

Odlukom Vijeća Prirodno-matematičkog fakulteta imenovani smo za članove komisije za ocjenu magistarskog rada „Superprovodljiva kugla u vremenski zavisnom magnetnom polju“ studentkinje Jovane Bogdanović. Na osnovu uvida u prijavu magistarskog rada podnosimo sljedeći

IZVJEŠTAJ

Motiv i cilj istraživanja. Superprovodnici, materijali koji provode električnu struju bez otpora, mogu naći primjene u raznim oblastima eksperimentalne fizike. Jedna od mogućih primjena ovih materijala već se koristi kod akceleratora (ubrzivača) čestica visokih energija. Nove generacije akceleratora čestica koriste superprovodljive šupljine koje su podvrgnute dejstvu vremenski promjenljivog magnetnog polja (u pitanju su radio-frekvencije). Pregled ove oblasti fizike je dat u radu H. Padamsee, J. Knobloch, and T. Hays, "rf Superconductivity for Accelerators", 2nd ed. (Wiley, New York, 2008).

Cilj ovog magistarskog rada je da doprinese dodatnom razumijevanju ponašanja superprovodnika postavljenih u vremenski promjenljivom magnetnom polju. Poseban akcenat je stavljen na analizu ponašanja superprovodljive kugle u vremenski zavisnom magnetnom polju, što nije do sada razmatrano u literaturi.

U ovom magistarskom radu su razmatrana sljedeća pitanja:

1. Kako izgleda raspodjela električnog i magnetnog polja unutar i van superprovodljive kugle unešene u vremenski promjenljivo magnetno polje?
2. Da li se kompleksna susceptibilnost superprovodljive kugle i superprovodljive plan-paralelne ploče istih poprečnih dimenzija (prečnika, odnosno debljine) kvalitativno razlikuje?
3. Kolika je sila levitacije koja djeluje na superprovodljivu kuglu?

Sadržaj rada. Studentkinja Jovana Bogdanović je napisala magistarski rad "Superprovodljiva kugla u vremenski zavisnom magnetnom polju", koji se sastoji iz sljedećih poglavlja:

1. Vremenski zavisne Londonove jednačine
2. Superprovodljiva ploča u vremenski zavisnom magnetnom polju
3. Superprovodljiva kugla u vremenski zavisnom magnetnom polju
4. Kompleksna magnetna susceptibilnost
5. Sila levitacije

U prvom poglavlju su izvedene Londonove jednačine za stacionarni i nestacionarni slučaj. Njihovim rješavanjem se dobijaju raspodjele električnog i magnetnog polja u superprovodnicima raznih geometrijskih oblika, što se dalje može iskoristiti za izračunavanje veličina koje opisuju svojstva superprovodljivih uzoraka.

S obzirom na činjenicu da je jedan od najčešće proučavanih uzoraka planparalelna ploča, u drugom poglavlju je razmatran problem superprovodljive ploče unešene u spoljašnje magnetno polje čiji je vektor magnetne indukcije paralelan stranicama ploče. Problem je riješen za stacionarni i nestacionarni slučaj.

U trećem poglavlju se razmatra superprovodljiva kugla u slučaju kada je izložena ravanskom elektromagnetnom talasu. Za rješavanje datog problema iskorišćena je druga Londonova jednačina, prilagođena geometriji uzorka.

Pošto različiti materijali različito reaguju na dejstvo spoljašnjeg magnetnog polja, u četvrtom poglavlju je izračunata magnetna susceptibilnost superprovodljive planparalelne ploče i superprovodljive kugle u vremenski zavisnom magnetnom polju.

U petom poglavlju je određena sila koja djeluje na superprovodljivu kuglu u stacionarnom i nestacionarnom magnetnom polju.

Metodologija. Problem koji se rješava u okviru ovog magistarskog rada pripada oblasti teorijske fizike. To znači da se fizički problem koji se analizira svodi na matematički problem rješavanja jednačine koja opisuje datu fizičku situaciju. U ovom radu je bilo neophodno riješiti vremenski zavisnu Londonovu jednačinu. U pitanju je parcijalna diferencijalna jednačina drugog reda po prostornim koordinatama i prvog reda po vremenu. Zbog geometrije problema diferencijalna jednačina po koordinatama se rješava u sfernom koordinatnom sistemu, u kojem se položaj tačke u prostoru opisuje koordinatama (r, θ, φ) . Prilikom razmatranja superprovodnika u vremenski zavisnom magnetnom polju, dobijene su Londonove jednačine za magnetno, odnosno električno polje. Da bi se riješile ove jednačine, prvo su razmatrana tri nezavisna rješenja i koja nazivamo vektorski harmonici. Odgovarajuća rješenja za vektore magnetnog i električnog polja se mogu napisati kao linearne kombinacije odgovarajućih vektorskih harmonika. S obzirom na činjenicu da se u ovom magistarskom radu razmatra superprovodljiva kugla u nestacionarnom slučaju, dobijeni izrazi za vektorske harmonike sadrže specijalne Beselove funkcije, što je i očekivano u problemima sa sfernom simetrijom. Prilikom računanja koeficijenata refleksije i propuštanja elektromagnetnih talasa, uzeto je u obzir i asimptotsko ponašanje Beselovih funkcija. Naime, Beselove funkcije prvog i drugog reda pogodne su za opisivanje stojećih talasa, usljed čega se nalaze u izrazima za električno i magnetno polje propuštenog talasa. S druge strane, Beselove funkcije trećeg reda koriste za opisivanje putujućih talasa i nalaze se u izrazima za električno i magnetno polje upadnog i reflektovanog talasa.

Dobijeni rezultati. Razmatranje problema superprovodljive kugle u promjenljivom magnetnom polju, u poređenju sa poznatim rezultatima za superprovodljivi tanki film, nisu doveli do otkrića novih fizičkih efekata. Ovaj rad u matematičkom smislu daje novi rezultat, zbog sferne geometrije problema koja još uvijek nije rješavana u literaturi. Važna činjenica je da je odziv superprovodnika u vremenski promjenljivom magnetnom polju bitno drugačiji od stacionarnog slučaja. Glavna razlika leži u činjenici da normalni elektroni u nestacionarnom slučaju ne mogu biti zanemareni. Dakle, ukupna struja mora imati dvije komponente, koje potiču od superprovodljivih i normalnih elektrona. Indukovane električne struje stvaraju dodatno električno i magnetno polje unutar i van superprovodljive kugle. Van kugle pored upadnog postoji i reflektovani talas, dok je unutar nje samo propušteni talas.

Rješavajući vremenski zavisne Londonove jednačine uz odgovaraju granične uslove za električno i magnetno polje, dobijeni su odgovarajući koeficijenti refleksije i propuštanja elektromagnetnih talasa. Važno je napomenuti da je prilikom računanja ovih

koeficijenta pretpostavljeno da je talasna dužina upadnog elektromagnetnog talasa mnogo veća od poluprečnika kugle, što znači da se kugla u svakom trenutku nalazi u homogenom polju. Energija upadnih fotona u tom slučaju je mnogo manja od vrijednosti energetskog procjeka na $T = 0K$, čime je izbjegnuta mogućnost ekscitacije superprovodljivih elektrona.

U ovom radu je izračunata i magnetna susceptibilnost kugle. Pošto je razmatran dvofluidni model, u kome uzimamo doprinos i superprovodljivih i normalnih elektrona, magnetna susceptibilnost ima kompleksan oblik. Kompleksni dio magnetne susceptibilnosti odgovara reakciji normalnih elektrona, dok je realni dio isti kao i u nestacionarnom slučaju. Ako uporedimo izračunatu susceptibilnost za superprovodljivu kuglu i ploču, vidi se da je odziv superprovodnika u vremenski zavisnom magnetnom polju u oba slučaja isti u kvalitativnom smislu, dok se kvantitativno razlikuju zbog različitih geometrija.

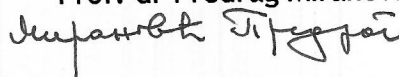
Važan rezultat dobijen u ovom radu jeste da je u stacionarnom magnetnom polju sila, pod čijim uticajem bi kugla trebala da levitira, jednaka nuli. Dakle, da bi došlo do levitacije superprovodnika magnetno polje mora biti nehomogeno. Ako se kugla nalazi u vremenski zavisnom magnetnom polju, na kuglu će da djeluje pored magnetne sile i električna sila. Dejstvo električnog polja dovodi do polarizacije superprovodljive kugle, tako da je rezultujuća sila levitacije različita od nule, što je i dobijeno u radu.

Zaključak. Smatramo da tema ovog magistarskog rada predstavlja problem koji do sada nije rješavan u literaturi. Do sada je u literaturi najčešće razmatran magnetni odziv planparalelne ploče. Ovaj rad daje značajan doprinos prilikom razmatranja ponašanja superprovodljivih materijala u vremenski zavisnom magnetnom polju. Moguća primjena ovih materijala je kod akceleratora čestica visokih energija. Poznavanje ponašanja superprovodljive ploče je primijenjeno na ansambl superprovodljivih granula. Ukoliko bi se koristio ansambl superprovodljivih kugli, odziv na spoljašnje magnetno polje bi bio vrlo sličan, zbog toga što različite geometrijske forme superprovodnika daju u kvalitativnom smislu isti odziv u vremenski promjenljivom magnetnom polju, što je i pokazano u ovom radu. Težina problema je primjerena magistarskom radu.

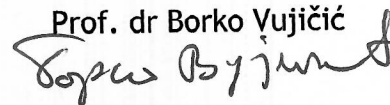
Preporučujemo da Vijeće PMF-a da prihvati magistarski rad studentkinje Jovane Bogdanović sa temom „Superprovodljiva kugla u vremenski zavisnom magnetnom polju“.

Komisija

Prof. dr Predrag Miranović



Prof. dr Borko Vujić



Dr Krsto Ivanović

