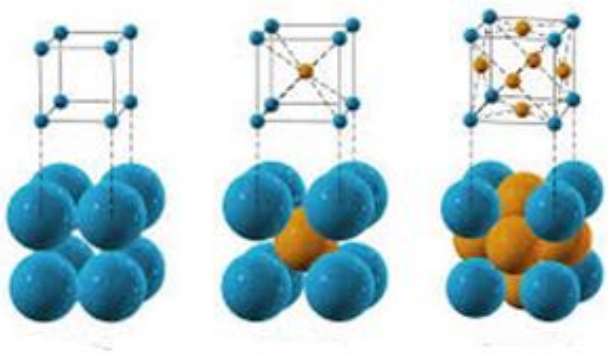
آزمایشگاه فیزیک حالت جامد

ویژه‌ی دانشجویان کارشناسی فیزیک

دکتر مریم نورافشان فسایی

عضو هیأت علمی گروه فیزیک دانشگاه هرمزگان



دیماه ۱۴۰۱

فهرست مطالب

۱-آشنایی با ساختار مواد جامد

۲-آزمایش اندازه گیری ثابت شبکه گرافیت

۳-آزمایش اثر هال

۴- آزمایش پدیده عادی زیمان

۵- آشنایی با مواد مغناطیسی

۶-آزمایش بررسی تاثیر میدان مغناطیسی بر مواد (پارا-دیا-فرو) مغناطیس

۷-آزمایش فوتورسانایی جامدات

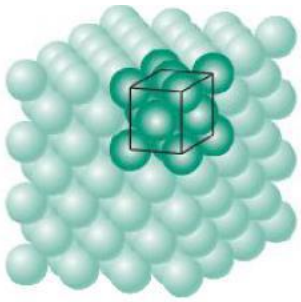
۱

آشنایی با ساختار مواد جامد

مبانی حالت جامد

- بررسی جامدات متبلور، چگونگی تشکیل و رشد آن ها، ساختمان درونی ، شکل ظاهری و خواص فیزیکی و شیمیایی مربوط به آنها را بلورشناسی می گویند.

- به مواد جامدی که اجزای سازنده آن ها (مولکول، اتم یا یون ها) در سه جهت فضایی در یک ساختار منظم و تکرار شونده کنار هم قرار گرفته باشند و دارای نظم بلورشناسی باشند، کریستال یا بلور می‌گویند.



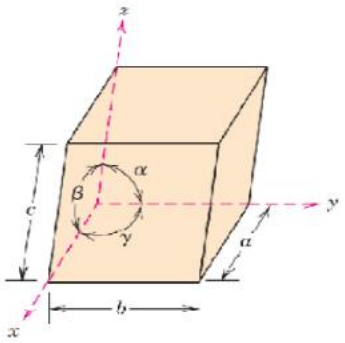
سلول واحد

- از آن جایی که ساختار های بلورین از کنار هم قرار گرفتن اتم ها در کنار هم به صورت منظم و تکرار شونده به دست می آیند، این امکان وجود دارد که بتوان یک واحد سازنده را پیدا کرد که از تکرار آن کل ساختار را ایجاد کرد. به این واحد تکرار شونده سلول واحد unit cell گفته می شود.

- تعریف Unit cell کوچک ترین واحد یک ساختار کریستالی که از تکرار آن کل ساختار ایجاد شود و کل خواص ساختار را درخود حفظ کند.

پارامترهای سلول واحد

- سلول واحد می تواند اشکال مختلفی داشته باشد. سلول واحد در حالت کلی به صورت یک متوازی السطوح در نظر گرفته می شود که با ۶ پارامتر توصیف می شود که عبارتند از:



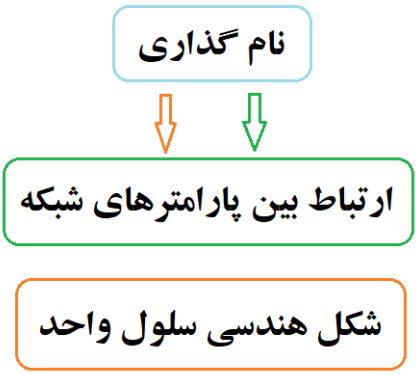
a, b, c

α, β, γ

The angles (α, β, γ) and lengths (a, b, c) used to define the size and shape of a unit cell are the **unit cell parameters** (the 'lattice parameters')

ساختارهای بلوری

- مکعبی یا کوبیک
- تتراگونال
- هگزاگونال
- تری گونال
- اورتورومبیک
- مونوکلینیک
- تری کلینیک

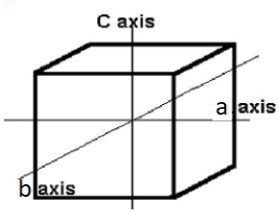


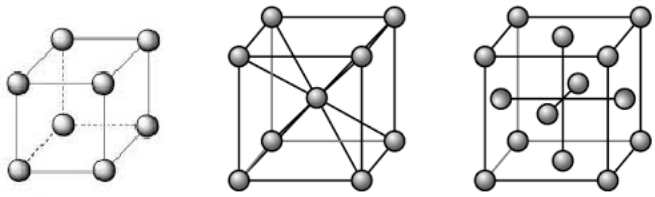
سلول واحد مکعبی

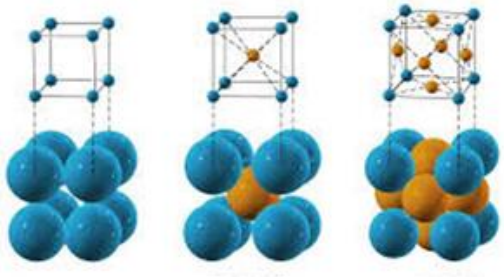
- اولین و ساده ترین سیستم تبلور
- دارای سه محور با طول یکسان
- زوایای محورها با یکدیگر: ۹۰ درجه
- کانی های معروف: الماس، طلای طبیعی، نقره طبیعی

$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90$$





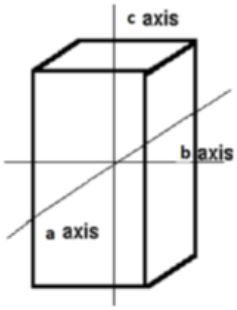


sc bcc fcc

سلول واحد تتراگونال

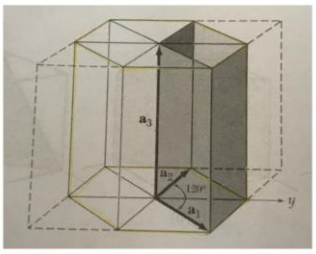
- دارای سه محور که محورهای **a** و **b** هم اندازه و محور **c** بلندتر از آن دو است.

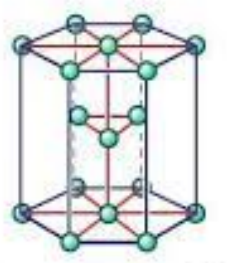
- زوایای محورها با یکدیگر: ۹۰ درجه

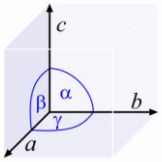


$$a = b < c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90$$

سلول واحد هگزاگونال



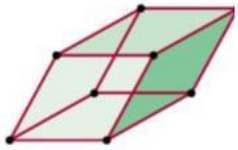




$$a = b \neq c$$
$$\alpha = \beta = 90° \quad \gamma = 120°$$

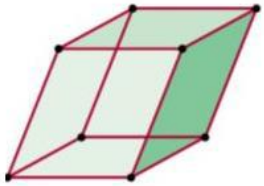
دیگر سلول های واحد

رومبوهدرال



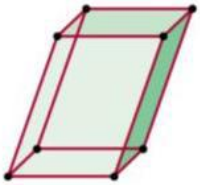
Rhombohedral
$a = b = c$
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$

تری کلینیک



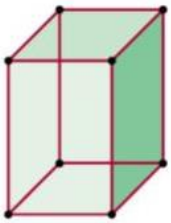
Triclinic
$a \neq b \neq c$
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

مونوکلینیک



Monoclinic
$a \neq b \neq c$
$\alpha = \gamma = 90°, \beta \neq 90°$

اورتورومبیک



Orthorhombic
$a \neq b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

شبکه براوه

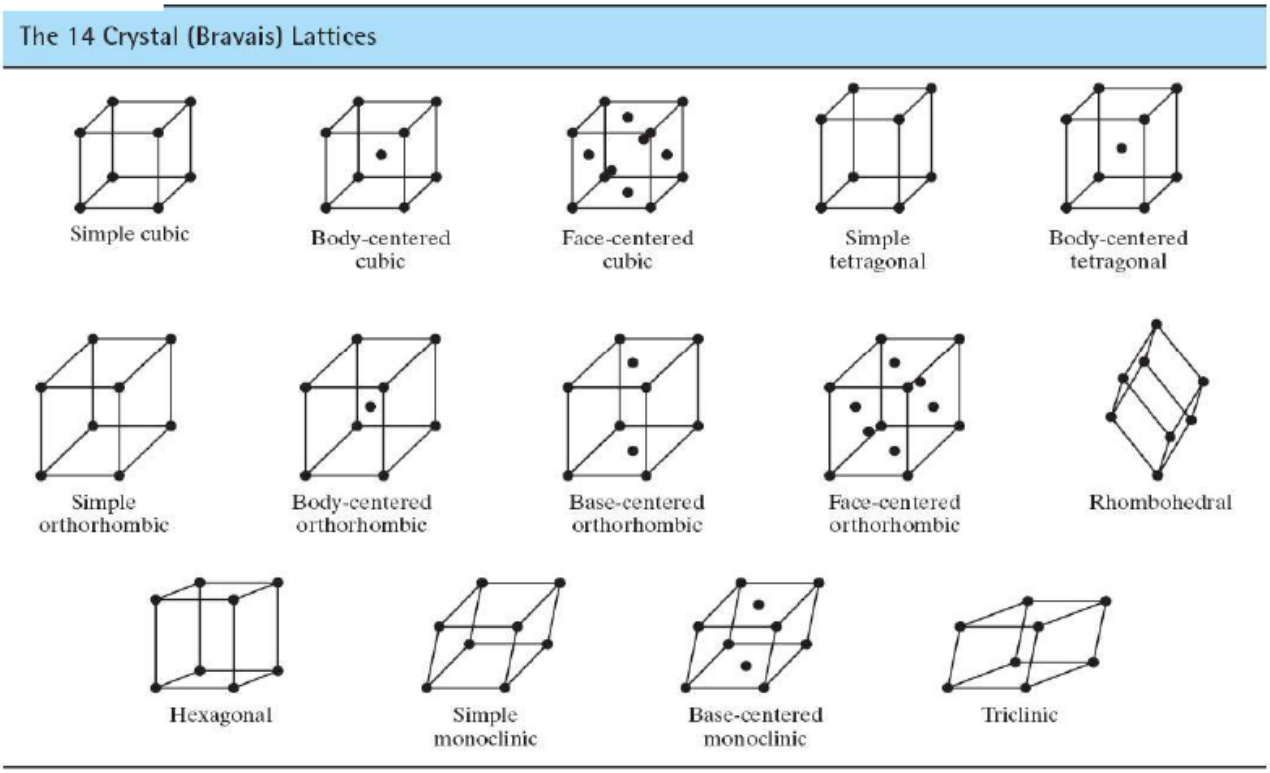
براوه ثابت کرد که با اضافه شدن نقاط ی به مرکزسلول و یا به مرکز بعضی از سطوح آن،

هفت سلول جدید ایجاد می شود که با هفت سلول اولیه جمعاً ۱۴ شبکه موسوم به شبکه های

براوه به وجود می آید. مثلاً اگر به مرکز یک سلول واحد مکعبی ساده یک اتم اضافه شود، شبکه مکعبی مرکزدار،

اگر در مرکز هریک از سطوح جانبی یک اتم قرار گیرد، شبکه مکعبی سطوح مرکزدار ایجاد می شود

۱۴ شبکه براوه



۲

آزمایش اندازه گیری ثابت شبکه گرافیت

هدف آزمایش

اندازه گیری ثابت شبکه گرافیت

وسایل آزمایش

لوله پراکندگی الکترون- منبع تغذیه ولتاژ بالا- آمپرمتر - رئوستا

تئوری

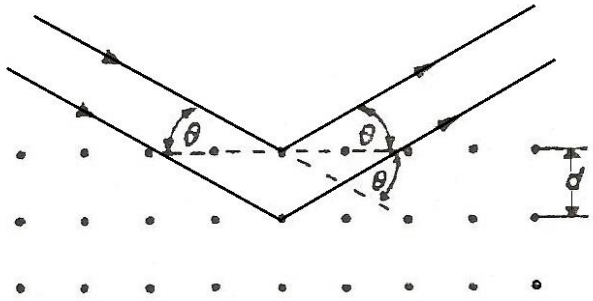
فاصله بین اتمی اتم‌های هر جامد از مرتبه انگسترم است و این فاصله با طول موج پرتوهای x یا طول موج الکترونهایی با انرژی ۱۵۰ الکترون ولت قابل مقایسه است.

حال اگر موجی با طول موجی که با فاصله بین اتم‌ها قابل مقایسه باشد با مجموعه ای از مراکز پراکننده، همانند اتم‌های یک جامد بلورین، برخورد کند، از هر مرکز امواجی تولید می‌شود که در تمام جهات و به سوی خارج تابش می‌شود البته موج برآیند ناشی از کلیه مراکز پراکننده، در هر جهت که اندازه‌گیری شود، به تداخل بین امواج خروجی از تمام مراکز پراکننده بستگی دارد. جالب اینجاست که در داخل بلور اتم‌های واقع بر هر صفحه نسبت به موج فرودی همانند آینه نیم نقره اندود نسبت به نور مرئی عمل می‌کنند. یعنی اتم‌ها بخشی از موج را بازتاب و بقیه را عبور می‌دهند. این صفحات و بازتابها را به یاد بود براگ صفحات براگ و بازتابهای براگ نامیده اند. براگ همراه با پسرش در سال ۱۹۱۳ نظریه بنیادی پراش پرتو X توسط بلورها را مطرح کرد. بنابراین خیلی ساده تر است تا به جای بررسی یکایک تداخل بین امواج تولید شده به وسیله تمام مراکز پراکنده، تداخل بین امواجی که از صفحات موازی براگ بازتابیده‌اند را بررسی کنیم. طبق قاعده براگ شرط آن که امواج بازتابیده از صفحات موازی و مجاور براگ تداخل سازنده داشته باشند آن است که:

$$2dsin\theta = n\ \lambda$$

که n مرتبه بازتاب است و می‌تواند مقادیر ۱ و ۲ و ۳ و ... را داشته باشد، d فاصله بین اتمی در شبکه سه بعدی بلور و θ زاویه بازتاب و λ طول موج فرودی است.

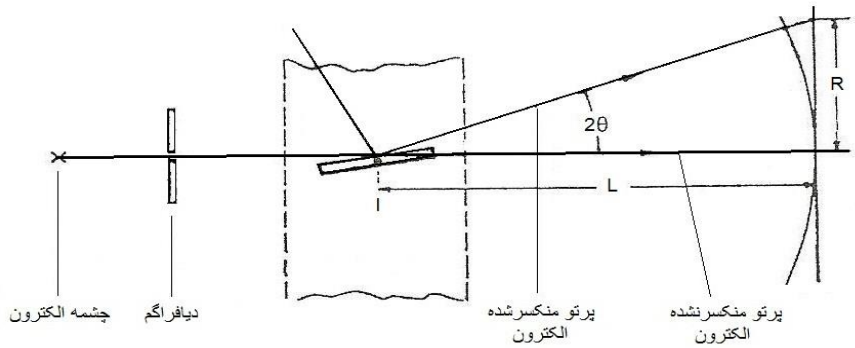
در صورتی که پرتوها تحت هر زاویه ای به جز زاویه هایی که در معادله بالا صدق می‌کنند بازتاب شوند تداخل ویرانگر است.



شکل۲-۱: بازتاب پرتوهای فرودی از صفحات براگ

در این آزمایش امواج الکترونی بازتاب شده از اتم‌های شبکه، طرح تداخلی را ایجاد می‌کنند. طرح پراکندگی مشاهده شده شامل حلقه‌های دایره‌ای شکل با شعاع‌های متفاوت است. این حلقه‌ها از تداخل سازنده امواج الکترون‌های پراکنده شده از یک سری صفحات مشابه پراکنده کننده کریستال گرافیت ایجاد می‌شوند.

θ زاویه بین امواج تابشی و صفحات براگ می‌باشد. بنابراین زاویه بین امواج تابشی وامواج پراکنده شده برابر با 2θ است .شکل زیر را در نظر بگیرید.



شکل۲-۲: نمایش طرح وار پراکنده شدن امواج الکترونی

از شکل ۲-۲ داریم:

$$tg\ 2\theta = \frac{R}{L} \qquad (1)$$

برای مقادیر کوچک θ داریم

$$tg\ 2\theta = sin\ 2\theta = 2sin\theta \qquad (2)$$

با ترکیب دو رابطه (۱) و(۲) به دست می‌اوریم:

$$2sin\theta = \frac{R}{L} \qquad (3)$$

از طرفی طبق قاعده براگ $2sin\theta = \frac{n\lambda}{d}$ بنابراین به دست می‌آوریم:

$$\frac{R}{L} = \frac{n\lambda}{d} \qquad (4)$$

برای $n = 1$ داریم:

$$d = \frac{\lambda L}{R} \qquad (5)$$

باتوجه به این که برای یک دستگاه خاص مقدار L معین می‌باشد، چون R نیز قابل اندازه‌گیری است در صورتی که λ مشخص باشد می‌توان d را به دست آورد.

در این آزمایش می‌توان λ یعنی طول موج الکترون را به کمک رابطه دو بروی محاسبه کرد.

$$\lambda = \frac{h}{p} \qquad (6)$$

انرژی جنبشی الکترونها برابر است با

$$\frac{1}{2}mV^2 = \frac{P^{\ 2}}{2m} = ev \qquad (7)$$

که e بار الکترون برحسب کولن و v مقدار عددی ولتاژ شتابدهنده بر حسب ولت و mجرم الکترون است.

بنابراین

$$P = \sqrt{2mev} \qquad (8)$$

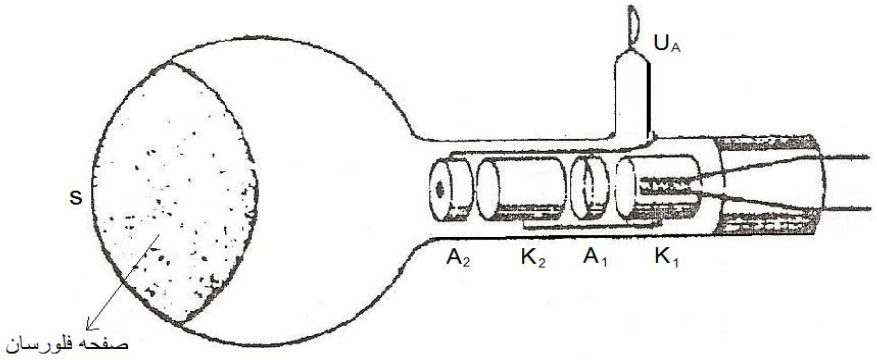
$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{\sqrt{2mev}} = \frac{\sqrt{150}}{v} \times 10^{-10}\ m \qquad (9)$$

در مرحله آخر مقادیر جرم و بار الکترون وثابت پلانک جایگذاری شده است.

توصیف لوله پراکندگی

اجزای اصلی لوله ،کاتدها، آندها و ورقه گرافیت می‌باشد که همگی در حباب شیشه‌ای با خلاء بالا قرار داده شده‌اند. این حباب تا فشار حدود $10^{-8}mmHg$ تخلیه شده است و لذا در هنگام جابه‌جایی آن باید با احتیاط زیاد عمل کنید تا ضربه‌ای به آن وارد نشود زیرا کوچکترین ضربه باعث شکستن آن می‌شود. انتهای حباب با لایه‌های ساده فلورسان پوشانیده شده است تا در اثر برخورد الکترون‌های پراکنده شده بتوان تأثیر آنها را مشاهده کرد. ورقه کریستال گرافیت نقش پراکنده کننده الکترون‌ها را دارد.

مطابق شکل زیر آندها و کاتدهای دستگاه دارای چهار جفت استوانه فلزی است که پشت سر هم قرار گرفته‌اند. این الکترودها دو تا، دوتا به هم وصل شده‌اند. پتانسیل به کاتدهای k_1 و k_2 متصل می‌شود و آند اول به عنوان عدسی کانونی کننده عمل می‌کند.



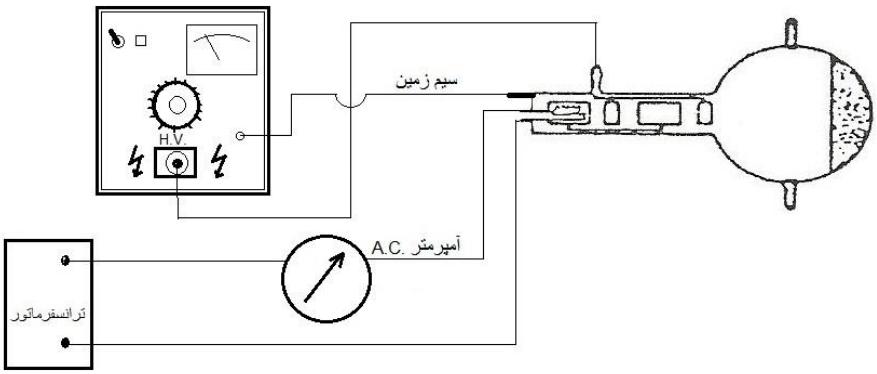
شکل۲-۳ : تصویری از اجزای اصلی لوله پراکندگی

کاتد به طور غیرمستقیم گرم می‌شود و تولید الکترون می‌کند. آند A_2 یک ورقه کریستال گرافیت است که به عنوان عنصر پراکندگی به کار می‌رود. شعاع الکترونی متمرکزی تحت زاویه ۹۰ درجه به ورقه گرافیت برخورد می‌کند. تعدادی از این الکترون‌ها در عبور از ورقه گرافیت به علت برخورد با مراکز پراکنده کننده، پراکنده می‌شوند و به صفحه فلورسان برخورد می‌کنند. این الکترون‌ها حلقه سبز رنگی را تشکیل می‌دهند اما برخی از الکترون‌ها، در عبور از ورقه گرافیت به هیچ مرکز پراکنده‌ای برخورد نمی‌کنند(در واقع از فضای خالی بین اتم‌های گرافیت عبور می‌کنند) بنابراین مستقیم (تحت همان زاویه ۹۰ درجه) و بدون پراکندگی به صفحه فلورسان برخورد می‌کنند. این الکترون‌ها، نقطه نورانی شدیدی را در مرکز صفحه ایجاد می‌کنند.

بنابراین طرح کلی پراکندگی شامل یک نقطه نورانی شدید و حلقه‌های دایره‌ای شکل روشن سبزرنگ به مرکز نقطه نورانی می‌باشد. معمولاً در این آزمایش دو حلقه روشن دیده می‌شود.

روش انجام آزمایش

مدار را مطابق شکل زیر ببینید.



شکل ۲-۴: مدار آزمایش پراکندگی الکترون

یک رئوستا نیز در دستگاه برای کنترل جریانی که مسئول گرم کردن کاتد است در مدار قرار دهید. توسط یک آمپرمتر نیز جریان را کنترل کنید.

به آهستگی ولتاژ را افزایش دهید. محدوده مناسبی از ولتاژ را انتخاب کنید. مثلاً (2kv تا 4kv). در این محدوده ولتاژ را با گام‌های 500 ولت افزایش دهید در هر مرحله شعاع دو حلقه نورانی را باکولیس اندازه بگیرید.

حدوداً پنج مرتبه شعاع هر حلقه را اندازه بگیرید و میانگین آنها را به عنوان شعاع حلقه موردنظر یادداشت کنید. این مقادیر را که در ولتاژهای بالا اندازه‌گیری شده اند را در جدول۲-۱ یادداشت کنید.

جدول ۲-۱

ولتاژ	R_1	R_2	λ

۳

آزمایش اثر هال

هدف آزمایش

تعیین نوع حامل‌های بار الکتریکی در رساناها و محاسبه چگالی حجمی الکترونهای آزاد در رساناهای مورد آزمایش.

وسایل آزمایش

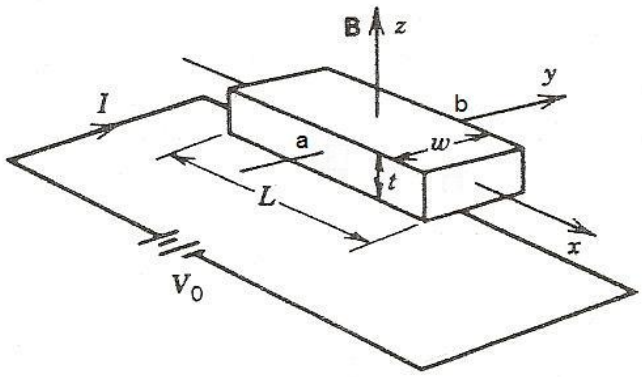
آهنربای الکتریکی و منبع تغذیه مربوطه - میکروولتمتر- منبع جریان - برد مخصوص اثر هال با ورقه نقره و برد مخصوص اثر هال با ورقه مس

مقدمه

در سال ۱۸۷۹ میلادی هال در دانشگاه هاروارد آزمایشی را انجام داد که با آن توانست علامت حاملهای بار در رساناها را تعیین کند. او در آزمایش خود یک ورقه فلزی را در یک میدان مغناطیسی یکنواخت به گونه‌ای قرار داد که خطوط میدان مغناطیسی بر سطح آن عمود باشد و جریان الکتریکی I را نیز از طول آن عبور داد. به علت نیروی مغناطیسی که به هریک از حاملهای بار در ورقه فلزی وارد می‌شد، هر حامل بار ضمن حرکت در طول ورقه به سمت کناره‌های عرضی ورقه نیز سوق پیدا می‌کرد و بنابراین یک اختلاف پتانسیل عرضی که اکنون به اختلاف پتانسیل عرضی هال شهرت دارد بین دو نقطه متقابل در عرض ورقه ایجاد می‌شد. با اندازه‌گیری این اختلاف پتانسیل، هال می‌توانست نوع حاملهای بار (مثبت یا منفی) را تعیین کند. آزمایش هال نشان داد که در فلزات حاملهای بار منفی‌اند. در این آزمایش نیز با قرار دادن یک ورقه رسانا در میدان مغناطیسی یکنواخت و انجام آزمایش هال، نوع حاملهای بار و چگالی بار در رساناهای مورد آزمایش را تعیین می‌کنید.

تئوری

فرض کنید یک ورقه رسانا به ضخامت t و عرض w به گونه‌ای در میدان مغناطیسی B قرار گیرد که خطوط میدان بر سطح آن عمود باشد مطابق شکل زیر:



شکل ۳-۱: نمایش تجربی اندازه‌گیری ولتاژ هال در نمونه ای رسانا که در میدان مغناطیسی قرار دارد.

اگر شدت جریان I در امتداد طول رسانا عبور داده شود به هریک از حاملهای بار نیروی مغناطیسی $\vec{F} = q\vec{v}_d \times \vec{B}$ وارد خواهد شد. اگر حامل‌های بار مثبت باشند باتوجه به

اینکه جهت حرکت آنها هم جهت با جریان است نیروی وارده آنها را به سمت نقطه a می‌کشاند و چنانچه حاملهای بار منفی باشند باتوجه به این که جهت حرکت آنها در خلاف جهت جریان می‌باشد باز هم نیروی وارده F آنها را به نقطه a سوق می‌دهد. بنابراین یک اختلاف پتانسیل عرضی (اختلاف پتانسیل هال، V_H،) بین دو نقطه a و b ایجاد می‌شود. علامت حاملهای بار از علامت اختلاف پتانسیل هال تعیین می‌شود. یعنی اگر پتانسیل a بیشتر از پتانسیل b باشد، نوع حاملها مثبت و اگر پتانسیل a کمتر از پتانسیل b باشد نوع حاملها منفی خواهد بود.

حاملهای بار به طور نامحدود در لبه ورقه جمع نمی‌شوند زیرا تغییر مکان این بارها باعث ایجاد میدان الکتریکی عرضی هال، E_H، می‌شود که در داخل رسانا با سوق جانبی حامل‌ها بار مخالفت می‌کند. این میدان الکتریکی هال، تجلی دیگری از اختلاف پتانسیل هال است. رابطه میان این دو به صورت زیر می‌باشد.

$$E_H = \frac{V_H}{w} \qquad (1)$$

سرانجام هنگامی تعادل برقرار می‌شود که نیروی منحرف کننده مغناطیسی جانبی وارد بر حامل‌های بار با نیروی الکتریکی مخالف $q\vec{E}_H$، حاصل از میدان الکتریکی هال خنثی شود یعنی:

$$q\vec{E}_H + q\overrightarrow{V_d} \times \vec{B} = 0 \qquad (2)$$

از این رابطه داریم

$$qV_dB = qE_H \;\rightarrow\; E_H = V_dB \qquad (3)$$

بنابراین اختلاف پتانسیل هال برابر است با

$$V_H = E_Hw = V_dBw \qquad (4)$$

در این رابطه V_d سرعت حرکت یا سرعت سوق بارهای الکتریکی است که به صورت زیر می‌باشد:

$$V_d = \frac{j}{nq} = \frac{I/A}{nq} \qquad (5)$$

که j چگالی جریان، n چگالی حامل‌های بار الکتریکی یعنی تعداد حاملهای بار موجود در واحد حجم و $A = wt$ مساحت ورقه می‌باشد با جایگذاری V_d در رابطه (۳) وبا استفاده از رابطه (۱) داریم:

$$V_H = \frac{I\,B}{nqwt}w = \frac{I\,B}{nqt} \qquad (6)$$

اگر در این رابطه I ثابت نگه داشته شود رابطه میان ولتاژ هال و میدان مغناطیسی B یک رابطه خطی است.

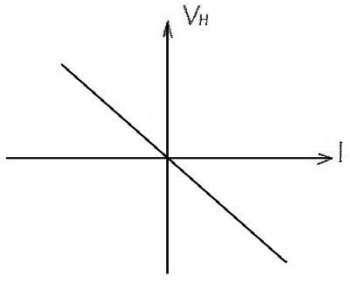
$$V_H = \left(\frac{I}{nqt}\right)B \qquad (7)$$

و ضریب زاویه این خط $\frac{I}{nqt}$ می‌باشد. اگر با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه نمودار V_H را بر حسب B رسم کنیم و با توجه به این که در فلزات حاملهای بار الکترونهای آزاد می‌باشند یعنی $q = e$ ضریب زاویه خط حاصل برابر با $\frac{I}{net}$ می‌باشد. با مشخص بودن شدت جریان، I ، ضخامت ورقه t و بار الکترون $e = 1/6 \times 10^{-19}$ می‌توان چگالی حامل‌های بار در ورقه فلزی مورد آزمایش را تعیین کرد. همچنین در صورتی که B ثابت نگه داشته شود رابطه میان ولتاژ و شدت جریان ورقه نیز یک رابطه خطی است:

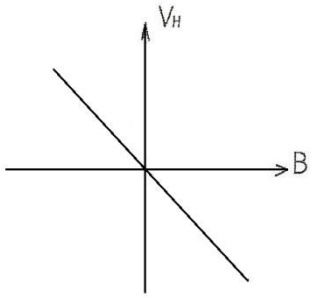
$$V_H = \left(\frac{B}{nqt}\right)I \qquad (8)$$

و ضریب زاویه این خط $\frac{B}{nqt}$ می‌باشد .باز می‌توان با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه نمودار V_Hرا بر حسب شدت جریان I رسم کرد و ضریب زاویه خط حاصل را تعیین و چگالی حاملهای بار، n، را از این روش نیز به دست آورد.

آزمایش نشان می‌دهد که ضریب زاویه‌های فوق برای فلزاتی مانند مس منفی است (اثر هال عادی). که به خاطر وجود الکترون‌های آزاد در رسانا می‌باشد. به شکل‌های ۳-۲الف و۳-۲ ب توجه کنید.

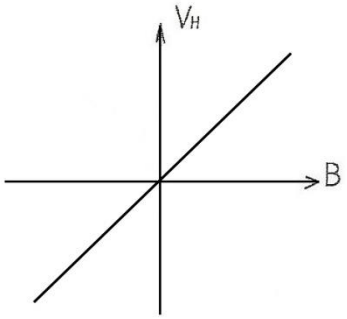


شکل۳-۲ الف

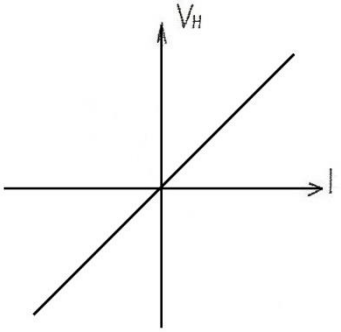


شکل ۳-۲ ب

و برای فلزاتی مانند روی مثبت است (اثر هال غیرعادی) که به علت کمبود الکترون آزاد در رسانا می‌باشد. شکل‌های۳-۳ الف و ۳-۳ ب را در نظر بگیرید.



شکل۳-۳ الف



شکل ۳-۳ ب

روش انجام آزمایش

سیم‌پیچ‌های آهنربای الکتریکی را در جای خود روی پایه‌های مربوطه قرار داده و آنها را توسط سیم‌های رابط به طور سری به یکدیگر به گونه‌ای ببندید که جهت جریان در آنها عکس یکدیگر شده و قطبین مغناطیسی آنها مخالف یکدیگر گردد.

یکی از بردهای هال را به گونه‌ای قرار دهید که صفحه برد عمود بر امتداد میدان گردد. سیم‌های رابط میکرو ولتمتر را به خروجی ولتاژ هال که در مجاورت پتانسیومتر برد هال قرار دارند وصل کنید و با تغییر دادن پیچ میکرو ولتمتر را صفر کنید. منبع جریان الکتریکی مربوطه را نیز به محل‌های اتصال دو سر ورقه مورد آزمایش که

بر روی برد هال تعبیه شده است متصل کنید. در این حالت دستگاه به طور کامل آماده است و شما می‌توانید آزمایش را انجام دهید.

آزمایش ۱:تعیین حامل‌های بار در رسانای مورد آزمایش با استفاده از رسم نمودار ولتاژ هال برحسب میدان مغناطیسی B :

در این آزمایش منحنی ولتاژ هال برحسب میدان مغناطیسی B را رسم کنید. برای این کار جریان عبوری از ورقه را از صفر افزایش دهید و آن را روی مقدار ثابتی نگه دارید (از کارشناس آزمایشگاه درباره مقدار جریان راهنمایی بگیرید). با پیچاندن پیچ پتانسیومتر روی برد هال میکرو ولتمتر را صفر کنید. آهنربای الکتریکی را به منبع تغذیه مربوط به آن متصل نموده و شدت جریان منبع، $\mathrm{I_M}$ را با فواصل $0/5$ آمپری تغییر داده و در هر بار ولتاژ هال را از روی میکرو ولتمتر قرائت کنید. مقادیر B متناظر با مقادیر مختلف $\mathrm{I_M}$ را به دست آورید. جدولی مطابق جدول ۱-۳تنظیم کنید و مقادیر به دست آمده را در آن یادداشت کنید.

جدول ۳-۱

	$I(A)$	$I_M(A)$	$B(mT)$	$V_H(mV)$
۱				
۲				
۳				
۴				

با استفاده از این مقادیر منحنی تغییرات ولتاژ هال را بر حسب B رسم کنید و با تعیین ضریب‌زاویه خط حاصل و مشخص بودن ضخامت ورقه، t، و $e = 1/6 \times 10^{-19}$ و شدت جریان I چگالی حامل‌های بار در رسانای مورد آزمایش را به دست آورید.

آزمایش ۲: تعیین حامل‌های بار در رسانای مورد آزمایش با استفاده از رسم نمودار ولتاژ هال بر حسب شدت جریان عبوری از ورقه رسانا

در این آزمایش منحنی تغییرات ولتاژ هال را بر حسب I شدت جریان عبوری از ورقه رسانا رسم کنید و با استفاده از ضریب زاویه خط حاصل چگالی حامل‌های بار n در رسانای مورد آزمایش را به دست آورید. برای این کار شدت جریان منبع تغذیه آهنربای الکتریکی، $\mathrm{I_M}$، را روی مقدار ثابتی تنظیم کنید (در این قسمت برای مقدار $\mathrm{I_M}$ از کارشناس آزمایشگاه راهنمایی بگیرید) با این کار شدت میدان مغناطیسی، B را ثابت نگه می‌دارید. سپس شدت جریان عبوری از ورقه، I ، را تغییر دهید و در هر بار ولتاژ هال را از روی میکرو ولتمتر قرائت کنید جدولی مطابق جدول ۳-۲ تنظیم و مقادیر به دست آمده را در آن یادداشت کنید.

	$B\ (mT)$	$\mathrm{I_M(A)}$	V_H	I
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				
۷				
۸				
۹				
۱۰				

جدول ۳-۲

با استفاده از این مقادیر منحنی تغییرات V_Hبر حسب I را رسم کنید و با استفاده از ضریب زاویه خط حاصل و مشخص بودن ضخامت ورقه e و B چگالی حامل‌های بار در رسانای مورد آزمایش را به دست آورید.

این آزمایش را برای چندین ورقه فلزی مثل نقره، روی و یا مس تکرار کنید و نتایج مربوط را در جدولی تنظیم

کنید و با رسم نمودارهای گفته شده و تعیین ضریب زاویه خطهای حاصل نوع و چگالی حامل‌های بار را در هریک از این رساناها به دست آورید.

۴

آزمایش پدیده عادی زیمان

هدف آزمایش

درک منشأ فیزیکی پدیده عادی زیمان - مشاهده مؤلفه‌های زیمان یک یا چند خط طیفی با قراردادن اتم در میدان مغناطیسی خارجی

وسایل آزمایش

آهنربای الکتریکی و منبع تغذیه الکتریکی – لامپ جیوه و منبع تغذیه مربوطه- تداخل سنج فابری - پرو با دوربین مربوطه - پلاریزور مدرج با پایه نگهدارنده آن- فیلتر سبز جیوه با پایه نگهدارنده آن - پایه کوچک مکعبی و سیم‌های رابط

مقدمه

وقتی اتمی از یک حالت اولیه به یک حالت نهایی با انرژی پایین‌تر گذار می‌کند فوتونی با انرژی‌ای برابر با اختلاف انرژی آن حالت‌ها گسیل می‌کند و تک خط طیفی مشاهده می‌شود که متناظر با این گذار است. چنانچه هریک از دو حالت شرکت‌کننده در گذار دارای گشتاور مغناطیسی باشد آنگاه اعمال میدان مغناطیسی خارجی B خط طیفی را به چندین مؤلفه نزدیک به هم تبدیل می‌کند که میزان جدایی آنها متناسب با B است. این شکافتگی خطوط طیفی در میدان مغناطیسی پدیده زیمان نامیده می‌شود و توسط پیترزیمان در سال ۱۸۹۶ مطرح شد. در همین راستا جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۰۲ به طور مشترک به هاندریک آنتون لورنتر و پیتر زیمان از هلند برای تقدیر از خدمت فوق العاده‌ای که با تحقیقشان درباره اثر مغناطیس بر پدیده‌های تابشی انجام دادند اهدا شد. در این آزمایش با قراردادن اتم‌های جیوه در میدان مغناطیسی یکنواخت B پدیده زیمان را مشاهده خواهید کرد و با استفاده از تداخل سنج فابری - پرو مؤلفه‌های تغییر یافته طیف را به دست خواهید آورد.

تئوری

همان طور که می‌دانیم هریک از حالت‌های S و P و d و f و ... با یک مقدار l معین در یک اتم دارای $2\ell+1$ زیر تراز می‌باشند. هنگامی که اتم در میدان مغناطیسی صفر قرار دارد همه $2\mathrm{l}+1$ زیر تراز مربوط به هر حالت دارای یک مقدار انرژی می‌باشند. حال اگر یک اتم برانگیخته یک گذار مجاز از یکی از این حالتها با انرژی E به حالتی دیگر با انرژی E' انجام دهد، فوتونهایی که دارای تک بسامد E' هستند طبق رابطه $hv_0 = E' - E$ گسیل می‌کند. گذارهای مجاز این حالت‌ها از قاعده گزینش $\Delta\ell = \pm 1$ پیروی می‌کنند. اگر اتم تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرد هر حالت به ازای مقدار معینی از ℓ به $2\mathrm{l}+1$ زیر تراز هم فاصله تجزیه می‌شود که اختلاف انرژی هر دو زیر تراز به صورت زیر می‌باشد.

$$\Delta E_m = m_\ell \frac{e\hbar}{2m} B \qquad (1)$$

که عدد کوانتومی $\mathrm{m_l}$ مقدار $-\ell \le \mathrm{m}_\ell \le \ell$ دارد.

اختلاف انرژی بین دو زیرتراز مجاور برابر $B\frac{\mathrm{e}\hbar}{2\mathrm{m}}$ می‌باشد و از مقدار l مستقل است. کمیت $\frac{e\hbar}{2m}$ دارای یکای گشتاور مغناطیسی است و مگنتون بوهر نامیده می‌شود.

قاعده گزینش برای گذارهای بین دو زیرتراز به صورت $\Delta\mathrm{m_l} = 0, 1$ می‌باشد بنابراین هنگامی که اتم در میدان مغناطیسی B قرار می‌گیرد بسامد فوتون‌های گسیل‌شده در گذار از یک حالت به حالتی دیگر طبق روابط زیر به دست می‌آید:

$$\Delta m_\ell = -1 \qquad hv = hv_0 - \frac{e\hbar}{2m} B \qquad (2)$$

$$\Delta m_\ell = 0 \qquad hv = hv_0 \qquad (3)$$

$$\Delta m_\ell = +1 \qquad hv = hv_0 + \frac{e\hbar}{2m} B \qquad (4)$$

از تقسیم طرفین معادلات(۲)و(۳)و(۴) بر h، بسامدهای تابش گسیل شده به صورت زیر به دست می‌آیند.

$$v_- = v_0 - \frac{e}{4\pi m} B \qquad (5)$$

$$v_0 = v_0 \qquad (6)$$

$$v_+ = v_0 + \frac{e}{4\pi m} B \qquad (7)$$

بنابراین هر خط با بسامد v_0 در طیف، توسط یک میدان مغناطیسی خارجی به سه مؤلفه هم فاصله شکافته می‌شود یک خط اصلی با بسامد v_0 و دو خط هم فاصله اطراف آن که فاصله هریک از آن $\frac{e}{4\pi m} B$ می‌باشد. به v_+ فرکانس افزایش یافته به v_- فرکانس کاهش یافته و به v_0 فرکانس تغییر نیافته گفته می‌شود.

اکنون باتوجه به اینکه نور یک موج الکترومغناطیسی است و بردار $\vec{E}$و $\vec{H}$عمود بر راستای انتشار می‌باشند، هنگامی که این خطوط طیف در امتداد عمود بر خطوط میدان مغناطیسی مورد مشاهده قرار گیرند برای فرکانس تغییرنیافته میدان الکتریکی در راستای میدان مغناطیسی قطبیده است (مؤلفه π). در حالی‌که برای دو فرکانس تغییر یافته میدان الکتریکی در امتداد عمود بر راستای میدان مغناطیسی قطبیده هستند (مؤلفه‌های σ). به کمک یک پلاریزور می‌توان صحت مطالب فوق را تأیید کرد. پدیده عادی زیمان برای مجموعه‌های تک خطی طیف‌های He و گروه عناصر قلیائی خاکی، همچنین Hg و Zn و Cd مشاهده شده است.

باتوجه به این که شکافتگی خطوط طیف بسیار کوچک است بنابراین برای مشاهده پدیده عادی زیمان به طیف سنج‌هایی با توان تفکیک نسبتاً بالا نیاز است.

روش انجام آزمایش

سیم‌پیچ‌های آهنربای الکتریکی را با یکدیگر به گونه‌ای سری کنید که جهت گردش جریان الکتریکی در آنها یکسان باشد. سپس لامپ جیوه را بین دو قطب آهنربا قرار داده و آن را در محل خود محکم کنید. سیم‌های لامپ جیوه را به منبع تغذیه ولتاژ بالا متصل و آنرا روشن کنید.

سیم‌های آهنربای الکتریکی را نیز به منبع تغذیه مربوطه وصل و آن را روشن کنید و جریان را از آن عبور دهید. از کارشناس آزمایشگاه در ارتباط با ولتاژ لازم برای تغذیه لامپ و مقدار جریان لازم برای عبور از سیم‌های آهن ربای الکتریکی راهنمایی بخواهید.

اگر جهت گردش جریان در سیم‌پیچ‌های آهنربا صحیح انتخاب شود می‌توان با کم و زیاد کردن شدت جریان نور لامپ جیوه را کم و زیاد کرد در غیر این صورت باید جای سیم‌های سیم‌پیچ‌ها را تعویض کرد.

تداخل‌سنج فابری پرو را تنظیم کنید (نحوه مدرج کردن تداخل سنج فابری - پرو و نیز اندازه‌گیری اختلاف طول موج‌ها، در انتها توضیح داده شده است) و آن را در مقابل نور لامپ جیوه قرار دهید. معمولاً این نور پس از عبور از یک عدسی از محفظه‌اش خارج می‌شود. فاصله‌های آینه‌های تداخل سنج را حدوداً 2 میلی‌متر انتخاب کنید. پلاریزو مدرج را بین تداخل‌سنج و محفظه حاوی لامپ جیوه قرار داده و آن را روی زاویه صفر تنظیم کنید. فیلتر سبز جیوه را در مسیر نور لامپ قرار دهید. شدت جریان منبع تغذیه را صفر کرده (میدان مغناطیسی صفر می‌شود)

و از درون دوربین تداخل سنج نوارهای تداخلی دایروی را مشاهده کنید. در صورتی که شدت جریان منبع را افزایش دهید (میدان مغناطیسی برقرار می‌شود) ملاحظه خواهید کرد که هر خط تداخلی دایروی به دو خط تبدیل و به دو طرف جا به جا می‌شوند به طوری که محل اولیه خط تداخلی تاریک می‌شود این دو، مؤلفه‌های σ می‌باشند. اگر در این حالت پلاریزور را روی زاویه 90 درجه ببرید این دو خط محو و خط سوم در محل اولیه نوار تداخلی مشاهده خواهد شد این خط همان مؤلفه π می‌باشد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که خط سبز طیف جیوه در میدان مغناطیسی به سه خط قطبیده تبدیل می‌شود. یکی از این خطها در امتداد موازی خطوط میدان قطبیده‌اند (مؤلفه π) و دو تای دیگر در امتداد عمود بر امتداد میدان مغناطیسی (مؤلفه‌های σ)، و این همان پدیده عادی زیمان است.

با تغییر شدت جریان منبع تغذیه، منحنی تغییرات میدان آهنربای الکتریکی B را بر حسب شدت جریان I رسم کنید و به این ترتیب شدت القاء مغناطیسی را تعیین کنید.

با کمک تداخل سنج فابری - پرو اختلاف طول موج ($\Delta\lambda$) و مؤلفه σ خط سبز جیوه را اندازه‌گیری کنید.

سپس باتوجه به این که

$$v = \frac{C}{\lambda} \rightarrow \Delta v = -\frac{C}{\lambda^2}\Delta\lambda \qquad (8)$$

اختلاف بسامد (Δv) مؤلفه‌های σ را با استفاده از $\Delta\lambda$ به دست آمده محاسبه کنید. در رابطه (8) C سرعت نور در خلاء وبرابر با$3 \times 10^8 m/s$ و $\lambda = 5460/74$ انگستروم، طول موج سبز جیوه می‌باشد.

آزمایش را چندین بار تکرار کرده، جدولی مطابق جدول۴ -۱ تنظیم کنید و مقادیر به دست آمده را در آن یادداشت کنید.

شماره آزمایش	$I(A)$	$B(T)$	$\Delta\lambda$(m)	$\Delta v(\sec^{-1})$
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				

جدول ۴-۱

در انتها توضیح خواهیم داد که تداخل سنج چیست، چگونه تداخل سنج فابری - پرو را برای مشاهده نوارهای تداخلی تنظیم کنیم، روش مدرج کردن تداخل سنج فابری - پرو چگونه است، چگونه می‌توان اختلاف دو طول موج نزدیک به هم (مثلاً دو طول موج زرد سدیم) را به دست آورد.

تداخل سنج چسیت؟

تداخل‌سنج دستگاهی است که از یک پرتو تک فام دو پرتو تهیه کرده و آنها را با هم تداخل می‌دهد. نحوه کار آن بستگی به نوع سیستم تداخل سنج دارد. از تداخل سازنده دو موج نقاط یا مناطق روشن و از تداخل ویرانگر آنها نقاط یا مناطق تاریکی ایجاد می‌شود. که به آنها نوارهای تداخلی روشن و تاریک گفته می‌شود. با استفاده از این نوارهای تداخلی می‌توان هرگونه تغییر در طول موج نور ورودی را مشاهده نمود و بعضی از کمیت‌های اپتیکی را اندازه‌گیری نمود.

تنظیم دستگاه تداخل سنج فابری- پرو برای مشاهده نوارهای تداخلی

برای تنظیم دستگاه تداخل سنج و مشاهده نوارهای تداخلی مراحل زیر را انجام دهید:

لامپ سدیم را به منبع تغذیه مربوطه وصل و روشن کنید تا گرم شود. سپس در وسط یک ورقه کوچک کاغذ سوراخی ایجاد کرده و آن را در مقابل لامپ سدیم قرار دهید. لامپ را در فاصله نسبتاً دور از آینه‌های تداخل سنج قرار دهید (حدود یک متر یا بیشتر) و عدسی جلوی آینه‌ها را بردارید. با پیچاندن پیچ‌های تنظیم آینه ثابت تداخل سنج به حالتی برسید که تصاویر متعدد سوراخ به یکدیگر منطبق شوند. این کار را تا حد ممکن دقیق انجام دهید. کاغذ را از مقابل لامپ بردارید. در صورتی که تنظیم خوبی انجام داده باشید باید نوارهای تداخلی و یا حداقل قسمتی از آنها را مشاهده کنید. با تنظیم دقیق تر پیچ‌های تنظیم آینه، وضوح نوارهای تداخلی را بهبود بخشید. با دقت و به آهستگی به طوری‌که آینه تکان نخورد عدسی دستگاه را بر روی آینه، و دوربین تداخل سنج در محل مربوطه نصب نموده و در آن نگاه کنید و با جا به جا کردن عدسی چشمی دوربین بهترین تصویر را برای مشاهده به وجود آورید. حال اگر پیچ میکرومتری دستگاه را به آهستگی بچرخانید، تولید یا محو شدن نوارهای تداخلی در مرکز را به خوبی مشاهده خواهید کرد.

مدرج کردن تداخل سنج

برای مدرج کردن تداخل سنج باید مشخص کنیم که به ازای یک میلی‌متر تغییر پیچ میکرومتری چه مقدار آینه متحرک و نیمه نقره اندود را در تداخل سنج جابه جا می‌کند برای این کار به ترتیب زیر عمل کنید.

محو و یا ظاهر شدن نوارهای تداخلی را ده تا ده تا شمارش کنید و بعد از هر ده شمارش درجه پیچ میکرومتری را یادداشت کنید و مشخص کنید پیچ میکرومتری به ازای هر ۱۰۰ نوار تداخلی به چه میزان تغییر می‌کند. این

محاسبه را چندین بار انجام دهید و بین آنها میانگین بگیرید.

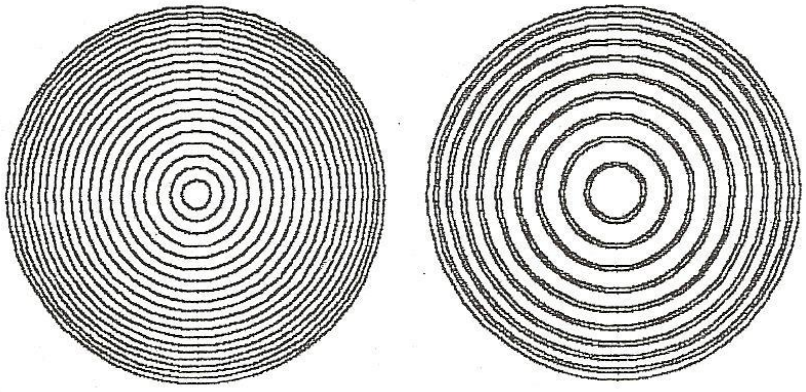
آینه نیمه نقره اندود به ازای محو یا ظاهرشدن یک نوار به اندازه $\frac{\lambda}{2}$ جا به جا می‌شود که میانگین طول موج زرد سدیم و برابر با $\lambda = 5893\mathring{A}$ می‌باشد. لذا آینه نیمه نقره اندود به ازای ۱۰۰ نوار تداخلی به اندازه $d = 100\frac{\lambda}{2}$ جا به جا خواهد شد که با یک تناسب ساده می‌توان جابه جایی آینه را به ازای یک میلی متر تغییرمکان پیچ میکرومتری به صورت زیر به دست آورد:

جابه جایی آینه‌ها	تغییر میکرومتر
$100\frac{\lambda}{2}$	$\Delta d(mm)$
α	$1(mm)$

که از این تناسب $\alpha = \frac{50\lambda}{\Delta d}$ به دست می‌آید و به این ترتیب تداخل سنج مدرج شده است.

تعیین اختلاف دو طول موج سدیم

پس از آنکه دستگاه را برای ایجاد نوارهای تداخلی تنظیم نمودید، پیچ میکرومتری را به آرامی بچرخانید، ملاحظه خواهید کرد که نوارهای تداخلی در بعضی مواقع به صورت جفت جفت ظاهر می‌گردند (شکل۴-۳ الف). با چرخاندن بیشتر پیچ میکرومتری وضعیت نوارها تغییر نموده، فواصل آنها منظم‌تر شده و نوارهای طول موج λ_1 کاملاً در وسط نوارهای طول موج λ_2 قرار می‌گیرند (شکل۴-۳ ب).



شکل۴-۳ الف شکل۴-۳ ب

وقتی که حالت کاملاً منظمی را مشاهده کردید، عدد میکرومتر را قرائت و یادداشت کنید. حال به چرخاندن میکرومتر در همان جهت قبل ادامه دهید ملاحظه خواهید کرد که نظم قبلی از بین رفته و مجدداً فاصله نوارها به صورت تناوبی کم و زیاد می‌شود و موقعیتی می‌رسید که نوارهای دوتایی به تک نوارها تبدیل می‌گردند (نوارهای λ_1 و λ_2 بر هم منطبق می‌شوند)

باز هم پیچ میکرومتر را آنقدر بچرخانید تا نوارهای مزبور مجدداً از یکدیگر جدا شده و کاملاً بین هم قرار بگیرند در این حالت نیز مجدداً پیچ میکرومتر را قرائت و یادداشت کنید. این روش را چندین بار تکرار کنید و در هر مرحله پیچ میکرومتر را قرائت و یادداشت کنید. چون قبلاً دستگاه را مدرج کرده‌اید با استفاده از آن تغییر فاصله آینه‌ها به ازای جا به جایی میکرومتر را برای هربار بین هم افتادگی نوارها محاسبه کنید.

(تفاضل مقادیر پیچ میکرومتری آن) = جا به جایی آینه‌ها برای دو حالت متوالی بین هم قرارگرفتن نوارها سپس از این جابه‌جایی‌های به دست آمده میانگین بگیرید و جا به جایی آینه‌ها در تداخل سنج را به ازای دو وضعیت مشابه از دو سری نوار تداخلی مربوطه به λ_1 و λ_2 از منبع سدیم را به دست آورید Δd . حال با استفاده از رابطه

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{\Delta d} \qquad (9)$$

اختلاف طول موج‌های λ_1 و λ_2 سدیم را به دست آورید. λ در این رابطه ۵۸۹۳ انگستروم می‌باشد.

۵

آشنایی با مواد مغناطیسی

گشتاور مغناطیسی

خاصیت مغناطیسی یک ماده به اندازه گشتاور مغناطیسی اتم های تشکیل دهنده آن ماده و چگونگی برهم کنش گشتاورهای مغناطیسی اتم های همسایه با یک دیگر مربوط می شود. در این جا به طور خلاصه به جزئیات این موضوع خواهیم پرداخت. گشتاور مغناطیسی یک اتم، یون و یا مولکول از جمع برداری گشتاور مغناطیسی اسپینی، $\vec{\mu}_s$، و گشتاور مغناطیسی مداری، $\vec{\mu}_l$، به دست می آید:

$$\vec{\mu} = \vec{\mu}_l + \vec{\mu}_s \qquad ۱$$

گشتاور مغناطیسی مداری توسط رابطه زیر از تکانه زاویه ای مداری، $\vec{L}$ ، به دست می آید:

$$\vec{\mu}_l = -\frac{e g_l}{2m_e c}\,\vec{L} \qquad ۲$$

و گشتاور مغناطیسی اسپینی توسط رابطه زیر از تکانه زاویه ای ذاتی، $\vec{S}$ ، تعیین می شود:

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e g_S}{2m_e c}\,\vec{S} \qquad ۳$$

در روابط (۲) و (۳)، m_e جرم الکترون، c سرعت نور، $g_l = 1$ و $g_S = 2$ می باشند. گشتاور مغناطیسی کل اتم بر حسب تکانه زاویه ای کل $\vec{J}$ که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \qquad ۴$$

به صورت زیر نوشته می شود:

$$\vec{\mu} = -\frac{eg}{2m_e c}\vec{J} \qquad ۵$$

که در آن g به صورت زیر است:

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \qquad ۶$$

بنابراین پیدا کردن گشتاور مغناطیسی یک اتم و یا یون به تعیین اندازه تکانه زاویه ای اسپینی و مداری کل الکترون های آن بر می گردد. در مغناطیس اندازه تکانه زاویه ای اسپینی و مداری الکترون ها در یک اتم با استفاده از جفت شدگی راسل-ساندرز تعیین می شود. در جفت شدگی راسل-ساندرز اسپین الکترون ها با یک دیگر جمع می شوند و اسپین کل S را نتیجه می دهند، تکانه زاویه ای مداری الکترون ها نیز با یکدیگر جمع شده و تکانه زاویه ای مداری کل L را نتیجه می دهند، در نهایت تکانه زاویه ای کل J از ترکیب L و S به دست می آید. از آنجایی که آرایش متفاوت الکترون ها می تواند به مقادیر مختلف S و L منجر شود، بنابراین نکته مهم در تعیین اندازه تکانه زاویه ای اسپینی و مداری کل الکترون ها، شیوه آرایش الکترون ها در اوربیتال های اتمی است. نحوه چینش الکترون ها در اوربیتال های اتمی توسط قوانین هوند مشخص می شود که در ذیل به آنها خواهیم پرداخت.

قواعد هوند

هوند با مطالعه بر روی طیف اتم ها، به سه قانون دست یافت که پیشگویی گشتاور مغناطیسی اتم های آزاد یا یون ها در حالت پایه شان را ممکن می سازد. این قوانین به صورت زیر می باشند:

۱-الکترون ها به گونه ای در یک اوربیتال قرارمی گیرند که اسپین کل آنها، $S = \sum m_{S_i}$ ، با رعایت اصل طرد پائولی بیشینه باشد.

۲-الکترون ها به گونه ای در یک اوربیتال قرار می گیرند که تکانه زاویه ای کل آنها ،$L = \sum m_{l_i}$ ، با رعایت قانون اول بیشینه باشد.

۳-برای یک اوربیتال که به طور کامل پر نشده است، اگر اوربیتال کمتر از نصف پر شده باشد،$J = L - S$ است و اگر بیشتر از نصف پر شده باشد،$J = L + S$است.

از قوانین یک و دو مشخص می شود که برای یک اوربیتال کاملاً پر، S و L هر دو صفر هستند و داریم:

$$\vec{\mu} = 0 \qquad ۷$$

بنابراین تنها اوربیتال های در حال پر شدن در گشتاور مغناطیسی اتم ها سهم خواهند داشت و یک اوربیتال کاملاً پر هیچ سهمی در گشتاور مغناطیسی اتم نخواهد داشت.

بیشتر اتمهای آزاد و یونها یک اوربیتال دارند که به طور کامل پرنشده است و بنابراین دارای گشتاور مغناطیسی دائمی هستند. البته همان طورکه می دانیم معمولاً اتمها در ترکیب ظاهر می شوند و بنابراین باید آرایش آنها را در ترکیب در نظر گرفت. به عنوان مثال در ترکیب های یونی، اتم ها به آرایش کامل می رسند. بنابراین یون ها در ترکیب های یونی هیچ گشتاور مغناطیسی را با خود حمل نمی کنند.

درتعدادی از عناصر، الکترونها لایه های با n (عدد کوانتومی اصلی) بالاتر را قبل از این که همه لایه های ممکن با n پائین تر پر شوند، پر می کنند. مثلاً در گروه آهن اوربیتال 4s قبل از 3d پر می شود و در لانتانیدها اوربیتال های 6s ، 5p و 5s قبل از اوربیتال 4f پرمی شوند. الکترون های اوربیتال های لایه خارجی و یک یا دو الکترون از اوربیتال لایه داخلی که به طور کامل پر نشده است الکترون های ظرفیت هستند و در پیوندها شرکت می کنند و الکترونهای باقیمانده در اوربیتال لایه داخلی باعث ایجاد یک گشتاورمغناطیسی دائمی برای اتم مورد نظر می شوند. بنابراین گشتاور مغناطیسی اتم های خاکی های کمیاب و عناصر واسطه به ترتیب ناشی از پوسته 4f و3d اتم های این گروه ها می باشد. البته همان طور که قبلا ذکر شد معمولاً اتمها در ترکیب ظاهر می شوند و بنابراین باید آرایش آنها را در ترکیب در نظر گرفت. در واقع در یک ترکیب به علت هیبریدشدگی بین اوربیتال های اتم های مختلف، تعداد الکترون های اوربیتال های 4f و3d اتم ها در ترکیب و اتم ها در حالت آزاد متفاوت است و در نتیجه معمولا گشتاور مغناطیسی اندازه گیری شده و گشتاور مغناطیسی حاصل از به کارگیری قوانین هوند متفاوت است. به هر حال در مورد خاکی های کمیاب با توجه به این که الکترون های اوربیتال 4f کاملا جایگزیده هستند و با دیگر الکترونهای ظرفیت هیبرید نمی شوند، آرایش الکترونی اوربیتال 4f اتم در ترکیب تقریبا با آرایش الکترونی اوربیتال 4f اتم آزاد مشابه است و می توان قواعد هوند را برای تعیین گشتاور مغناطیسی لانتانید ها در ترکیب به کار برد .

دسته بندی مواد مغناطیسی

مواد مغناطیسی از نظر برهم کنش بین گشتاورهای مغناطیسی اتمها به دو دسته کلی تقسیم می شوند:

۱-برهم کنشی بین گشتاور های مغناطیسی وجود ندارد و این گشتاورها به طور مستقل از یکدیگر عمل می کنند. مانند پارا مغناطیس ها که جز این دسته محسوب می شوند.

۲-بین گشتاور های مغناطیسی برهم کنش وجود دارد و گشتاور های های مغناطیسی با هم جفت می شوند و در نتیجه در این مواد یک نظم مغناطیسی شکل می گیرد که ناشی از برهم کنش بین گشتاورها است. این دسته به دو گروه مواد مغناطیسی خطی و غیرخطی تقسیم می شود.

مواد مغناطیسی خطی شامل فرومغناطیس ها، پادفرومغناطیس ها و فری مغناطیس ها می باشد و موادمغناطیس غیرخطی شامل فرومغناطیس مورب، پادفرومغناطیس مورب و فری مغناطیس مورب و موج اسپینی می شود.

پارامغناطیس ها

در مواد پارامغناطیس، یک اتم، مولکول و یا یون دارای گشتاور مغناطیسی دائمی است اما برهم کنشی بین گشتاورهای مغناطیسی وجود ندارد و توزیع این گشتاورها کاملاً کاتوره ای و مستقل از یکدیگر است.

این مواد دارای پذیرفتاری مغناطیسی مثبت هستند، به این معنا که با اعمال میدان مغناطیسی گشتاورهای مغناطیسی درجهت میدان جهت گیری می کنند. بنابراین نظم مغناطیسی دراین مواد تنها با اعمال میدان مغناطیسی خارجی امکان پذیراست .

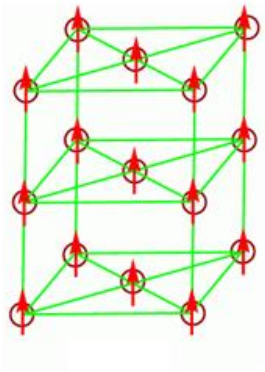
فرومغناطیس ها

در یک ماده فرومغناطیس، در یک یاخته مغناطیسی تمام گشتاور های مغناطیسی اتم ها در یک جهت قرار دارند و بنابراین یک یاخته مغناطیسی دارای مغناطش خودبه خودی است.

در فرومغناطیس ها، J مثبت است و بنابراین اگر اسپین ها موازی باشند انرژی کمتر از زمانی است که اسپین ها درخلاف جهت هم باشند:

$$H^{\uparrow\uparrow} = -\mathrm{J}\sum_{<i,j>} \vec{S}_i \,.\, \vec{S}_j < \mathrm{H}^{\uparrow\downarrow} \qquad ۸$$

یعنی در دستگاه های فرومغناطیس، برهم کنش تبادلی بین یون های مغناطیسی همسایه سبب هم جهت شدن اسپین ها با هم می شود تا انرژی کل کمینه شود.



شکل۱ : آرایش گشتاور مغناطیسی اتم ها در یک یاخته فرومغناطیسی.

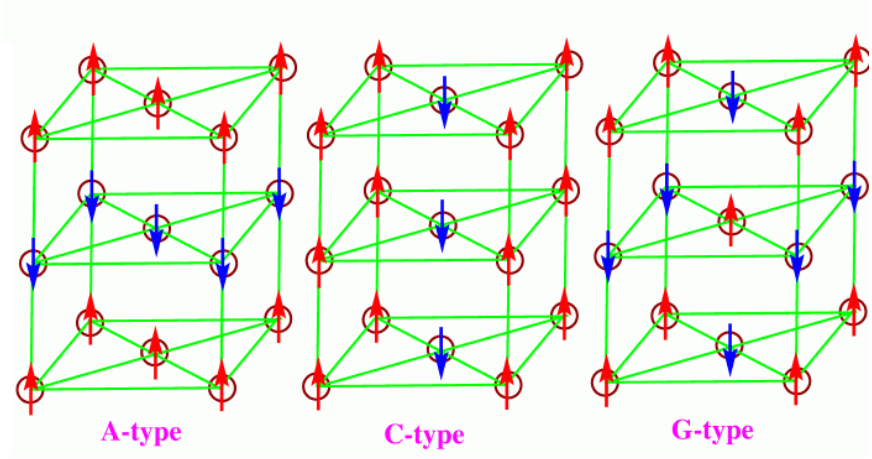
پادفرومغناطیس ها

دریک ماده پادفرومغناطیس، گشتاورمغناطیسی کل یاخته مغناطیسی صفر است. درساده ترین حالت می توان تصور کردکه در یک ماده پادفردمغناطیس یک یاخته مغناطیسی از دو زیر شبکه با گشتاو های موازی و در خلاف جهت یک دیگر تشکیل شده است، به طوری که گشتاور مغناطیسی کل یاخته مغناطیسی صفر است. بنابراین یک ماده پادفرو مغناطیس هیچ مغناطش خودبه خودی ندارد. بسته به آرایش مختلف گشتاورها در یک یاخته مغناطیسی، به پادفرومغناطیس ها نام های مختلفی داده اند که به پادفرومغناطیس نوع A و G و C شهرت دارند. آرایش گشتاورهای مغناطیسی در یک یاخته مغناطیسی در انواع پادفرومغناطیس ها در شکل ۲ آورده شده است.

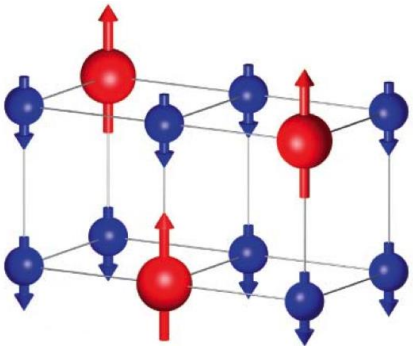
در پادفرومغناطیس ها J منفی است و بنابراین اگر اسپین ها پادموازی قرار بگیرند انرژی کمتری خواهیم داشت:

$$H^{\uparrow\downarrow} = -\mathrm{J}\sum_{<i,j>} \vec{S}_i \,.\, \vec{S}_j < \mathrm{H}^{\uparrow\uparrow} \qquad ۹$$

یعنی در دستگاه های پادفرومغناطیس، برهم کنش تبادلی بین یون های مغناطیسی همسایه سبب می شود که اسپین ها در خلاف جهت یکدیگر قرار گیرند تا انرژی کل کمینه شود. بنابراین علت موازی یا پاد موازی قرار گرفتن اسپین ها به J برمی گردد.



شکل۲ : آرایش گشتاورمغناطیسی اتم ها در یک یاخته پادفرومغناطیس



شکل۳: آرایش گشتاورمغناطیسی اتم ها در یک یاخته فری مغناطیس

فری مغناطیس ها

درمواد فری مغناطیس، گشتاورهای مغناطیسی در یاخته مغناطیسی در خلاف جهت هم قرار دارند اما به یک اندازه نیستند، بنابراین یاخته مغناطیسی دارای یک مغناطش خالص است. آرایش گشتاورهای مغناطیسی در یک یاخته فری مغناطیس در شکل (۳) آورده شده است.

خاصیت دیامغناطیس

وقتی یک ماده در میدان مغناطیسی قرارمی گیرد، اگر یک الکترون منفرد را در یک اتم این ماده در نظر بگیریم شار مغناطیسی حلقه جریان مربوط به حرکت الکترون در اطراف هسته افزایش می یابد . طبق قانون القای فارادی نیروی محرکه ای القاء می شود و جریانی به واسطه این نیروی محرکه ایجاد می شود که طبق قانون لنز با عامل به وجود آورنده آن مخالف می کند:

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt} \qquad ۱۰$$

در این رابطه φ شار مغناطیسی و ε نیروی محرکه القایی است. اگر این موضوع را برای همه الکترون های یک اتم در نظر بگیریم می توان گفت میدان مغناطیسی در هر اتم گشتاور دوقطبی مغناطیسی القاء می کند که در خلاف جهت میدان مغناطیسی اعمال شده است، به این خاصیت، خاصیت دیامغناطیسی گویند و چون همه مواد دارای الکترون های در حال حرکت هستند، لذا در همه مواد چه آنهایی که گشتاور مغناطیسی دائمی ندارند و چه آنهایی که دارای گشتاور مغناطیسی دائمی هستند خاصیت دیامغناطیس وجود دارد. در موادی که گشتاور مغناطیسی دائمی دارند مانند پارامغناطیس ها، فرومغناطیس ها ، پادفرو مغناطیس ها و فری مغناطیس ها، چون مقدار این گشتاور دوقطبی مغناطیسی القایی نسبت به گشتاور مغناطیسی دائمی این مواد کوچک است از آن صرف نظر می شود، اما این خاصیت در موادی که دارای گشتاور

دوقطبی مغناطیسی دائمی نیستند، مثل اتم هایی که پوسته های الکترونی کاملاً پردارند و بنابراین هیچ گشتاور مغناطیسی دائمی ندارند به راحتی قابل آشکار سازی است و به این علت معمولاً به این مواد دیامغناطیس گفته می شود. به عنوان مثال $NaCl$ یک دیامغناطیس است. ضمناً علت این که این مواد دارای پذیرفتاری مغناطیسی منفی هستند این است که گشتاورهای دوقطبی مغناطیسی القایی کاملاً درجهت مخالف میدان قراردارند.

میدان مغناطیسی در مواد مغناطیسی

فرض کنید که یک جسم همگن با حجم V در میدان مغناطیسی یکنواخت با شدت $\vec{H}$قرار گیرد. در اثر میدان جسم مغناطیده می شود و مغناطش حاصل به صورت زیر است:

$$\vec{M} = \lim_{\Delta v \to 0} \frac{\sum_i \vec{m}_i}{\Delta v}$$

که در آن $\vec{m}_i$ گشتاور مغناطیسی i امین اتم است. در صورتی که جسم نامغناطیده باشد چون جهت $\vec{m}_i$ ها کاملا کتره ای است مجموع $\sum_i \vec{m}_i$ صفر می شود و در نتیجه مغناطش حاصل صفر خواهد بود.

در اجسام مغناطیسی همگن $\vec{M}$ موازی یا پادموازی با $\vec{H}$ می باشد. پذیرفتاری مغناطیسی که کمیتی بدون بعد است به صورت زیر تعریف می شود:

$$\chi = \frac{\vec{M}}{\vec{H}}$$

یا

$$\vec{M} = \chi \vec{H}$$

میدان مغناطیسی کل به صورت زیر است:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0(\vec{H} + \chi\vec{H}) = \mu_0(1 + \chi)\vec{H} = \mu\vec{H}$$

که در آن μ که به صورت

$$\mu = \mu_0(1 + \chi)$$

تعریف شده است تراوایی مغناطیسی است که به دما، شدت و فرکانس میدان وابسته است.

خواص مغناطیسی جامدات

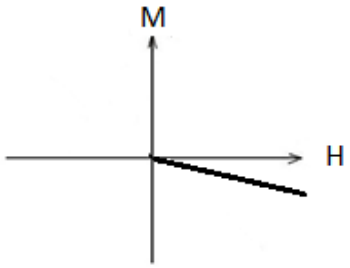
کلیه مواد جامد را می توان با توجه به اندازه و علامت پذیرفتاری مغناطیسی آنها می توان به سه گروه بزرگ دیامغناطیس ها، پارامغناطیس ها و فرومغناطیس ها طبقه بندی نمود. در جدول ۱ به عنوان نمونه پذیرش مغناطیسی مواد دیامغناطیس، پارامغناطیس و دیامغناطیس داده شده است.

جدول۱:پذیرش مغناطیسی مواد دیامغناطیس، پارامغناطیس و دیامغناطیس

فرومغناطیس ها		پارامغناطیس ها		دیامغناطیس ها	
Fe	1000	CaO	580×10^{-5}	Bi	-18×10^{-5}
Ni	150	Pt	26×10^{-5}	Cu	-0.9×10^{-5}
Co	240	Al	2.2×10^{-5}	Ge	-0.8×10^{-5}
				Si	-0.3×10^{-5}

مواد دیامغناطیس

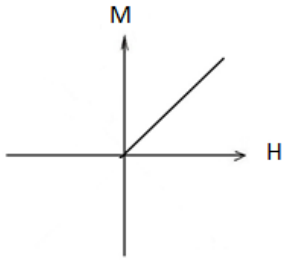
برای مواد دیامغناطیس اندازه پذیرفتاری مغناطیسی بسیار کوچکتر از یک $(|\chi| \ll 1)$ و علامت آن منفی و مستقل از شدت میدان مغناطیسی خارجی و دما است. مواد دیامغناطیس در خلاف جهت میدان مغناطیده می شوند و بنابراین به همین دلیل از منطقه قویتر میدان خارجی به بیرون رانده می شوند. وابستگی مغناطش به شدت میدان خارجی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل۴

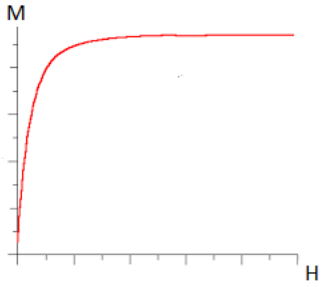
مواد پارامغناطیس

برای مواد دیامغناطیس اندازه پذیرفتاری مغناطیسی بسیار کوچکتر از یک $(|\chi| \ll 1)$ می باشد اما بر خلاف دیامغناطیس ها دارای علامت مثبت می باشد. مواد پارامغناطیس در جهت میدان خارجی مغناطیده می شوند و به داخل مناطقی که شدت میدان بیشینه است کشیده می شوند. وابستگی مغناطش به شدت میدان خارجی در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل۵

همان طور که شکل های ۴و ۵نشان می دهد برای مواد دیامغناطیس و پارامغناطیس M با H متناسب است که نشان دهنده مستقل بودن پذیرفتاری مغناطیسی از شدت میدان مغناطیسی است. ضمنا برای پارامغناطیس ها این امر فقط برای میدان های ضعیف و دماهای بالا صادق است. در میدان های قوی و دماهای پایین منحنی M بر حسب H به یک قدار حدی مجانب می شود که نشانه اشباع ماده پارامغناطیس است.

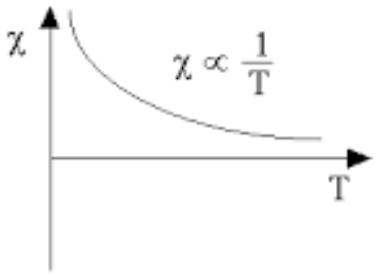


شکل۶

پذیرفتاری مغناطیسی مواد پارامغناطیس به دما وابسته است که این امر اولین بار توسط پیر کوری مورد مطالعه قرار گرفت. او نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی ماده پارامغناطیس با دما به صورت زیر تغییر می کند:

$$\chi = \frac{C}{T}$$

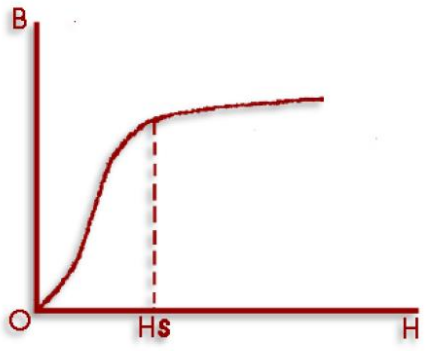
رابطه فوق به قانون کوری شهرت دارد و در آن T دمای مطلق ماده پارامغناطیس و C مقدار ثابتی است که به طبیعت آن ماده بستگی دارد و ثابت کوری شهرت دارد.



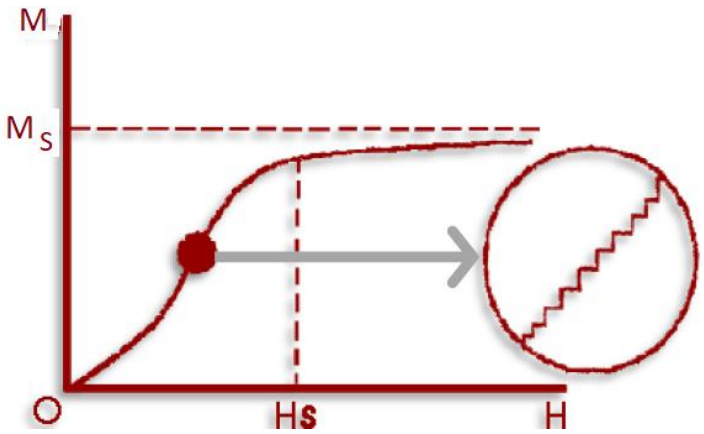
شکل۷

مواد فرومغناطیس

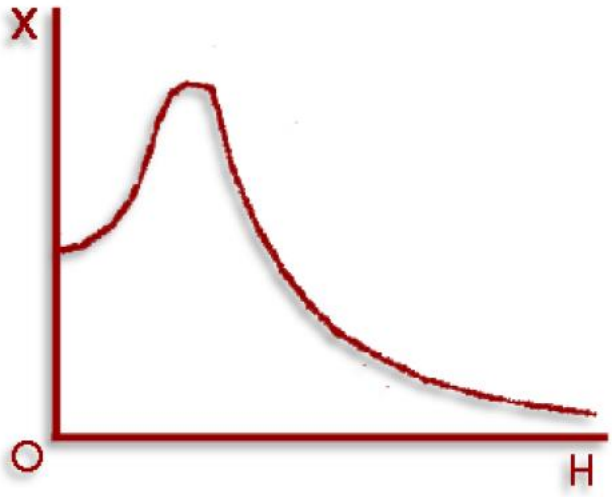
مواد فرومغناطیس دارای پذیرفتاری مغناطیسی مثبت می باشند. اندازه پذیرفتاری مغناطیسی مواد فرومغناطیس به مراتب از اندازه پذیرفتاری مغناطیسی پارامغناطیس ها بزرگ تر است. آهن از مشهورترین مواد فرومغناطیس است و نیکل، کبالت و برخی از فلزات خاکی های کمیاب مانندگادولینیوم، دیسپرسیوم، هلمیوم و اوربیم نیز از مشهورترین مواد فرومغناطیس هستند. ارتباط القای مغناطیسی و شدت میدان مغناطیسی، ارتباط بین مغناطش و شدت میدان مغناطیسی و ارتباط بین پذیرفتاری مغناطیسی و شدت میدان مغناطیسی برای آهن نرم به ترتیب در شکل های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است. همان طور که شکل ۸ نشان می دهد القای مغناطیسی و مغناطش ابتدا با اضافه شدن شدت میدان مغناطیسی به سرعت افزایش می یابند و سپس سرعت افزایش آنها کاهش یافته و در یک شدت H_s در حوالی مقدار بیشینه مغناطش M_s متوقف می گردد. همانطور که نمودار نشان می دهد هرگونه افزایش اضافی دیگر مربوط به افزایش در شدت میدان مغناطیسی است. این حالت نشان دهنده اشباع تکنیکی فرومغناطیس است زیرا در این حالت پذیرفتاری مغناطیسی به صفر میل می کند (شکل ۸).



شکل۸



شکل۹



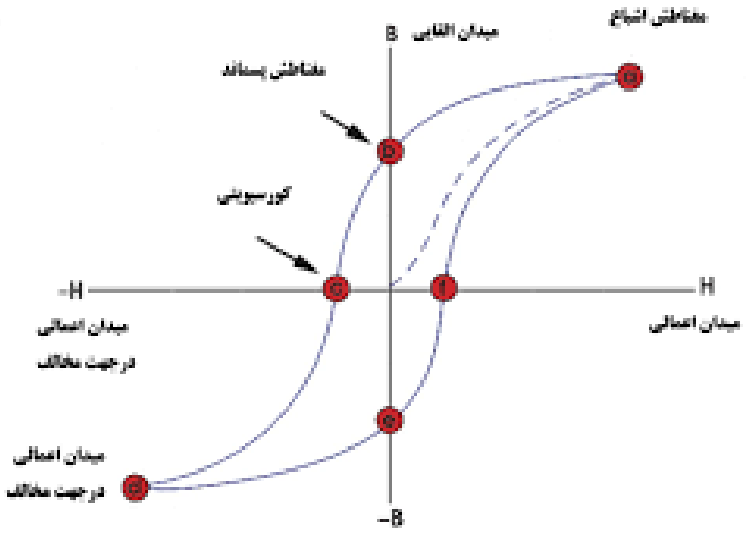
شکل۱۰

مطالعه دقیق منحنی مغناطش نشان می دهد که به تدریج که به شدت میدان مغناطیسی اضافه می شود مغناطش به صورت پیوسته افزایش نمی یابد بلکه به صورت پله ای زیاد می شود. این امر مخصوصا در منطقه ای که شیب منحنی مغناطیدگی بیشتر است بهتر ظاهر می گردد. این بخش از منحنی تعداد زیادی پله را شامل می شود که هر یک از پرش ها مربوط به تغییرات پیوسته مغناطش با افزایش پیوسته شدت میدان مغناطیسی را بیان می کند. این طبیعت افزایش پله ای فرایند مغناطیدگی اثر بارک هاوزن نام دارد و اولین بار توسط هانریش بارک هاوزن کشف شد.

منحنی هیستریسس مواد فرومغناطیس

هیستریسس در اصل یک لغت یونانی است که در فیزیک به این صورت تعریف می شود: دو کمیت A و B را در نظر بگیرید به طوری که تغییرات چرخشی در در A موجب تغییر چرخشی در B گردد. اگر به هر دلیلی تغییرات A از تغییرات B عقب بیفتد گفته می شود در روابط بین A و B هیستریسس وجود دارد.

یکی از بارزترین ویژگی های مواد فرومغناطیس، منحنی مغناطیدگی یا چرخه پسماند یا همان منحنی هیستریسس آنهاست که در آن تغییرات مغناطش جسم بر حسب شدت میدان مغناطیسی خارجی رسم می شود. مواد مغناطیسی از حوزه های مغناطیسی تشکیل شده اند و هر حوزه دارای یک گشتاور مغناطیسی مغناطیسی خالص است. با توجه به اینکه گشتاور مغناطیسی حوزه های مختلف در جهت های مختلف سمت گیری می کنند بنابراین گشتاور مغناطیسی برآیند نمونه صفر است. حال اگر مواد فرومغناطیس را در یک میدان مغناطیسی خارجی قرار دهیم و شدت میدان را به تدریج افزایش دهیم ابتدا حجم حوزه هایی که گشتاور مغناطیسی آنها با میدان هم جهت و یا تقریبا هم جهت است زیاد می شود و با افزایش شدت میدان گشتاور مغناطیسی حوزه های مغناطیسی دیگر نیز چرخیده و در جهت میدان سمتگیری می کنند و سرانجام در یک میدان مغناطیسی نسبتا قوی گشتاور مغناطیسی تمام حوزه ها با میدان مغناطیسی هم جهت می شوند و کل نمونه به صورت یک تک حوزه مغناطیسی در می آید. این حالت اشباع مغناطیسی ماده فرومغناطیس را نشان می دهد. در عمل به جای رسم منحنی M-H منحنی B-H را رسم می کنند. نقطه a در شکل ۱۱اشباع مغناطیسی ماده فرومغناطیس را نشان می دهد. اکنون اگر میدان مغناطیسی خارجی را به تدریج کاهش دهیم گشتاور مغناطیسی حوزه های مغناطیسی به حالت اولیه خود باز نمیگردد، یعنی در غیاب میدان مغناطیسی، مغناطش ماده صفر نمی شود و به عبارتی ماده از خود پسماند مغناطیسی نشان می دهد (نقطه b). به مغناطش در میدان صفر مغناطش پسماند گفته می شود. در عمل برای صفر کردن مغناطش بایستی یک میدان در خلاف جهت اعمال کرد. به اندازه میدانی که در آن مغناطش صفر می شود نیروی کورسیو یا نیروی وادارندگی گفته می شود (نقطه c). اگر اعمال میدان در جهت مخلف ادامه یابد در نهایت ماده در جهت مخالف مغناطیده می شود (نقطه d) و هنگامی که میدان اعمالی در جهت مخالف را به صفر می رسانیم مغناطش حاصل از آن صفر نمی شود (نقطه e) و برای صفر شدن آن بایستی مجدد میدان را در جهت مخالف اعمال کرد (نقطه f).


B
میدان القایی
مغناطش اشباع
مغناطش پسماند
کوئرسیونی
-H
H
میدان اعمالی
در جهت مخالف
میدان اعمالی
-B

شکل۱۱

۶

آزمایش بررسی تاثیر میدان مغناطیسی بر مواد (پارا- دیا- فرو) مغناطیس آهن – نیکل – روی – آلومینیوم – مس-بیسموت

شکل ۱

هدف آزمایش: بررسی تاثیر میدان مغناطیسی بر مواد (پارا- دیا- فرو) مغناطیس

تیوری آزمایش

در این آزمایش اثر میدان مغناطیسی بر روی مواد مختلف مشاهده و بررسی میگردد بدین منظور از میدان مغناطیسی قوی استفاده میگردد.

وسایل آزمایش

این مجموعه شامل وسایل و دستگاههای ذیل می باشد :

۱ – ترانسفورماتور اصلی با میله های نگهدارنده و دو عدد هسته آهنی متحرک

شکل۲

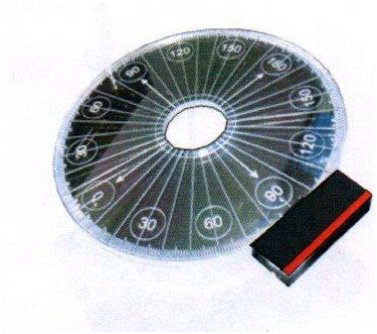
۲ – منبع تغذیه متغییر AC/DC Power Supply با توان 8A 0-220V مدل AS_W8N

شکل ۳

۳ – کلید تغییر جهت پلاریته به همراه آمپرمتر آنالوگ

شکل۴

۴ – نمایشگر نوری مدرج ۳۶۰ درجه برای اندازه گیری میدان چرخش جسم فلزی در میدان مغناطیسی



شکل۵

۵ – چند نمونه قطعه فلزی (آهن – نیکل – روی – آلومینیوم – مس-بیسموت)

روش انجام آزمایش

۱ – دو شاخه منبع تغذیه را به پریز برق وصل نمایید.

۲ – دو شاخه دستگاه منبع تغذیه بنحوی به پریز برق متصل گردد که پایه با نشان قرمز به فاز وصل شود.

۳ – سیم ارت دستگاه را متصل نمایید (اتصال سیم ارت به دستگاه ضروری است).

۴ – در این مرحله ولوم بالای منبع تغذیه روی صفر بوده و دستگاه خاموش می باشد.

۵ – دو شاخه دستگاه کلید تغییر جهت را به پریزDC منبع تغذیه متصل نمایید.

۶ – پریز AC منبع تغذیه در این آزمایش استفاده نمی شود.

۷ – سوکت دو پین سیاه رنگ طرف دیگر دستگاه تغییر جهت را به ورودی ترانس متصل نموده و پیچ آن محکم بسته شود زیرا اتصال ناقص باعث جرقه زدن و داغ شدن آن می شود.

۸ – دو عدد هسته متحرک ترانس را در بالای ترانس (زیر صفحه نگهدارنده) قرار دهید.

۹ – اتصالات بالای ترانس مطابق شکل زیر بسته شده و پیچها محکم شود.

شکل ۶

۱۰ – دقت نمایید ، چهار عدد مهره صفحه مشکی نگهدارنده اگر خیلی محکم بسته شود ، باعث خم شدن صفحه میگردد و اگر شل بسته شود ، در میدان های مغناطیسی خیلی زیاد هسته های ترانس حرکت کرده و به هم کوبیده می شوند.

۱۱ – نمایشگر نوری مدرج را در بالای صفحه نگهدارنده گذاشته و به برق متصل گردد تا روشن شود.

۱۲ – اکنون یکی از مواد مورد آزمایش را به نخ متصل نموده و به نحوی آویزان نمایید که کاملا در فاصله مابین دو هسته متحرک ترانس قرار گیرد.

۱۳ – هسته های ترانس نباید با مواد مورد آزمایش تماس داشته باشند.

۱۴ – کلید دستگاه تعییر جهت را در یک طرف (چپ و یا راست) قرار دهید.

۱۵ – اکنون با رعایت کلیه موارد ایمنی ، دستگاه منبع تغذیه را روشن کرده و با چرخانده ولوم بالای آن شدت میدان مغناطیسی ما بین دو هسته را افزایش دهید.

در استفاده از این مجموعه رعایت موارد ذیل بسیار ضروری می باشد:

از کلید تغییر پلاریته مدار فقط در حالت ولتاژ صفر استفاده شود و هرگز در زمان جریاندهی وضعیت این کلید تغییر داده نشود.

در طول آزمایش دمای سیمهای رابط و ترانس چک شده و در صورت خیلی داغ بودن آنها ، برای چند دقیقه دستگاه خاموش شده تا خنک شود (داغ شدن ترانس به جهت عبور جریان زیاد تا حدی عادی است).

توان عادی ترانس حدود ۱۳ ولت و ۲,۵ آمپر می باشد ولی برای چند لحظه میتوان به دستگاه توان بالاتر حدود ۲۳ ولت و ۱۰ آمپر داد تا عملکرد میدان مغناطیسی خیلی قوی را مشاهده کرد.

منبع تغذیه دارای فیوز مینیاتوری آبی رنگ می باشد که در جریانهای غیرمجاز عمل میکند.

صفحه مدرج نورانی محاسبه میزان چرخش از جنس پلکسی گلاس بوده و شکننده است. از ضربه زدن شدید به آن خودداری شود.

هر بار که بخواهید منبع تغذیه را روشن و یا خاموش نمایید، می بایست قبلا ولوم آن درحالت صفر قرار دهید در غیر این صورت، خاصیت سلفی بالای ترانس باعث ایجاد تنش در مدار می شود.

۱۶ – عملکرد مواد مختلف را در میدان مغناطیسی مشاهده نموده و مقایسه نمایید.

۱۷ – بمنظور تغییر جهت دادن به میدان مغناطیسی، بصورت زیر عمل نمایید:

ولوم منبع تغذیه را صفر کرده و سپس خاموش نمایید.

کلید تغییر چهت را در طرف دیگر قرار دهید (در حالت وسط خاموش است).

منبع تغذیه را روشن کرده و ولتاژ آن را زیاد نمایید.

اکنون میدان مغناطیسی برعکس حالت قبل دارید.

۱۸ – به وسیله نمایشگر نوری مدرج میتوانید میزان چرخش بعضی از مواد در میدان مغناطیسی را اندازه گیری نمایید . کدام مواد این حالت را دارند ؟

۷

آزمایش بررسی رسانندگی نوری جامدات(فتو رسانایی در جامدات)

هدف آزمایش: اندازه گیری نور جریان I_{ph} بر حسب تابعی از ولتاژ U در روشنایی ثابت$\emptyset$، اندازه گیری نور جریان I_{ph} بر حسب تابعی از روشنایی در ولتاژ ثابت U

وسایل مورد نیاز آزمایش

- فتو رزیستور Cds با پایه و شکاف متغییر میکرومتری
- میکرو آمپر متر دقیق آزمایشگاهی
- منبع تغذیه دقیق آزمایشگاهی با امپدانس مناسب
- سیمهای رابط
- نور افکن (چراغ رویتر) با پایه
- منبع تغذیه نور افکن
- میزچه اپتیکی ۲ عدد (۱متری و نیم متری)
- سره های مورد نیاز میزچه
- مفصل مدرج میزچه ها
- قطعات اپتیکی مورد نیاز

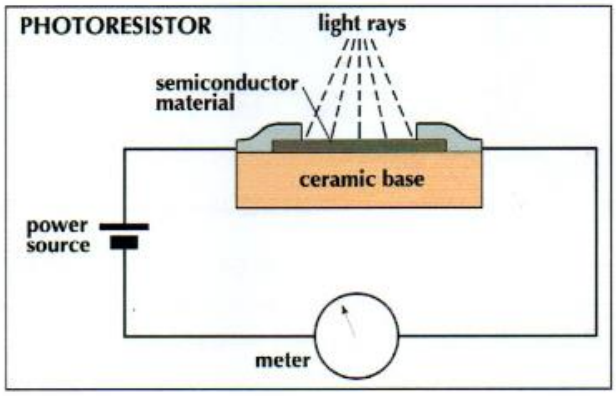
(لنز متمرکز کننده پایه دار – آنالیزور – پلاریزور – منشور ۶۰ درجه با نگهدارنده)

تیوری آزمایش

فتو رسانایی عبارت است از افزایش رسانش الکتریکی σ در یک جسم جامد در اثر جذب نور. انرژی جذب شده در جسم جامد موجب انتقال الکترونهای فعال به نوار رسانش و تعویض بار تله ها با حفره ها در نوار ظرفیت می شود. بنابراین، تعداد حاملهای بار در شبکه بلور افزایش و در نتیجه هدایت تغییر می کند.

$$\Delta\sigma = \Delta P e \mu_p + \Delta n e \mu_n$$

در اینجا e بار الکتریکی ، ΔP تغییر در تراکم حفره ها ، Δn تغییر در تراکم الکترونها، μ_p تحرک حفره ها و μ_n تحرک الکترونها است .



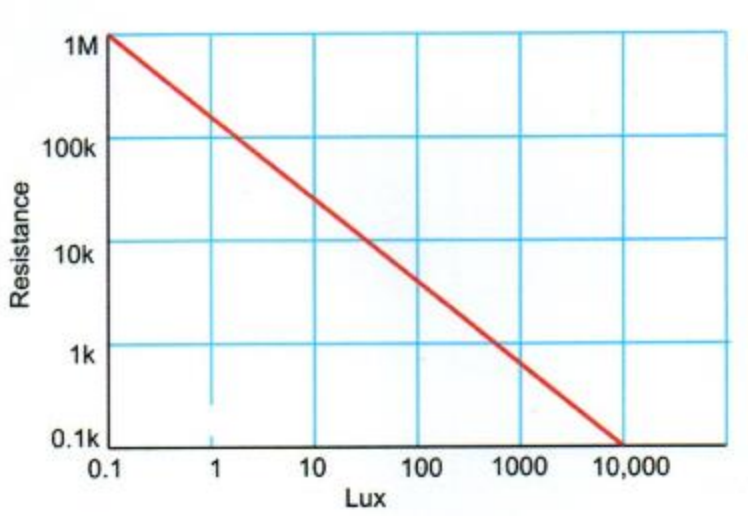
شکل ۱

در اثر اعمال ولتاژ U ، شدت نور جریان عبارت است از :

$$I_{ph} = \frac{A}{d} \Delta\sigma \; U$$

که در این رابطه A سطح مقطع موثر مسیر جریان و d فاصله بین الکترون ها می باشد. آن دسته از مقاومت های نیمه هادی که به تابش نور وابسته اند بر این قاعده استوار اند. این گونه مقاومت ها کاربردهای فراوانی داشته، به خصوص در نور سنجها بکار گرفته میشوند.

نمودار زیر میزان کاهش مقاومت این گونه نیمه هادی را نسبت نور نشان می دهد.



شکل۲

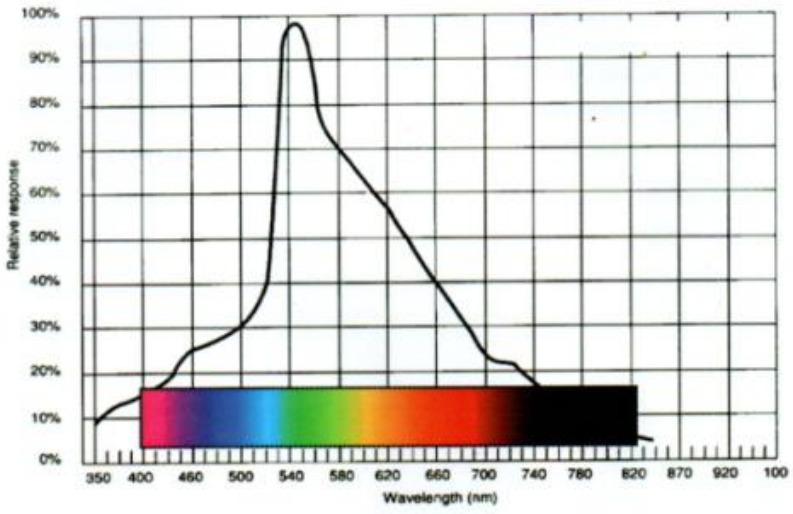
مواد نیمه رسانا که معمولا بکار گرفته میشوند ترکیبات کادمیم و بویژه کادمیم سولفاید CdS میباشد.

در واقع تعداد حامل های آزاد بار در یک نیمه رسانا با افزایش دما زیاد می شود، اکنون باید توجه کنیم که علاوه بر افزایش دما تابش نور با بسامد مناسب هم باعث افزایش این حامل ها می شود. برای فهمیدن مفهوم بسامد مناسب، مفهوم دیگری به نام گاف انرژی را مطرح می کنیم ؛ که عبارت است از تفاوت انرژی بین نوار ظرفیت و نوار رسانش و به عبارت دیگر انرژی لازم برای ایجاد الکترون آزاد و حفره های جدید. در عمل گاف انرژی حد پایینی برای انرژی پرتوی تابشی مورد نیاز برای تغییر مقاومت است و پرتوی تابشی باید در رابطه $E_g < hf$ صدق کند که در آن h ثابت پلانک و f بسامد فروی و E_g انرژی گاف انرژی است. جدول زیر E_g را برای چند نوع ماده ی معمول مقایسه می کند :

نام نیمه هادی	E_g بر حسب ev در 300 K
سولفید کادمیوم (Cds)	۲,۴
فسفید کادیوم(Cdp)	۲,۲
سلنید کادمیوم(Cdse)	۱,۷
آرسنید گالیوم(GaAs)	۱,۴
سیلیسیوم (Si)	۱,۱
ژرمانیوم(Ge)	۰,۷
آرسنید ایندیم(InAs)	۰,۴۳
سولفید سرب(PbS)	۰,۳۷
تلرید سرب(PbTe)	۰,۲۹
سلنید سرب(PbSe)	۰,۲۶
آنتیمود ایندیم (InSb)	۰,۲۳

معمولا بیشینه حساسیت مقاومت های نوری در بسامدی کمی بیشتر از بسامدی است که از جدول بالا به دست می آید و به ازای بسامدهای بیشتر و کمتر حساسیت به شدت افت پیدا می کند.

نمودار زیر حساسیت CdS ، CdTe ، CdSe را بر حسب طول موج نشان می دهد :



شکل ۳

در عمل بیشتر مقاومت های نوری از سولفید کادمیوم ساخته می شوند.

فوتو ترانستور ، فوتودیود و فوتو دارلینگتون

شاید متداول ترین نوع قطعات گیرنده نوری وسایلی هستند که بخش عمده آن ها را یک تقاطع PN تشکیل داده است.

فوتو ترانزیستور ها ، فوتودیودها و فوتودارلینگتون ها از این دسته اند. در شکل ۴ زیر تعدادی از این قطعات را می بینیم.

شکل ۴

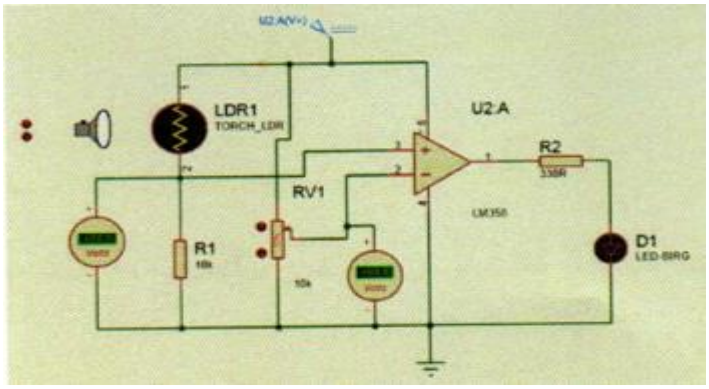
این قطعات اگر به طور مستقیم بایاس شوند در اثر تابش نور به آن ها افزایش جریان عبوری از آن ها نا چیز است اما اگر به طور معکوس بایاس شوند ، قضیه کاملا متفاوت است ؛ در این حالت در تاریکی جریانی که از آن می گذرد بسیار کم است اما با تابش نور به آن جریان زیادی از آن می گذرد. این خاصیت را می توان با افزودن یک نیمه رسانای ذاتی بین نواحی P , N دیود افزایش داد. در این صورت به این قطعات PIN دیود می گویند.

در این آزمایش یک مقاومت نوری Cds در معرض تابش نور یک لامپ قرار میگیرد. روشنایی Ø در محل قرار گرفتن مقاومت مذکور با استفاده از دو عدد قطبشگر (آنالیزور و پولالیزور) تغییر داده می شود. هر گاه صفحه قطبش قطبشگرها نسبت به یکدیگر به اندازه زاویه ی θ دوران داده شود ، طبق قانون مالوس روشنایی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\emptyset = \emptyset . D\ Cos^2(\theta)$$

در این رابطه Ø روشنایی بدون وجود قطبشگرها و ضریب D ضریب عبوردهی در حالتی که محور قطبشگرها موازی هستند، می باشد.

در شکل زیر یک نمونه مدار کنترل روشنایی توسط مقاومت نوری دیده میشود.



شکل ۵

نحوه چیدمان وسایل : در شکل زیر وضعیت قرار گرفتن وسایل آزمایش نشان داده شده است.

شکل ۶

وسایل را به صورت زیر به یکدیگر متصل نمایید:

۱- شاخه بلند ریل اپتیکی می بایست در سمت مقاومت نوری باشد.

۲- چنانچه در مکان اجرای آزمایش نورهای جانبی دیگری باشد ، باید دو قطبشگر در کنار هم و نزدیک به مقاومت نوری باشند.

تشریح هر یک از اجزاء آزمایش

۱- ریل اپتیکی و سره ها و مفصل تک محور

آزمایش دارای دو عدد زیل اپتیکی آلومینیومی کوتاه و بلند و شش عدد سره اپتیکی با کد $T-34_a$ و یک عدد مفصل تک محور با کد T – 102 UE می باشد.

شکل۷

دو عدد ریل را به دو طرف مفصل متصل نموده و سره ها را مطابق شکل بر روی ریلها جا بزنید .

محور بلند وسط مفصل برای اتصال نگهداری منشور می باشد.

۲- چراغ رویتر (منبع نور) با کد PFA – RL 12 و منبع تغذیه با کد SA – 56743 متعلق به آن

شکل۸

منبع نور را به اولین سره مفصل نموده و سیم های آنرا به منبع تغذیه متصل نمایید.

منبع نور دارای لامپ تنگستنی ۶ و یا ۱۲ ولت بوده و با جابجایی محور انتهایی می توان لامپ را جابجا نموده و نور آنرا فوکوس نمود.

منبع تغذیه از نوع AC متغییر 3A بوده و دارای فیوز 500 mA می باشد.

در حین آزمایش مواظب باشید سیمهای آن به هم اتصال ننماید.

۳- قطبشگرها (آنالیزور و پلاریزور)

آزمایش دارای دو عدد قطبشگر با کد PL – 13a می باشد.

دقت قطبشگرها ۱ درجه بوده و قابلیت گردش ۳۶۰ درجه (تمام دور) را دارند.

شکل۹

۴- منشور و نگهدارنده آن

آزمایش دارای یک عدد منشور ۶۰ درجه و یک عدد پایه نگهدارنده منشور با کد MP - u^8k^{78} می باشد مطابق شکل منشور را درون گیره پایه مستقر نمائید .

شکل ۱۰

۵- لنز محدب و لنز هولدر (نگهدارنده لنز)

آزمایش دارای یک عدد لنز محدب با فاصله کانونی حدود ۱۰ سانتیمتر و یک عدد نگهدارنده لنز با کد TY 34 – میباشد

شکل ۱۱

۶- میکرو آمپرمتر دیجیتال

این دستگاه آزمایشگاهی با کد TA – E40 دارای دقت ۰,۱ میکرو آمپر بوده و از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است. بهمراه دستگاه سیم اتصال ارت و سیم برق موجود میباشد.

شکل ۱۲

نکات خاص

۱. برای اندازه گیری دقیق تر سعی شود سیم ارت (زمین) به یک اتصال ارت استاندارد متصل شود.(توجه نمائید که ارت استاندارد نظیر چاه ارت می بایست نسبت به نول برق شهر ولتاژی در حد میلی ولت داشته باشد و یا کمتر).

چنانچه ارت استاندارد نبود و نسبت به نول برق ، ولتاژ داشته باشد صدمه زدن به دستگاه می شود . در این حالت استفاده از لوله آب و یا شوفاژ ، ارت مناسبتری است.

۲. دستگاه دارای دو ورودی معمولی و BNC (بمنظور جلوگیری از نویز) می باشد.
۳. دکمه SELECT نوع اندازه گیری AC/DC را تغییر می دهد.
۴. دکمه RANGE دقت اندازه گیری را نشان می دهد.(جای نقطه اعشار را تغییر می دهد).
۵. چنانچه دکمه HOLD دستگاه فشار داده شود ، عدد روی نمایشگر ثابت باقی می ماند.
۶. چنانچه دکمه HOLD برای زمانی طولانی تری فشار داده شود چراغ Back Light نور پشت صفحه نمایش روشن می شود.
۷. با فشار دادن دکمه REL عدد روی نمایشگر هر چه باشد صفر شده و مبنای اندازه گیری از آن به بعد این عدد می باشد. (نقطه کالیبره دستگاه تغییر می کند.

در واقع با فشار این دکمه مبنای اندازه گیری از صفر تغییر کرده و نسبت به عدد دیگری محاسبه میگردد.

نکات لازم در راه اندازی دستگاه :

- دستگاه میکرو آمپرمتر هم با برق v 220 و هم با باطری کار می کنند.
- در صورتی که سیم برق به 220v ولت وصل باشد چراغ سبز رنگ (و یا قرمز رنگ) کنار نمایشگر روشن شده و نشان دهنده اتصال برق V 220 است.
- تا زمانیکه سیم برق به دستگاه وصل است مسیر برق باطری قطع می باشد . لذا در صورت عدم استفاده از برق شهر میبایست سیم آن از دستگاه جدا گردد.
- باطری میبایست سیم آن از دستگاه جدا گردد.
- باطری دستگاه 9 Volt کتابی می باشد.
- فیوز کناری دستگاه 500 mA است و دستگاه فیوز یدک دارد.
- چنانچه از دستگاه برای چند دقیقه استفاده نشود بصورت اتومات خاموش می شود. (تایمر عدم استفاده از دستگاه)
- سعی شود حتی المقدور از برق شهر استفاده شود.
- در موقع عدم استفاده از دستگاه سیم برق آن بیرون آورده شود.

۷- دستگاه منبع تغذیه و ولت متر

آزمایش دارای یک دستگاه منبع تغذیه بهمراه ولتمتر دیجیتال با کد TA – 5TU می باشد.

در شکل زیر نحوه اتصال دستگاه و سیم بندی آن توضیح داده شده است.

شکل ۱۳

توضیحات

۱. این مجموعه دارای یک دستگاه منبع تغذیه ۲۵ ولت متغییر با آمپر خیلی کم جهت راه اندازی سلول فتو رزیستور میباشد.

۲. منبع تغذیه بنحوی طراحی شده که همیشه یک ولتاژ خیلی کم برای راه اندازی نیمه هادی سلول فتو رزیستور موجود باشد.

۳. در هر حالت می توان با فشار دکمه Zero Volt خروجی تغذیه را صفر کرده و عملکرد سلول را در حالت صفر مشاهده نمود(این دکمه را فقط برای چند ثانیه فشار دهید).

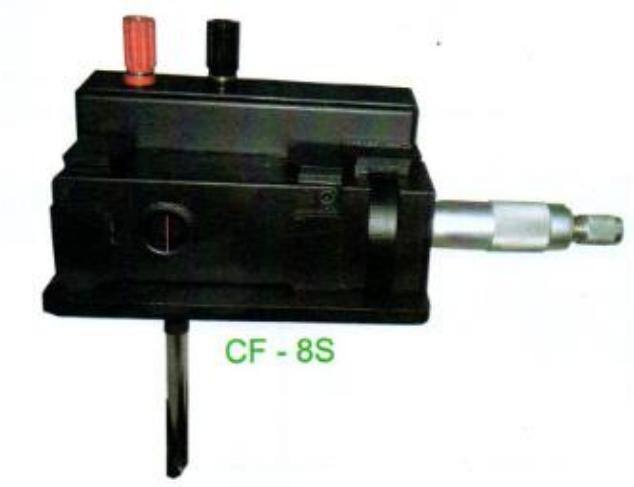
۴. سلول فتو رزیستور جریان بیشتر از ۵ میلی آمپر را نمی تواند تحمل کند ، لذا محدود کننده ای روی میکرو آمپر متر گذاشته شده که جریانهای غیر مجاز را آلارم میدهد.

۸- سلول مقاومت نوری بهمراه شکاف متغییر میکرومتری

این مجموعه شامل دو قسمت میباشد :

۱- مقاومت نوری Cds با کد CF – 8S و شکاف متغییر با ورنیه با دقت 0.01 mm میباشد.

این قسمت در انتهای بازوی بلند ریل اپتیکی نصب میگردد (دورترین فاصله نسبت به چشمی نور).



شکل ۱۴

روش انجام آزمایش

توجه : کلیه آزمایشها میبایست در فضای تاریک و بدون وجود نورهای جانبی انجام شود.

با مجموعه ارائه شده چند آزمایش مختلف میتوان انجام داد.

آزمایش اول : آزمایش اندازه گیری نور جریان I_{ph} بر حسب تابعی از ولتاژ U در روشنایی ثابت$\emptyset$

منبع نور را روشن کرده در یک مقدار ثابت نگهدارید. منشور و نگهدارنده آنرا بردارید. دو قطبشگر در محور موازی قرار گیرد. دریچه شکاف متغییر کمی باز گردد. منبع ولتاژ و میکرو آمپرمتر مطابق شکل--- به مقاومت نوری وصل شود. میزان ولتاژ روی ۲۰ ولت تنظیم شود. جریان آمپرمتر را یادداشت نمائید.

اگر جریان میکروآمپر متر زیاد تر از حد آن میباشد ، یا شدت نور را کم نمایید و یا دریچه شکاف متغییر را کم کنید. اکنون با کاهش ولتاژ منبع تغذیه بصورت پله های ۲ ولتی، هر بار جریان را اندازه گیری کرده و در جدول زیر یادداشت نمائید.

I_{ph} (برحسب میکرو آمپر)	U (برحسب ولت)	I_{ph} (برحسب میکرو آمپر)	U (برحسب ولت)
	۸		۲۰
	۶		۱۸
	۴		۱۶
	۲		۱۴
	۰		۱۲
			۱۰

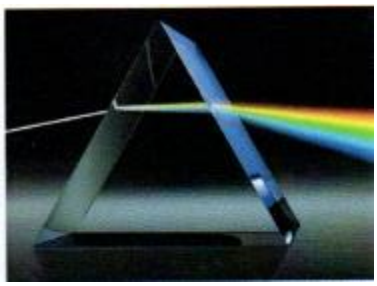
آزمایش را برای حالاتی که زاویه بین محورهای قطبشگرهای آنالیزور و پلاریزور را تغییر داده و در زوایای ۱۰ – ۱۵ – ۳۰ – ۴۵ – ۶۰ درجه قرار گرفته تکرار نمائید .

نکته : در تمامی آزمایشها ، طرف مدرج قطبشگرها رو به منبع نور قرار گیرد.

منحنی های تغییرات I_{ph} بر حسب U در یک دستگاه مختصات رسم نمائید.

آزمایش دوم : تکرار آزمایش قبلی در یک طیف نور مشخص

منشور و پایه نگهدارنده را در مکان خود مستقر نمائید. بازوی نور افکن را بچرخانید تا در طرف مقاومت نوری طیفهای نوری پدیدار گردد.

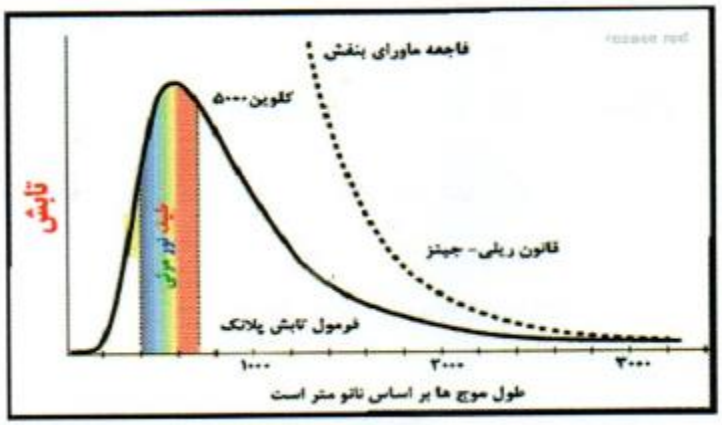


شکل۱۵

یکی از رنگها را (مثلاً نور قرمز) بر روی دریچه شکاف متغییر بیندازید. بهتر است برای تنظیم دقیق تر ، در جلوی شکاف متغییر یک کاغذ سفید رنگ گذاشته ، بر روی آن نور را تنظیم نموده و سپس کاغذ را بردارید. اکنون آزمایش قبل را تکرار نمائید.

آزمایش سوم : با تکرار آزمایش قبل برای تمامی طیف نورها ، منحنی شکل صفحه ۴ را بررسی نمائید.

آیا تشابهی ما بین این منحنی تابش جسم سیاه وجود دارد؟



شکل۱۶

آزمایش چهارم : اندازه گیری نور جریان I_{ph} بر حسب تابعی از روشنایی در ولتاژ ثابت U

میز اپتیکی را در زاویه ای قرار دهید که محدوده ی طول موج مورد نظر (مثلا قرمز) در شکاف متغییر مقاومت نوری قرار گیرد، ولتاژ منبع تغذیه را بطور دلخواه انتخاب نمائید (مثلاً ۵ ولت) و آنرا دیگر تغییر ندهید.

زاویه θ بین قطبشگرهای آنالیزور و پلاریزور از صفر تا ۹۰ درجه تغییر دهید. به ازای هر ۵ درجه ، شدت جریان میکروآمپر را قرائت و در جدول زیر یادداشت نمائید.

θ	I_{ph}	θ	I_{ph}	θ	I_{ph}	θ	I_{ph}
۰		۳۰		۶۰		۹۰	
۵		۳۵		۶۵		۸۵	
۱۰		۴۰		۷۰		۱۰۰	
۱۵		۴۵		۷۵			
۲۰		۵۰		۸۰			
۲۵		۵۵		۸۵			

منحنی تغییرات را بر حسب $Cos^2(\theta)I_{ph}$ رسم نمائید.

مقدار ولتاژ را تغییر داده و به ازای ولتاژهای ۱۰ – ۱۵ – ۲۰ ولت آزمایش را تکرار نموده ، منحنی هر یک را رسم نمائید.

آزمایش پنجم : آزمایش قبل را به ازای سایر محدوده طول موج های نور سفید مثلاً (سبز و آبی) تکرار نمائید و منحنی های بدست آمده را با یکدیگر مقایسه نمائید .