

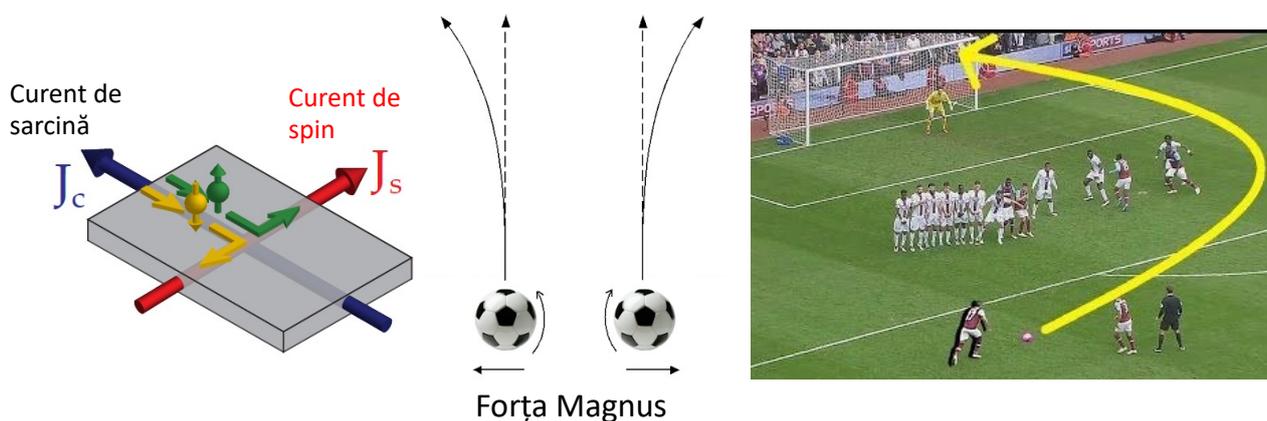
Noi descoperiri în Spintronică: efectul Hall orbital

Coriolan Viorel TIUSAN^{1,2}

¹Departamentul de Fizica Stării Condensate și a Tehnologiilor Avansate, Facultatea de Fizică, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca

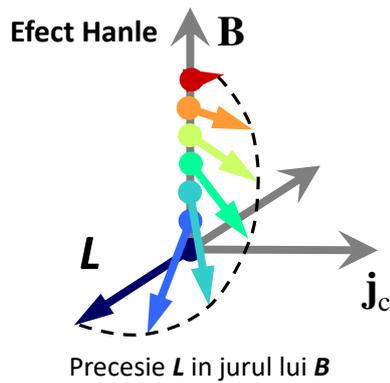
²Centrul Național al Cercetării Științifice, Franța

Încă din 1971 fizicienii Mikhail Diakonov și Vladimir Perel [1] au prezis *efectul Hall de spin*. Acesta se datorează unor fenomene de împrăștiere intrinseci, determinate de structura electronică a materialului și acumularea unei faze Berry geometrice de către vectorul undă al electronului pe o traiectorie în spațiul său vectorial respectiv extrinseci, legate de anumite mecanisme dependente de spin controlate cantitativ de către amplitudinea interacțiunii spin-orbită în material. Efectul Hall de spin se manifestă prin apariția unui curent de spin, ce se traduce efectiv prin acumularea de electroni cu spin opus (moment cinetic de spin opus) pe suprafețele laterale ale unei probe în care circulă un curent de sarcină longitudinal. De manieră simplă, efectul Hall de spin poate fi înțeles printr-o analogie clasică cu efectul Magnus, ce explică deviația laterală a unei mingi de fotbal într-o direcție sau alta, în funcție de sensul de rotație în jurul axei proprii.

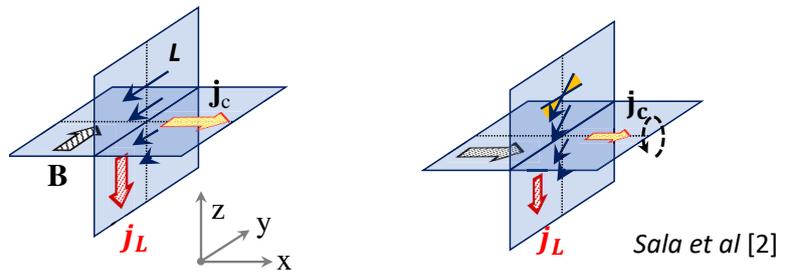


În mod analog, în metale de tranziție, studii teoretice preziceau de asemenea posibilitatea generării unor cureni de moment orbital, ca și răspuns la un câmp electric aplicat longitudinal. Recent, *efectul Hall orbital* a fost demonstrat simultan experimental, independent de către grupuri din Elveția, SUA respectiv Coreea/Germania prin măsurători magneto-electrice [2] respectiv magneto-optice [3, 4], efectuate pe metale de tranziție ușoare: Mn, Cr, Ti. În aceste metale de tranziție ușoare, interacțiunea spin-orbită este neglijabilă, ceea ce permite eliminarea contribuției efectului Hall de spin ce maschează efectul Hall orbital cu care acesta coexistă într-un material.

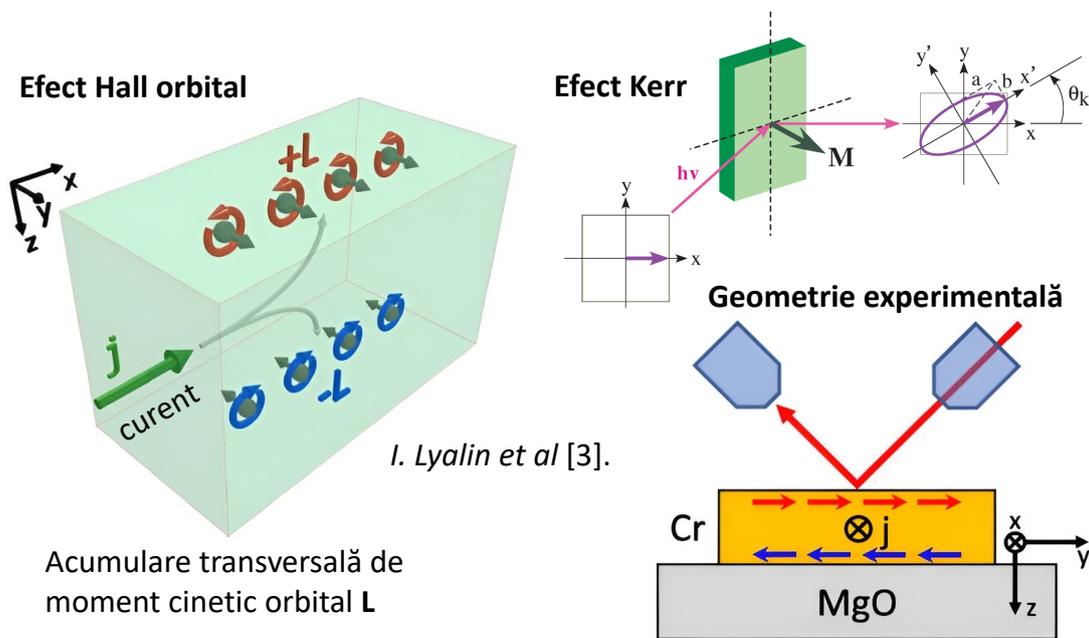
Grupul elvețian de la Institutul Federal Elvețian de Tehnologie (ETH) din Zurich explică efectul observat pe baza unui fenomen deja cunoscut sub numele de *magnetorezistență Hanle*. Ca și consecință directă a efectului Hall orbital (OHE), într-un conductor, atunci când un câmp magnetic este aplicat paralel cu direcția momentului magnetic orbital ale electronului (care este perpendicular pe traiectoria circulară a electronului determinată de forța Lorentz) momentele orbitale ar trebui să se acumuleze la marginile probei. Dacă, în schimb, câmpul este aplicat perpendicular pe direcția momentului cinetic orbital, momentele cinetice orbitale vor efectua o mișcare de precesie în jurul câmpului magnetic local efectiv. Datorită traiectoriilor orbitale diferite, acesta conduce, în cele din urmă, la un defazaj între orientarea momentelor individuale ce se traduce printr-o contribuție suplimentară la magnetorezistența longitudinală a probei. Echipa elvețiană observă aceste două efecte în probe de tip filme subțiri din Mn [2].



Efect Hanle in 2 configurații: B || L și B ⊥ L



În mod independent, o echipă de la Universitatea din Ohio, SUA, folosește o tehnică de caracterizare diferită ce are la bază efectul Kerr magneto-optic. Acest efect descrie rotația direcției de polarizare a unui fascicul de lumină de către un material magnetic care reflectă fasciculul incident polarizat liniar. Prin tehnica de analiză magneto-optică, pe filme subțiri din Cr [3], echipa americană observă de asemenea apariția efectului Hall orbital manifestat prin acumularea de moment cinetic orbital pe laturile transversale ale probei în care circulă un curent de sarcină longitudinal. Experimente magneto-optice similare, efectuate de către o echipa de cercetare din Coreea și Germania [3], pun de asemenea în evidență efectul Hall orbital în Ti prin analiza rotației Kerr determinată de acumularea momentelor magnetice acumulate transversal filmului.



Descoperirea efectului Hall orbital deschide perspective ample aplicațiilor spintronice într-o generație nouă de dispozitive, în special în domeniul stocării și manipulării informației cu eficiență energetică ridicată. Dincolo de aceste perspective aplicative, confirmarea experimentală a efectului Hall orbital, se continuă cu cercetări dedicate validării experimentale a efectelor Hall analoge, teoretic prezise pentru fononi respectiv magnoni.

Referințe bibliografice

[1] M. I. Dyakonov and V. I. Perel, "Possibility of orientating electron spins with current". *Sov. Phys. JETP Lett.* **13**: 467 (1971).
 [2] G. Sala et al., "Orbital Hanle magnetoresistance in a 3d transition metal," *Phys. Rev. Lett.* **131**, 156703 (2023).
 [3] I. Lyalin et al., "Magneto-optical detection of the orbital Hall effect in chromium," *Phys. Rev. Lett.* **131**, 156702 (2023).
 [4] Y. -G. Choi et al., "Observation of the orbital Hall effect in a light metal Ti," *Nature* **619**, 52 (2023).