



## *Квантна теорија електричне проводљивости метала*

За објашњење електричне и топлотне проводљивости метала класична физика користи **модел идеалног електронског гаса**. У том моделу се у обзир узимају само интеракције електрона са чворовима кристалне решетке, док се међусобне интеракције електрона занемарују. Пошто су у питању системи са огромним бројем честица (слободних електрона), за изучавање идеалног електронског гаса класична физика користи методе статистичке физике. Класична физика креће од претпоставке да у електричној и топлотној проводљивости учествују сви електрони, па одатле добијамо да за њихову енергију важи континуална Максвелова расподела (слично као за идеалан гас).

Овакав модел идеалног електронског гаса даје добре одговоре на многа питања везана за електричну и топлотну проводљивост метала. Међутим, неке експерименталне чињенице се ипак нису могле усагласити са предвиђањима ове теорије. Међу тим чињеницама издваја се зависност електричног отпора од температуре. Због тога је ова теорија морала доживјети одређене измјене.

Топлотну и електричну проводљивост метала објаснила је **квантна статистичка физика**, чији су творци: Енрико Ферми (*Enrico Fermi*), Пол Дирак (*Paul Dirac*), Сатиендра Бозе (*Satyendra Nath Bose*) и Алберт Ајнштајн (*Albert Einstein*).

Квантна статистичка физика измијенила је модел електронског гаса помоћу двије претпоставке:

- енергија електрона у електронском гасу може имати само одређене (дискретне) вриједности;
- електрони се налазе у потенцијалној јами коју стварају позитивни јони, а чија је дубина реда величине излазног рада тог метала.

Овај модел се назива **Фермијев гас**.

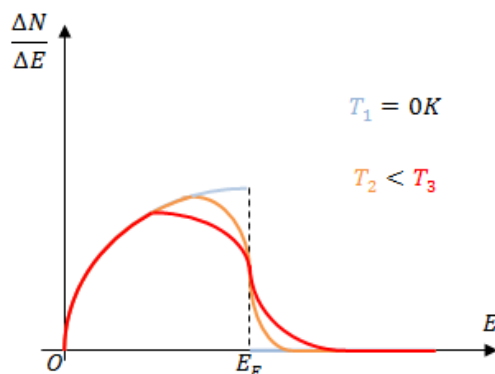
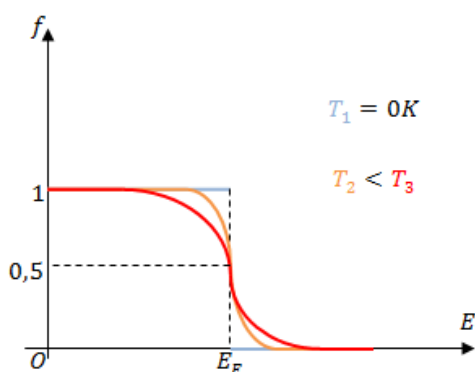
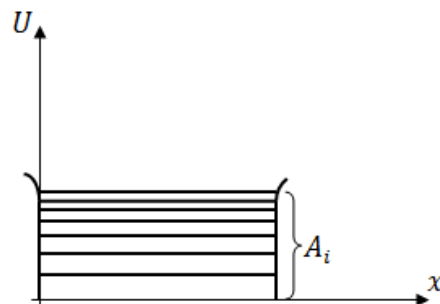
У квантној физици се разликују двије врсте честица:

- **Фермиони** су честице чији спин има полуцијелу вриједност. За њихову расподелу важи Паулијев принцип.

- **Бозони** су честице чији спин има цјелобројну вриједност. Ове честице не подлијежу Паулијевом принципу.

Слободни електрони су (као и везани) фермиони. Они су у потенцијалној јами распоређени по енергетским нивоима. Пошто мора бити испоштован Паулијев принцип, на једном нивоу могу бити највише два електрона. Огроман број електрона треба расподјелити на малом интервалу енергије (ред величине излазног рада је пар електрон-волти), па су енергетски нивои јако збијени. Како се иде према већим енергијама, ти нивои су све збијенији. Највиши ниво који попуњавају слободни електрони назива се **Фермијев ниво**.

Расподјела слободних електрона по нивоима се може приказати графички на још два начина:



На првом графику приказана је вјероватноћа налажења електрона. Плавом линијом је приказана та вјероватноћа на апсолутној нули: вјероватноћа је 1 (100%) за сваки ниво прије Фермијевог, док је вјероватноћа 0 (0%) за сваки ниво после Фермијевог.



На другом графику је приказана расподела електрона по енергијама. Та функција је растућа све до енергије Фермијевог нивоа, јер су енергетски нивои све гушћи. Након енергије Фермијевог нивоа, функција је нула јер ти нивои нису попуњени.

Када се метал загријава, јони у кристалној решеци почињу да осцилују. Њихова енергија осциловања је у квантној физици квантована величина:

Један квант енергије осциловања кристалне решетке зове се **фонон** и његова енергија износи  $kT$ , гдје је  $k$  Болцманова константа.

Дакле, при загријавању метала, јони кристалне решетке добијају енергију коју при сударима предају слободним електронима у облику порција- фонона. Међутим, ту енергију могу прихватити само електрони који су блиски Фермијевом нивоу, јер та енергија није довољна електронима са мањим енергијама да скоче до слободних нивоа! Због тога функције на претходним графицима које описују загријане метале имају дате облике (испрекидане линије).

Сада уочавамо једну од основних разлика између класичне и квантне теорије топлотне проводљивости: на основу класичне теорије у топлотној проводљивости учествују сви слободни електрони, а на основу квантне теорије у њој учествују само они слободни електрони чије су енергије блиске енергији Фермијевог нивоа. Што је метал загријанији, то више слободних електрона може да се побуди и да учествује у топлотној проводљивости.

Што се тиче електричне проводљивости, према класичној теорији у њој учествују сви слободни електрони. Међутим, према квантној теорији, пошто је енергија коју слободни електрони добијају од електричног поља доста мања од енергије Фермијевог нивоа, ту енергију може добити само мали број слободних електрона (слободни електрони чије су енергије блиске енергији Фермијевог нивоа).



## ФИЗИКА ЧВРСТОГ СТАЊА

*Максим Мичета*

Према квантној теорији, кретање слободног електрона кроз кристалну решетку треба схватити као простирање Де Брољевог таласа. Ако је метал на апсолутној нули, јони кристалне решетке не осцилују, па се електрон не расијава на кристалној решеци (не долази до електрон-фонон интеракције). Та интеракција седешава када се метал загрије.

При таквом расијању електронски талас губи енергију што добро објашњава електрични отпор. Такво тумачење електричног отпора даје боље резултате у односу на класично тумачење да је отпор последица судара слободних електрона са јонима кристалне решетке.

Међутим, у области ниских температура ни електрон-фононска теорија није била у сагласности са експерименталним резултатима.