega na odwróceniu spinu jednego elektronu, co skutkuje zmianą spinu całego układu o 1. Tymczasem teoria Faddeeva i Takhtajana przewiduje, że podstawowe wzbudzenia w magnetyku mogą zmieniać spin całego układu o 1/2. Te egzotycznie wyglądające wzbudzenia nazwano spinonami. Ponieważ jednak sądzono, że spinony mogą powstawać wyłącznie parami — i zawsze właśnie w takiej postaci je obserwowano — zjawisko to wydawało się mniej egzotyczne, niż początkowo sądzono.

Samotny spinon

W pracy właśnie opublikowanej w „Physical Review Letters" zespół naukowców z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i University of British Columbia pokazał, w jaki sposób takie osobliwe wzbudzenie może zostać utworzone jako pojedyncze. Spinon taki może powstać w bardzo prosty sposób: wystarczy dodać jeden dodatkowy spin do stanu podstawowego jednowymiarowego modelu Heisenberga (teoretycznego opisu szeregu wzajemnie oddziałujących spinów). Badacze odkryli też, że ten sam efekt można uzyskać, gdy zamiast stanu podstawowego użyje się bardzo uproszczonego modelu tzw. VBS (ang. valence-bond solid), w którym spiny łączą się w pary w bardzo uporządkowany sposób. Spinon w tym modelu można zrozumieć jako pojedynczy niesparowany spin, który „przemieszcza się" przez sieć takich sparowanych spinów. Co istotne, to teoretyczne przewidywanie zostało niedawno pomyślnie potwierdzone doświadczalnie w pracy C. Zhao et al. "Spin excitations in nanographene-based antiferromagnetic spin-1/2 Heisenberg chains", opublikowanej w „Nature Materials".

Spinony i ich znaczenie dla przyszłych technologii

To ważny krok w stronę lepszego zrozumienia kwantowych właściwości magnetyków i może otworzyć drogę do odkrywania nowych ich cech. Co szczególnie istotne, spinony są efektem silnych oddziaływań między elektronami oraz zjawisk kwantowych, takich jak splątanie kwantowe. Podobne mechanizmy odgrywają kluczową rolę w zjawiskach tak fundamentalnych jak nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe czy ułamkowy efekt Halla w dwuwymiarowych cieczach kwantowych. Splątanie kwantowe to również fundament komputerów kwantowych i całej informatyki kwantowej. – Nasze badania nie tylko pogłębiają wiedzę o magnesach, ale mogą mieć także dalekosiężne konsekwencje w innych dziedzinach fizyki i technologii – podsumowuje prof. Krzysztof Wohlfeld z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Badania zostały przeprowadzone przy wsparciu Narodowego Centrum Nauki w ramach projektów 2016/22/E/ST3/00560 (K. W.), 2024/55/B/ST3/03144 (K. W.), 2018/31/B/ST3/03758 (T. K.), 2018/31/D/ST3/03588 (M. P.) oraz 2022/47/B/ST2/03334. (M. P.), Inicjatywy Doskonałości Uniwersytetu Warszawskiego (M.P.), Canada First Research Excellence Fund oraz Natural Sciences and

Engineering Research Council of Canada (M.B.) oraz częściowo wspierane przez grant NSF PHY-2309135 dla Kavli Institute for Theoretical Physics (KITP). Badania zostały przeprowadzone przy wsparciu Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego (ICM UW) w ramach grantu nr G73-29.

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzą Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych Fizyki oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 250 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1000 studentów i ok. 150 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 300 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

Teresa Kulka, Miłosz Panfil, Mona Berciu and Krzysztof Wohlfeld, Nature of Spinons in 1D Spin Chains, Phys. Rev. Lett. 134, 236504 (2025).
DOI: https://doi.org/10.1103/stvg-lg9h

KONTAKT:

mgr Teresa Kulka
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
t.kulka@uw.edu.pl
tel. +48 22 55 32 928

dr hab. Krzysztof Wohlfeld, prof. UW
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
krzysztof.wohlfeld@fuw.edu.pl
tel. +48 22 55 32 902

dr hab. Miłosz Panfil, prof. UW
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
milosz.panfil@fuw.edu.pl
tel. + 48 22 55 32 910

POWIĄZANE STRONY WWW:

https://www.fuw.edu.pl
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

https://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW250707b_01
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW250707b_01.jpg
Magnesy odgrywają dziś kluczową rolę w wielu technologiach — od pamięci komputerowych i głośników po silniki elektryczne i diagnostykę medyczną. Stały się także powszechną pamiątką z podróży. Fot. Marek Wohlfeld, Copyright © Uniwersytet Warszawski.

FUW250707a_Samotne_spinony_nowy_krok_w_kierunku_technologii_kwantowych.pdf (303.7 kB)