آشنایی با نظریهٔ الکترون‌های آزاد

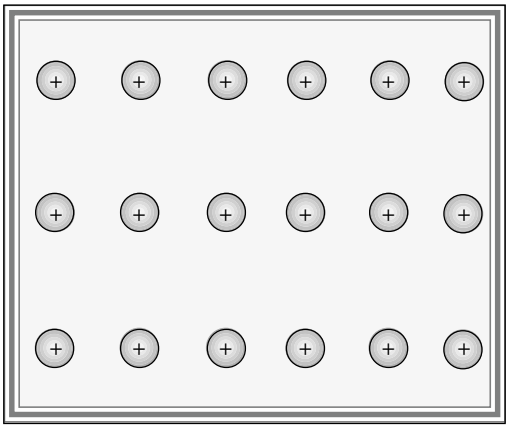
روح‌الله خلیلی بروجنی

از آنجایی که توضیح پدیده‌ها به کمک مفاهیم، نظریه‌ها و قانون‌های فیزیکی امکان‌پذیر است، لذا از این شماره با اختصاص صفحه‌ای تحت عنوان درسنامه سعی خواهیم کرد با توجه به نیاز مخاطبان محترم مجله، مباحث کوتاهی تالیف و یا ترجمه گردد.

نظریهٔ الکترون‌های آزاد، نخستین کوشش موفقیت‌آمیز در توضیح خواص الکتریکی و مغناطیسی جامدات به خصوص رساناها بوده است. مبنای این نظریه بر این فرض استوار است که در یک فلز تعداد زیادی الکترون، معمولاً یک یا دو الکترون به ازای هر اتم، آزادند که می‌توانند شبیه مولکولهای گاز درون یک ظرف، آزادانه به اطراف حرکت کنند. الکترون‌های آزاد را الکترون‌های رسانش نیز می‌نامند.

در نظریهٔ الکترون‌های آزاد از نیروهای بین الکترون‌های رسانش و مغزهای یونی چشم‌پوشی می‌شود. تمام محاسبه‌ها چنان انجام می‌شوند که گویی الکترون‌های رسانش آزادانه در داخل جسم به هر سو حرکت می‌کنند. انرژی کل به صورت انرژی جنبشی است و از انرژی پتانسیل صرف‌نظر می‌شود.

در فلزهای ساده همچون فلزهای قلیایی، الکترون‌های آزاد به صورت الکترون رسانش در می‌آیند و درون بلور حرکت می‌کنند. در یک بلور تک ظرفیتی که دارای N اتم است، N الکترون رسانش و N مغز یونی مثبت وجود دارد. در این گونه بلورها تقریباً ۱۵ درصد حجم بلور توسط مغزهای یونی اشغال می‌شود. شکل زیر مدل طرحوار بلور فلز سدیم را نشان می‌دهد، در این بلور، مغزهای اتمی، یون‌های Na^+ هستند که در دریایی از الکترونهای رسانش غوطه‌ورند.



یکی از مسائلی که باعث کندی پیشرفت و توسعهٔ نظریهٔ الکترون آزاد گردید، مربوط به ظرفیت گرمایی الکترون‌های رسانش بود. مطابق پیش‌بینی مکانیک آماری کلاسیک ظرفیت گرمایی یک ذرهٔ آزاد برابر $\frac{3}{2}K$ است که در آن K ثابت بولتزمن است. اگر فرض کنیم هریک از N اتم موجود در بلور، یک الکترون والانس خود را به گاز الکترون بدهد و این الکترون‌ها آزادانه حرکت کنند، سهم ناشی از الکترون‌های آزاد در ظرفیت گرمایی باید برابر $\frac{3}{2}NK$ باشد.

و این تقریباً صد برابر بیشتر از مقداری است که در دمای اتاق برای سهم الکترون‌های آزاد در ظرفیت گرمایی به دست آمده بود. همین موضوع سبب شده بود که پژوهشگران اولیه، همچون لورنتس، از اینکه سهم الکترون‌های آزاد در ظرفیت گرمایی اینقدر ناچیز است متحیر شوند. و این در حالی بود که در پدیده‌های رسانش الکتریکی، الکترون‌های آزاد به گونه‌ای شرکت می‌کردند که گویی کاملاً متحرک‌اند.

پاسخ این ابهام با کشف اصل طرد پاؤلی و تابع توزیع فرمی داده شد.

هنگامی که نمونه‌ای را از صفر مطلق گرم می‌کنیم آن‌طور که مکانیک آماری کلاسیک پیش‌بینی می‌کند، همهٔ الکترون‌های آزاد انرژی در حدود KT به دست نمی‌آورند بلکه تنها الکترون‌های آزادی که در اربیتال‌هایی در گسترهٔ انرژی KT از تراز فرمی قرار دارند با کسب انرژی در حدود KT به طور گرمایی برانگیخته می‌شود.

مدل الکترون آزاد در توضیح پدیده‌هایی که عمدتاً به ویژگی‌های جنبشی الکترون‌های آزاد بستگی دارد، همچون رسانش الکتریکی و گرمایی، آثار توموالکتریک، پذیرفتاری مغناطیسی و... موفق بوده است. ولی این نظریه حتی در توضیح اینکه چرا برخی مواد رسانا و برخی نارسانا و یا نیم‌رسانا هستند ناتوان است.

مراجع :

چارلز کتیل، آشنایی با فیزیک حالت جامد، مرکز نشر دانشگاهی ۱۳۶۷