

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# جلسه ششم

رسانایی الکتریکی و ساختار نوار انرژی

# طبیعت حرکت الکترون ها در یک رسانا

PDF Compressor Free Version

حرکت الکترون ها در رسانا از طبیعت کاتوره ای برخوردار می باشد. یعنی الکترون در امتداد یک خط راست حرکت می کند تا در مسیر حرکت خود با یک الکترون یا یک یون برخورد نماید (توجه داشته باشید که این دیدگاه کلاسیک است). سپس جهت و اندازه سرعت آن تغییر می کند.

الکترون پس از برخورد مجدداً به مسیر مستقیم خود

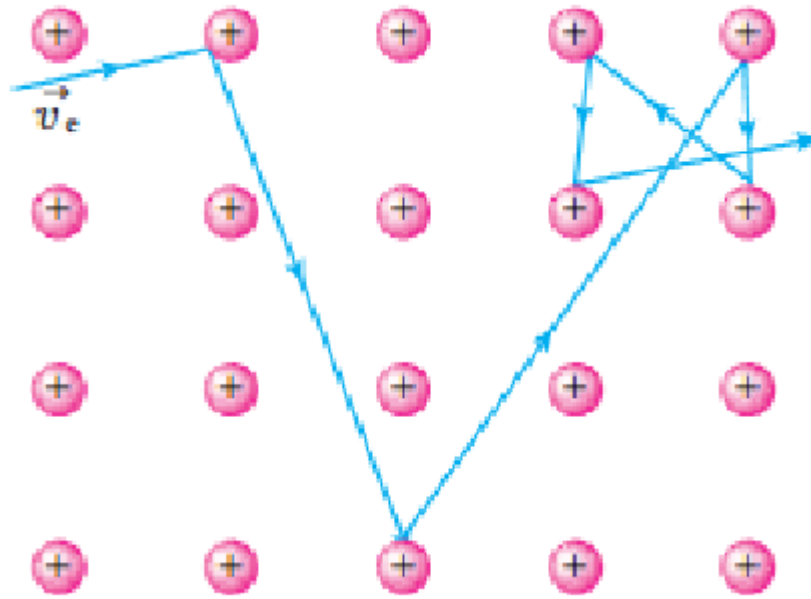
PDF Compressor Free Version

ادامه می‌دهد تا برخورد دیگری را تجربه نماید. الگوی

زیر حرکت کاتوره ای الکترون را نشان می‌دهد. این

الگو منحصر به فرد است به نحوی که الکترون قادر

نیست آن را باز تولید نماید.



**سوال:** تغییر جهت حرکت پس از برخورد کاملاً تصادفی است اما اندازه سرعت نه. این اندازه به چه عاملی بستگی داری؟

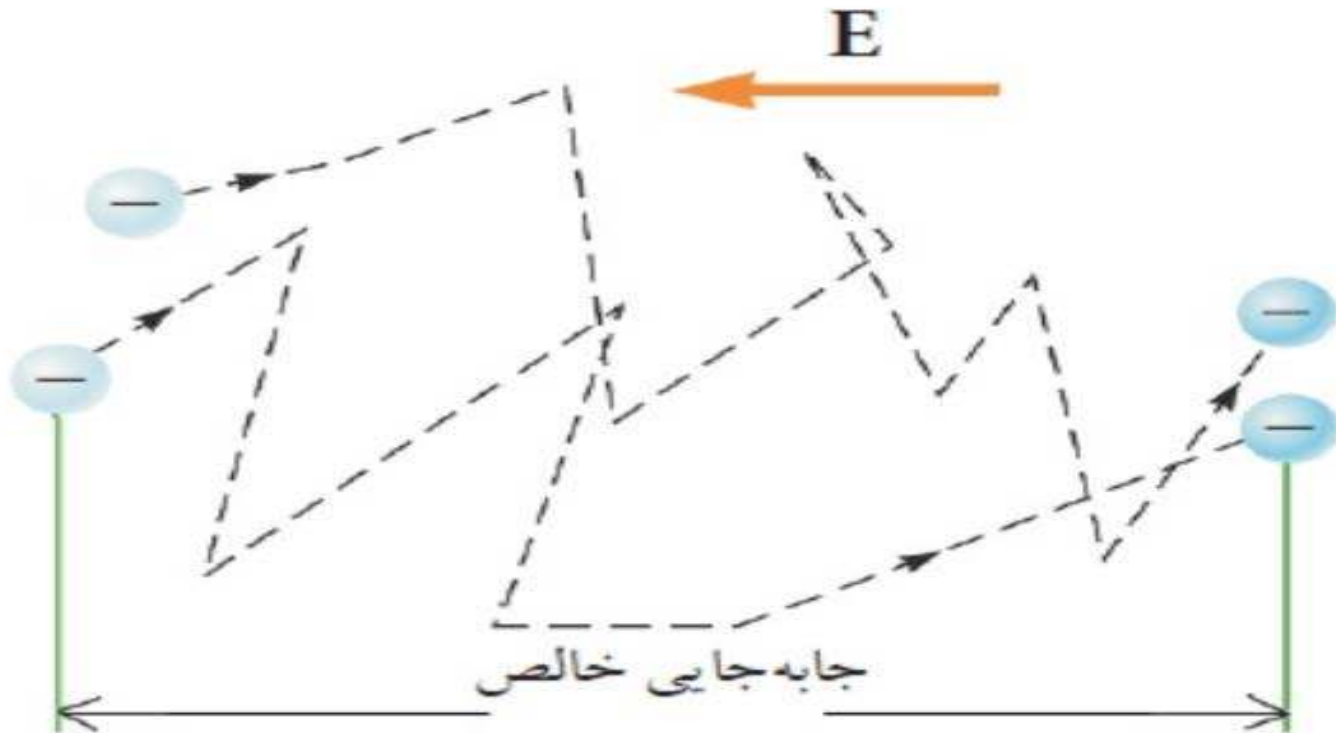
در دیدگاه کلاسیک انرژی الکترون تماماً جنبشی است یعنی می توان نوشت:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} K_B T$$

$$\lambda = v \tau$$

در روابط بالا  $K_B$  ثابت بولتزمن و  $T$  دما بر حسب کلوین است. همچنین  $\lambda$  مسافت آزاد میانگین و  $\tau$  زمان بین دو برخورد متوالی می باشد.

حال اگر یک میدان الکتریکی همانگونه که در شکل نشان داده شده بر این الکترون اعمال گردد ضمن حفظ حرکت کاتوره ای، در خلاف جهت میدان سوق می یابد.



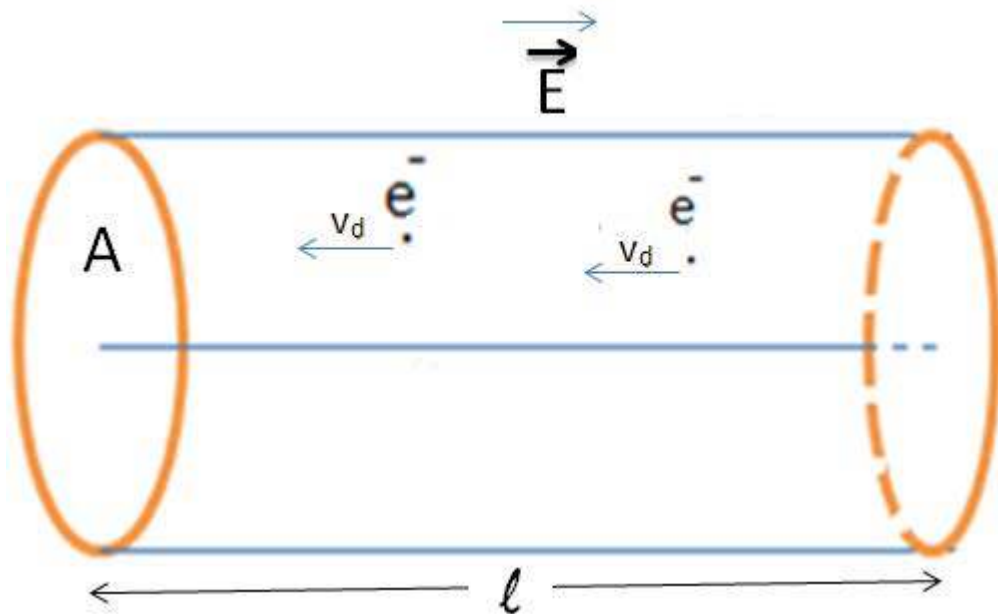
# رسانایی الکتریکی

رسانایی الکتریکی، یک خاصیت در مواد (عمدتاً فلزات) است که به واسطه‌ی آن ماده توانایی انتقال جریان الکتریسیته را پیدا می‌کند. این خاصیت بخاطر وجود حامل های بار که در رساناها عمدتاً الکترون ها هستند می باشد.

# محاسبه رسانایی الکتریکی

PDF Compressor Free Version

یک میله فلزی را مطابق شکل زیر در نظر بگیرید که در آن الکترون ها تحت یک میدان الکتریکی از راست به چپ با سرعت متوسط  $V_d$  حرکت می کنند که به آن سرعت رانش یا سرعت سوق می گویند.



فرض کنید الکترون ها در زمان  $t$  مسافت  $l$  را بپیمایند.



می دانیم هرگاه  $i$  جریان گذرنده از سطح مقطع میله باشد، می توان چگالی جریان را با رابطه زیر نوشت:

PDF Compressor Free Version

$$J = i/A$$

از طرفی  $i$  مقدار باری ( $q$ ) است که در مدت زمان ( $t$ ) از سطح مقطع می گذرد، یعنی:

$$i = q/t$$

از آنجائیکه  $t = l/V_d$  و  $q = nAl$  ( $n$  چگالی بار می باشد.)  
رابطه چگالی جریان به شکل زیر قابل بازنویسی است:

$$J = neV_d$$

PDF Compressor Free Version

از طرفی داریم:  $V_d = a\tau = eE\tau/m$

با توجه به روابط فوق می توان نوشت:

$$J = neV_d = ne^2E\tau/m$$

حال از آنجائیکه رسانایی با عبارت  $\sigma = j/E$  داده می شود که واحد آن  $(\Omega m)^{-1}$  است رابطه زیر بدست می آید:

$$\sigma = ne^2\tau/m$$

$n$  را می توان به کمک رابطه آووگادرو بدست آورد.

$$n = DN_A/M_A$$

در آن  $D$  چگالی بر حسب  $\text{Kg}/\text{m}^3$  ، و  $N_A$  عدد آووگادرو برابر با  $6.02 \times 10^{26} \text{ Kmole}^{-1}$  می باشد.

مسئله:

زمان بین دو برخورد متوالی برای الکترون های آزاد در مس را با اعمال نظریه الکترون آزاد کلاسیک تخمین بزنید. مسافت آزاد میانگین متناظر آن چقدر است؟

وزن اتمی مس برابر است با 63.55 چگالی مس  $8.92 \text{Kg/m}^3 \times 10^3$  و عدد آووگادرو  $6.02 \times 10^{26} \text{K mole}^{-1}$  می باشد.

مقاومت ویژه الکتریکی، مقاومت مقدار معینی از یک ماده خاص در مقابل رسانایی است.

PDF Compressor Free Version

مقاومت ویژه الکتریکی در مواد گوناگون متفاوت است.

مقاومت ویژه رساناها مانند نقره و مس کم و مقاومت الکتریکی یک نارسانا مانند تفلون بسیار زیادتر است، درحالیکه مواد نیمرسانایی مانند سیلیسیوم و ژرمانیوم نه مشابه رساناها می باشند و نه نارساناها.

مقاومت ویژه الکتریکی چند ماده در دمای اتاق بر حسب اهم متر

نام ماده	مقاومت ویژه الکتریکی (اهم متر)
نقره	$1.6 * 10^{-8}$
مس	$1.7 * 10^{-8}$
الومینیوم	$2.8 * 10^{-8}$
آهن	$10 * 10^{-8}$
ژرمانیوم	$4.6 * 10^{-1}$
سیلیسیوم	100 - 1000
شیشه	$10^{10} - 10^{14}$
تفلون	$10^{14}$

- فیزیک کلاسیک می تواند تفاوت بین رسانا و نارسانا را با بیانی ساده و به خوبی مشخص کند؛ اما برای این سوالات پاسخی ندارد:
- چرا رسانایی الکتریکی در رساناهای گوناگون متفاوت است؟
  - چرا الماس و گرافیت که هر دو از عنصر کربن تشکیل شده اند، یکی نارسانا و دیگری رسانا است؟
  - چرا مقاومت ویژه الکتریکی رساناها با افزایش دما بیشتر می شود، اما مقاومت ویژه الکتریکی نیمرساناها با افزایش دما، کمتر میشود؟
- پاسخ به این سوالات نیازمند نظریه جدید است.

# نظریه نواری

PDF Compressor Free Version

- در یک اتم الکترونها ابتدا ترازهای پایین تر انرژی را پر می کنند.
- هنگامی که همه الکترونها به ترتیب ترازهای انرژی را از پایین به بالا پر می کنند، آنگاه اتم در حالت پایه خود قرار دارد.
- در جسم جامد به جای یک اتم، مجموعه ای از اتم های نزدیک به هم وجود دارد.
- ترازهای انرژی الکترونها در جسم جامد، مانند ترازهای انرژی الکترونها در یک اتم، مقدارهای انرژی ویژه و گسسته ای دارند.

هر تراز انرژی توسط دو الکترون با اسپین مخالف پر می شود.  
ترازهای انرژی الکترونها در جسم جامد، نوارهای مشخصی را تشکیل می دهند.

هر نوار انرژی شامل تعداد بسیار زیادی ترازهای گسسته است که از نظر مقدار انرژی بسیار به هم نزدیکند.

تفاوت انرژی برخی نوارها بسیار زیاد است. یعنی بین آخرین تراز انرژی نوار پایین با اولین تراز انرژی نوار بالا، اختلاف انرژی زیادی وجود دارد.

PDF Compressor Free Version

در این فاصله هیچ تراز انرژی وجود ندارد، یعنی الکترونها در این فاصله نمی توانند قرار بگیرند. این ناحیه را ناحیه ممنوع یا گاف انرژی می نامند.



نحوه قرارگیری ترازها، نوارها و گاف انرژی



PDF Compressor Free Version

در جسم جامد الکترونها به ترتیب از پایین ترین تراز انرژی در پایین ترین نوار توزیع می شوند.

از آنجاییکه در هر تراز انرژی فقط دو الکترون می تواند قرار بگیرد، ترازهای انرژی به ترتیب توسط الکترونها پر می شوند تا یک نوار انرژی کاملا پر شود.

الکترونها بعدی در ترازهای انرژی نوار بالاتر قرار می گیرند تا اینکه همه الکترونها در ترازهای انرژی جا بگیرند.

بدین ترتیب آخرین نوار انرژی یا کاملا از الکترون پر است و یا نیمه پر می<sup>17</sup>باشد.

در جسم جامد الکترونها با جذب انرژی می توانند از تراز انرژی پایین تر به تراز انرژی بالاتر در همان نوار منتقل شوند. اما برای تغییر تراز انرژی از یک نوار به نوار بالاتر، انرژی بسیار زیادی لازم است که در شرایط معمولی، اتفاق نمی افتد.

بنابراین گذار الکترون از یک تراز انرژی به تراز انرژی دیگر، تنها در صورتی انجام می شود که نوار نیمه پر باشد؛ چون الکترونها فقط می توانند به ترازهای انرژی بالاتر در همان نوار گذار کنند و گذار از یک نوار به نوار بالاتر امکانپذیر نیست.

از آنجاییکه الکترونهای موجود در نوارهای پر، امکان گذار از یک تراز انرژی به تراز انرژی بالاتر را ندارند، بنابراین سهمی در رسانایی الکتریکی ندارند.

به بیان دیگر تنها الکترونیایی که در نوارهای نیمه پر قرار دارند و امکان گذار از یک تراز انرژی به تراز انرژی بالاتری در همان نوار را دارند، در رسانایی الکتریکی جسم جامد نقش دارند.

# رسانا، نارسانا و نیمرسانا در نظریه نواری

الکترونهاى خارجى یا الکترونهاى لایه ظرفیت که پیوندهاى بلورى را شکل مى دهند، در نوارهاى قرار مى گیرند که **نوار ظرفیت** نامیده مى شود و در واقع بالاترین نوار انرژی پر است.

همچنین به نوار بالای نوار ظرفیت که پایین ترین نوار خالی یا نیمه خالی است **نوار رسانش** گفته مى شود.

مواد مختلف از لحاظ پهنای نوار مجاز و پهنای نوار ممنوعه با هم متفاوتند و به سه دسته زیر تقسیمبندی میشوند:

الف- رسانا

ب- نارسانا

پ- نیمرسانا

# ساختار نواری اجسام رسانا

PDF Compressor Free Version

اگر در ساختار نواری جسم جامد، نوار نیمه پر وجود داشته باشد، آن جسم رسانا است. زیرا الکترونهاى نوار نیمه پر به آسانی می توانند تراز انرژی خود را تغییر دهند و در رسانایی الکتریکی شرکت کنند.

این الکترونها را الکترونهاى رسانش و نوار نیمه پر را نوار رسانش می نامند.

مشخصه اصلی رساناها، وجود نوار نیمه پر در ساختار نواری آنها است.



نحوه قرارگیری ترازها، نوارها و گاف انرژی در یک جسم رسانا

# ساختار نواری اجسام نارسانا

PDF Compressor Free Version

در ساختار نواری جامدات نارسانا، نوار نیمه پر وجود ندارد. گاف انرژی در جامدات نارسانا بسیار بزرگ است (در حدود 5 الکترون ولت)، بنابراین هیچ الکترونی نمی تواند از نوار پر به نوار خالی گذار کرده و موجب رسانایی الکتریکی شود. در این مواد رسانایی الکتریکی انجام نمی شود.



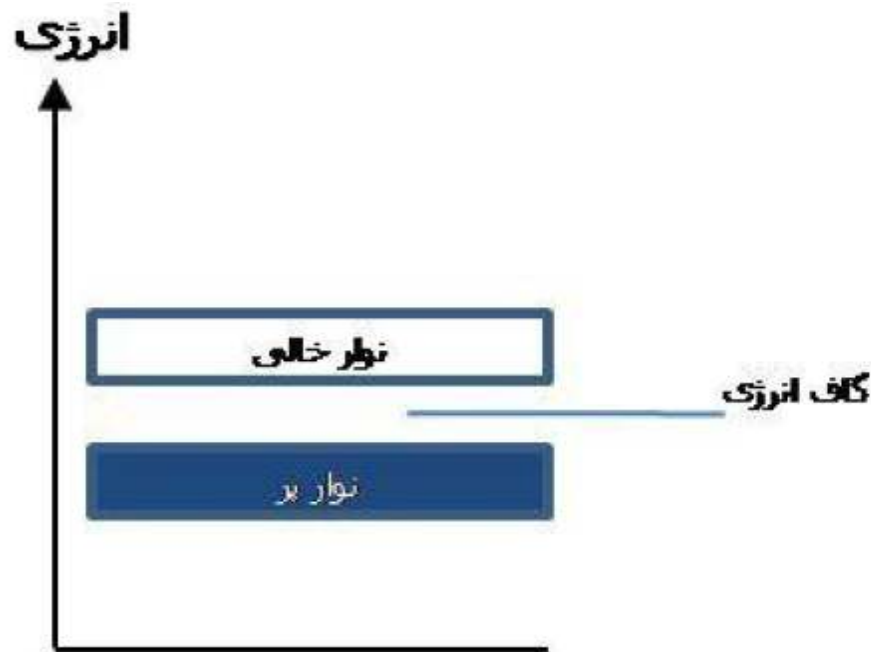


نحوه قرارگیری ترازها، نوارها و گاف انرژی در یک جسم نارسانا

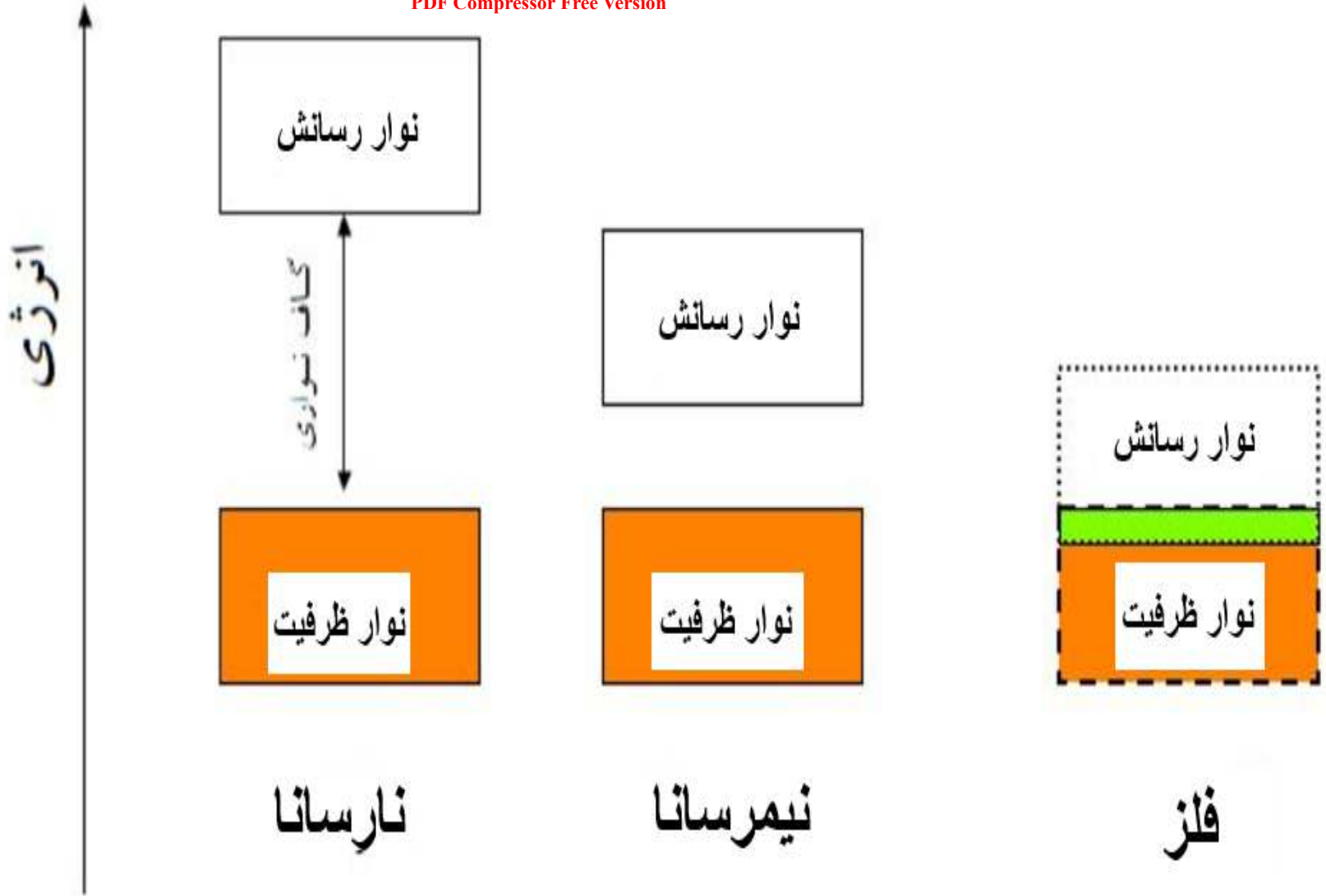
# ساختار نواری اجسام نیمرسانا

در ساختار نواری جامدات نیمرسانا، همانند نارسانا، نوار نیمه پر وجود ندارد. اما گاف انرژی در نیمرساناها بسیار کمتر از نارساناها است (در حدود 1 الکترون ولت). کوچک بودن گاف انرژی در نیمرسانا موجب می شود که تعدادی از الکترونها نوار ظرفیت حتی در دمای اتاق برانگیخته شده، به نوار رسانش بروند و در رسانایی الکتریکی شرکت کنند.

با افزایش دما، الکترونهاى بیشتری امکان گذار از نوار ظرفیت به نوار رسانش می یابند و بنابراین رسانایی الکتریکی بیشتر می شود.



نحوه قرارگیری ترازها، نوارها و گاف انرژی در یک جسم نیمه رسانا





اندر دل من مها دل افروز تویی  
یاران هستند و لیک دلسوز تویی  
شادند جهانیان به نوروز و به عید  
عید من و نوروز من امروز تویی  
مولانا