

SUPEREROANKORTASUNA

Gaur egun supereroankortasun izenez ezagutzen dugun fenomenoa H. Kammerlingh Onnes-ek aurkitu zuen 1911.an lehenengoz, Leiden-en. Honek zera ikusi zuen: merkurioak $4,2^\circ$ Kelvineko tenperaturaraino hoztean bere erresistentzia batpatean galtzen zuela. Hori ikusi eta gero beste saiakuntza zehatzago batzuk egin nahi izan zituen, eta hauen ondorio bezala zera aurkitu zuen: gorputz batzuren erresistentzia, supereoale eran beren ohizko eran baino 10^{-12} aldiz baino txikiagoa zela. Saiakuntza hauek egiteko, supereroalezko eraztun batzuetan korrante induzitu iraunkor batzuk erabili zituen.

Onnes-en aurkikuntzak estudiantzeko, toki desberdinetan saiakuntza batzuk eginak izan dira. Hauen artean, Massachussetts-eko Teknologi Institutuan egin den bat aipatu behar dugu. Hemen, berunezko eraztun supereroale batean ehun baino gehiago amperetako korrante bat induzitu zen; korrante honek ez zuen aldaketarik izan urtebeteko epe batean behintzak. Honek zera egiaztatzen zuen: eraztun supereroalearen erresistentzia benetan hutsa zela.

Fenomeno hau sakonki estudiatu izan da, eta gaur egun gutxienez hogeitabi elementu, aleazio asko eta intermetalikoak diren zenbait material supereroale erara eramanak izan dira. Hauen aldaketa-temperatura 1° K baino txikiagoa den tenperatura batetik (hafnioaren tenperatura $0,37^\circ$ K-koa da) 18° K-raino dago (Nb_3 Sn-rena 18° K-koa da).

Aldaketa-temperatura, tenperatura kritikoa, zera da: gorputza bere ohizko eratik supereroale erara eramateko behar den tenperatura maximoa. Tenperatura hau material bakoitzaren berezitasun bat da. Horretaz gainera, materialaren garbitasun kimikoak eta egitura metalurgikoak sakon baldintzatzen dute tenperatura kritiko hau. Gehienetan, garbitasun aldetik dauden ez-homogenotasuna eta tentsioak aldaketa tenperaturaren tartea zabala-

goa egiten dute; huts-hutsa den eta arras ongi taxututa dagoen gorputz baten aldaketa temperaturaren tarte $0,001^\circ \text{K}$ baino txikiagoa izan ohi da.

Alanbre supereroale bati berekiko paraleloa den magnitude bateko eremu magnetiko bat ezartzen badiogu, alanbreak bere supereroankortasuna galdu egiten du. Hori gerta dadin, eremuaren magnitudeak maila batetaraino iritsi behar du. Maila hori materialez eta temperaturaz baldintzaturik dago, eta eremu kritikoa deitu ohi da.

Lor daitekeen temperatura/eremua frafikoak garrantzi oso handi daduka eta termodinamikan temperatura-presioa adierazteko erabiltzen den grafikoa- ren pareko kontsidera daiteke; hau da, bi egoera termodinamikoren arteko muga bezala.

Azaltzen den kurba parabolikoa izan ohi da, eta, zehaztasun osoarekin ez bada ere, ekuazio honen bidez adieraz dezakegu.

$$H_k = H_o [1 - (T/T_k)^2]$$

hemen H_k eremu kritikoa da, T saiakuntzaren temperatura; eta T_k eta H_o , azke- nik, materialaren konstante bi (T_k , eremua zero deneko temperatura kritikoa; eta H_o temperatura zero gradu Kelvin deneko eremu kritikoa) dira.

Materialaren ez-homogenotasunak, aldaketa temperaturaren tarte zabalagoa egiteaz aparte, H_o -ren gainean zeregin handia du, askotan askoz handiagoa egiten bait du. Eremu magnetiko handiak erabiltzean efektu hauek oso garrantzitsuak dira.

Hasieran, supereroankortasun fenomeno adierazteko Maxwell-en ekuazioak erabili izan ziren, eta horretarako materialaren erresistibotasuna zero kontsideratua izan zen; hori zela eta, supereroale baten barruan indukzio magnetikoaren aldaketak denborarekiko zero izan behar zuen. Beraz, materiala temperatura kritikoraino (edo beherago) eramatean, eremu magnetiko batean sartuta ala sartu gabe, eremu magnetikoaren fluxuak desbidatua edo baztertua izan behar zuen. Gertaera hau guztiz onartua zen; horrela, 1933.urterarte (hots, supereroankortasunaren aurkikuntza egin eta handik 22 urte geroraino) ez zen dudatan jarria izan. Urte honetan, W. Meissner eta R. Ochsenfeld fisikariek, saiakuntza batzuen ondorio bezala, hori ez zela egia demostratu zuten. Hau da, material bat bere supereroale erara eraman eta gero, hori egiterakoan eremu magnetiko batetan egon nahiz ez egon, beti supereroalearen indukzio magnetikoa zero da. Efektu hau "fluxuaren bazterketa" izenez edo "Meissner-en efektua" bezala ezagutzen da. Beraz, supereroale baten iragazkortasuna zero da: hau da, suszeptibilitate diamagnetiko hutsa du. Hau dela eta, materialaren itxura geometrikoak efektu garrantzitsuak ditu. Meissner-en efektuaren garrantzi nagusia hau da: supereroale baten berezitasun elektromagnetikoak eta eroankortasuna infinitu sinplerenak desberdinak direla frogatzen digula. Supereroankortasunaren teoria orokor batek zailtasun hori gaingiditu beharra du.

Teori aldetik lan asko egin da gai honi buruz. Hasieran, 1924.urtean, W.H. Keeson-ek supereroankortasuna termodinamikaren bidez aztertu zuen. Gero, 1934.urtean, C.J. Gorter-ek eta H.B.G. Casimir-ek bi fluido z eredu batez, bigarren mailako iragapenaren eta beste berezitasunaren adierazpen fenomenologiko bat eman zuten. 1935.urtean F. eta H. London-ek supereroaleen berezitasun elektrodinamikoaren teoria fenomenologiko bat eraiki zuten. Teoria honetan, Meissner-en efektua adierazteko Maxwell-en ekuazioei beste bi ekuazio osagarri ezarri zizkieten. Urte honetatik 1950.urterarte lan teoriko kritikoa gutxi egin zen. Urte honetan, "efektu isotopikoa" deitzen dena aurkitu zen. Konposizio isotopiko aldagarriko supereroale elementalekin egin ziren zenbait esperimendu zera frogatu zuten: $T_c M^{1/2} \simeq$ konstantea zela, M masa isotopikoa izanik. Efektu honi "efektu isotopikoa" deitzen zaio, eta zera adierazten digu: elektroi supereroaleen eta kristal-sareko ioien nukleoaren arteko interakzioak supereroankortasunean paper garrantzitsu bat betetzen duela. Gai honetaz, lehenengo aldiz, E. Maxwell eta C.A. Reynolds arduratu ziren. Urte honetan (hots, 1950. urtean) efektu hori adierazteko H. Fröhlich-ek teoria bat eraiki zuen; teoria honek aipatutako efektua adierazten zuen baina ez zituen supereroankortasunaren beste berezitasunak adierazten. Geroago, 1957. urtean, J. Bardeen-ek L. N. Cooper-ek eta J. R. Schrieffer-ek beste teoria bat eman zuten: hau supereroankortasunaren teoria mikroskopikoa edo kuantikoa da; teoria honek arrakasta polita izan du. Bere bidez supereroaleen bigarren mailako fase iragapena, Meissner-en efektua eta beste berezitasun termodinamiko eta elektromagnetikoak adieraz daitezke. Zoritxarrez, badago zenbait akats teoria honen baitan. Hasteko Rutenioan ez dago neur daitekeen efektu isotopikorik; aldiz, teoriak baietz esan ohi digu. Bigarrenik, teoriak ez digu supereroaleak eta ez-supereroaleak zeintzu izango diren iragartzen. Beste aldetik, gainera, zenbait materialen "eremu kritikoa" 500 kilogaussetakoa baino handiagoa da, eta kasu honetan teoria oso gaizki dabil. Arrazoi guzti hauengatik, eta beste zenbait gehiagorengatik, zera esan daiteke: dirudenez, supereroaleei buruz beste teoria orokorrago bat izan behar du (hau da, orain arte aurkitu gabe dagoen bat); horregatik alor honetako lan teorikoek gaurkotasan handia dute.

Supereroankortasunaren gaiaren adar desberdin guztiek hazkuntza ederra izan dute, eta maila goi batetara iritsi dira. Hori dela eta, adar guzti horiek teorikoki sakontzeko eta batzeko urte batzuk beharko dira. Halaz guztiz ere, elkarren osagarriak diren bi teoria fenomenologikoak (hots, Casimir-Gorter-en bi jariakinekoak eta London-enak) elkarrekin hartuta, supereroaleek parte hartzen dituzten problema gehienak adierazten dizkigute. Casimir-Gorter-en teoria termodinamikaren alderdiaz arduratzen da bereziki. London-enak berriz, Maxwell-en ekuazio-multzoa osatzen du eta bere bidez supereroaleek parte hartzen dituzteneko problemak ikuspegi elektromagnetiko batetik aztertzen ditu.

LUIS M. BANDRES