



لیگ علمی بین المللی پژوهشگران ایران اسلامی (پایا)

نهمین دوره لیگ علمی بین المللی پایا

9th International Scientific Paya League

هوالمعلم

دفترچه پیش آزمون و سوالات

آزمون مرحله‌ی مقدماتی (بهمن ۱۳۹۴)

رشته‌ی فیزیک پایه‌ی دوم و سوم دبیرستان

عنوان	صفحه	مدت زمان پاسخ‌گویی
پیش‌آزمون‌ها	۲-۱۲	۱۵ دقیقه
سوالات ۱ تا ۱۵ عمومی، سوالات ۱۶ تا ۲۵ اختصاصی براساس پیش‌آزمون	۱۳-۱۶	۶۰ دقیقه

پاسخ‌گویی به کلیه‌ی سوالات به صورت گروهی است. بنابراین توصیه می‌شود پس از جمع‌بندی نهایی یکی از اعضای گروه مسؤلیت وارد کردن پاسخ‌ها در پاسخ‌برگ را داشته باشد.

به ازای هر ۴ پاسخ اشتباه، امتیاز یک پاسخ صحیح از بین می‌رود.

لیگ علمی پایا مقطع دبیرستان در قالب گروه‌های ۵ نفره در رشته فیزیک برگزار می‌گردد.

این مرحله از لیگ علمی پایا شامل پیش‌آزمون، سوالات عمومی و سوالات پیش‌آزمون است.

۱) در قسمت اول آزمون هر کدام از اعضای گروه باید برگ پیش‌آزمون مربوط به خود را از دفترچه جدا نموده و به صورت انفرادی

مطلب آموزشی (پیش‌آزمون) خود را در مدت زمان ۱۵ دقیقه مطالعه نمایند و به خاطر بسپارند.

۲) قسمت دوم آزمون، شامل ۱۵ سوال تستی ۵ گزینه‌ای از مطالب کتاب‌های درسی و منابع معرفی شده است که دانش‌آموزان به

صورت گروهی به آن‌ها پاسخ می‌دهند.

۳) بخش سوم آزمون، شامل پاسخ‌گویی به ۱۰ سوال تستی ۵ گزینه‌ای است که همه اعضای گروه به کمک هم و با استناد به مطالب

آموزشی که در بخش قبل مطالعه کرده‌اند به آن‌ها پاسخ می‌دهند.

تذکر ۱. هر یک از اعضای گروه ملزم به مطالعه یکی از پیش‌آزمون‌ها می‌باشند و در غیر این صورت تخلف در آزمون محسوب می‌شود.

تذکر ۲. چنانچه گروهی ۴ نفره باشد یکی از اعضای گروه علاوه بر مطالعه پیش‌آزمون مربوط به خود مسؤلیت پیش‌آزمون ۵ را نیز بر عهده دارد.

تذکر ۳. چنانچه گروهی ۳ نفره باشد یکی از اعضای گروه می‌تواند مسؤلیت مطالعه پیش‌آزمون ۴ را برعهده بگیرد و گروه مجاز به

مطالعه پیش‌آزمون ۵ نمی‌باشد.

تذکر ۴. هنگام پاسخ‌گویی به سوالات نیاز به جمع‌آوری پیش‌آزمون‌ها از دانش‌آموزان نمی‌باشد.

تذکر ۵: استفاده از ماشین حساب مجاز است.

پیش‌آزمون ۱

نیمه‌رساناهای نوع P و N

در فلزات چگونگی کنار هم قرار گرفتن اتم‌ها به گونه‌ای است که برای الکترون‌های ظرفیت، نیروی وابستگی به هسته اتم ناچیز بوده و در دمای معمولی این الکترون‌ها تعلق خاصی به اتم معینی نداشته و از آزادی لازم برای جابه‌جایی در فضای بین اتم‌ها برخوردارند. جابه‌جایی این الکترون‌ها دارای جهت مشخصی نبوده و در حقیقت یک حرکت تصادفی است، به طوری که باعث ایجاد تراکم بار الکتریکی در هیچ نقطه‌ای نمی‌شود. این الکترون‌های ظرفیت را که آزادانه در فضای درون فلز حرکت می‌کنند، الکترون‌های آزاد گویند.

چگالی الکترون‌های آزاد در فلزات، در حدود چگالی اتمی آن‌ها و حدوداً برابر 10^{23} الکترون در سانتی‌متر مکعب است. اگر در نظر بگیریم که با دور شدن هر الکترون آزاد از اتمی که به آن تعلق داشته است، یک یون مثبت بر جای می‌ماند، می‌توان ساختمان داخلی فلز را توسط شبکه‌ای از یون‌های ثابت و الکترون‌های آزادی که در اطراف آن‌ها حرکت می‌کنند نمایش داد. یون‌های ثابت در حقیقت نمایش مجموعه هسته اتم و الکترون‌های وابسته به آن هستند و الکترون‌های آزاد به صورت یک توده پراکنده در میان آن‌ها حرکت می‌کنند.

این نحوه توصیف ساختمان فلز، بر مبنای نظریه گاز الکترون می‌باشد. بر طبق این نظریه، چون حرکت الکترون‌های آزاد یک حرکت تصادفی است، می‌توان تصور کرد که در یک طول زمانی مشخص به طور متوسط تعداد الکترون‌های آزادی که از یک سطح معین و در یک جهت معین عبور می‌کنند با تعداد الکترون‌های آزادی که از همان سطح ولی در خلاف آن جهت عبور می‌نمایند، مساوی بوده و در نتیجه جریان متوسط برابر صفر است. البته چنان‌چه فلز تحت تأثیر یک میدان الکتریکی خارجی قرار گیرد، حرکت الکترون‌های آزاد جهت‌دار شده و در واقع الکترون‌های آزاد با حرکت خود در خلاف جهت میدان اعمال شده، یک جریان الکتریکی همسو با میدان ایجاد می‌کنند.

نیمه‌هادی‌ها گروهی از مواد هستند که از نظر توانایی هدایت الکتریکی، بین هادی و عایق قرار دارند. موضوع جالب توجه در مورد نیمه‌هادی‌ها این است که هدایت الکتریکی آن‌ها تحت تأثیر عواملی چون تحریک نوری، افزایش دما و تغییر میزان ناخالصی به نحو قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌یابد. این خاصیت مهم مبنای کار بسیاری از قطعه‌های نیمه‌هادی است که در الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هدایت الکتریکی در نیمه‌هادی‌ها توسط دو نوع حامل بار الکتریکی یعنی الکترون‌های آزاد و حفره‌ها صورت می‌گیرد. در این مواد الکترون‌های ظرفیت نمی‌توانند آزادانه به هر سو حرکت نمایند، بلکه در پیوندهای کووالان بین اتم‌ها محصورند. مهم‌ترین نیمه‌هادی‌ها در الکترونیک سیلیکن (Si) و ژرمانیم (Ge) هستند. این دو عنصر، علیرغم داشتن چهار الکترون ظرفیت، در دمای معمولی از هدایت الکتریکی خوبی برخوردار نیستند. در دمای صفر مطلق بلورهای سیلیکن و ژرمانیم همانند

عایق عمل می‌کنند (زیرا چهار الکترون ظرفیت هر اتم در پیوندهای کووالان چهار اتم مجاور خود قرار گرفته‌اند و نمی‌توانند همانند الکترون‌های ظرفیت در فلزات آزادانه به هر سو حرکت نمایند).

هر دو اتم مجاور در یک پیوند کووالان دو الکترون در حالت اشتراک دارند. به زبان کلاسیک می‌توان گفت که این الکترون‌ها در مدارهایی به دور هسته هر دو اتم می‌چرخند. انرژی لازم برای شکستن پیوند کووالان و آزاد کردن یک الکترون را انرژی عرض نوار گویند و آن را با E_G نمایش می‌دهند. این نامگذاری بر مبنای نظریه ادغام ترازهای انرژی الکترون‌های پیوند، عنوان شده است. این انرژی (E_G) برای سیلیکن حدود $1/1\text{eV}$ و برای ژرمانیم حدود $0/72\text{eV}$ می‌باشد.

(ژول $1\text{eV} = 1/6 \times 10^{-19}$).

اجسام نیمه هادی در دمای صفر مطلق همانند عایق عمل نموده و هیچ گونه هدایت الکتریکی از خود بروز نمی‌دهند و تنها در دماهای بالاتر است که تعدادی حامل بار الکتریکی یعنی الکترون آزاد و حفره در نیمه هادی به وجود می‌آیند. چون در هر دما تعداد حفره‌های تشکیل شده با تعداد الکترون‌های آزاد ایجاد شده برابر است.

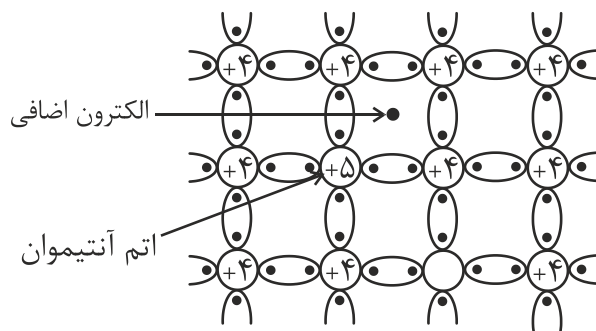
برای بالا بردن چگالی حامل‌های آزاد در نیمه هادی‌ها، می‌توان با تزریق درصد ناچیزی از یک عنصر سه یا پنج ظرفیتی به بلور، آن را تغلیظ نمود. خواهیم دید که تزریق عناصر پنج ظرفیتی از قبیل آنتیموان (Sb)، فسفر (P) و آرسنیک (As) باعث افزایش چگالی الکترون‌های آزاد در بلور خواهد شد. بدین لحاظ به ناخالصی‌های پنج ظرفیتی ناخالصی نوع N یا ناخالصی بخشنده گویند. از طرف دیگر افزایش عناصر سه ظرفیتی، موجب بالا رفتن چگالی حامل‌های مثبت یا حفره‌ها در بلور می‌شود. ناخالصی‌های سه ظرفیتی را ناخالصی نوع P یا ناخالصی پذیرنده می‌نامند. از جمله ناخالصی‌های نوع P می‌توان عناصر سه ظرفیتی ایندیم (In)، گالیم (Ga) و بور (B) را نام برد.

حال ببینیم چگونه افزایش اتم‌های ناخالصی به ایجاد حامل‌های بار اضافی در بلور کمک می‌کند. فرض کنید به بلور سیلیکن، تعدادی از اتم‌های آنتیموان را تزریق کنیم. هر اتم پنج ظرفیتی آنتیموان دارای پنج الکترون ظرفیت است و در شبکه بلور سیلیکن چهار الکترون ظرفیت خود را در چهار پیوند کووالان با اتم‌های سیلیکن مجاور خود به اشتراک می‌گذارد. الکترون پنجم در هیچ پیوند مشترکی قرار نگرفته و فقط وابستگی بسیار ناچیزی به هسته اتم آنتیموان دارد. این وابستگی آنقدر ناچیز است که در دمای ۵۰ تا ۱۰۰ درجه کلون الکترون پنجم انرژی لازم ($0/05\text{eV}$) برای جدا شدن کامل از اتم مادر را به دست آورده و به صورت یک الکترون آزاد در اختیار شبکه بلور سیلیکن قرار می‌گیرد. بدین ترتیب افزایش ناخالصی نوع N، چگالی الکترون‌های آزاد را در بلور نیمه هادی بالا برده و اصطلاحاً آن را به نیمه هادی نوع N تبدیل می‌کند.

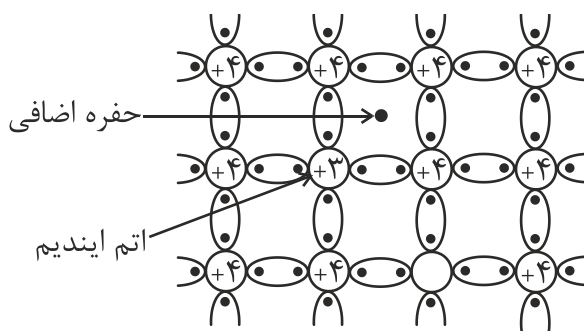
اتم‌های ناخالصی سه ظرفیتی در آخرین نوار ظرفیت خود تنها سه الکترون دارند. بنابراین چنانچه این اتم‌ها به سیلیکن یا ژرمانیم تزریق شوند، هر اتم ناخالصی با سه الکترون ظرفیت خود، تنها سه پیوند کووالان از چهار پیوند اتم‌های اطراف خود را تکمیل نموده و در پیوند چهارم جای یک الکترون باقی می‌ماند. این جای خالی در واقع یک حفره جدید است که در بلور به وجود آمده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود به ازای هر اتم ناخالصی سه ظرفیتی یک حفره اضافی در اختیار بلور قرار می‌گیرد. اتم‌های ناخالصی در دمای معمولی به سرعت یونیزه می‌شوند. این یونیزه شدن به این صورت است که یک الکترون از یک اتم سیلیکن شامل حفره به وجود می‌آید.

بلور نیمه هادی شامل اتم‌های ناخالصی سه ظرفیتی را نیمه هادی نوع P گویند. با توجه به بحث فوق در نیمه هادی نوع P، در دمای معمولی، حفره‌ها در پیوندهای مربوط به اتم‌های خود نیمه هادی - و نه در پیوندهای مربوط به اتم‌های ناخالصی - قرار دارند.



نمایش ساختمان شبکه بلور سیلیکن با ناخالصی بخشنده آنتیموان



نمایش ساختمان شبکه بلوری سیلیکن با ناخالصی پذیرنده ایندیم

پیش آزمون ۲

دیودهای پیوندی

دیود پیوندی در واقع یک پیوند $P - N$ است که به دو سر آن دو قطعه سیم فلزی جهت اتصال به مدار خارجی تعبیه گردیده و مجموعه در داخل یک پوشش مناسب قرار داده شده است. در شکل‌های زیر، نمایش نمادین ساختمان یک دیود پیوندی و علامت مداری آن نشان شده است. سر طرف P را اصطلاحاً قطب مثبت یا آند و سر طرف N را قطب منفی یا کاتد می‌نامند. پیوند در بلور P و N دارای خاصیت یکسوکنندگی جریان است. در محل اتصال فلز و بلور نیز ممکن است خاصیت یکسوکنندگی به وجود آید.



مشخصه ولتاژ - جریان

همانند آنچه که در مورد یک پیوند $P - N$ دیدیم، یک دیود نیز می‌تواند به دو صورت به ولتاژ خارجی متصل شود و یا اصطلاحاً بایاس شود. در بایاس مستقیم، آند به قطب مثبت منبع ولتاژ و کاتد به قطب منفی آن متصل می‌شود و در بایاس معکوس جای آند و کاتد عوض می‌شود.

در بایاس مستقیم دیود، اگر ولتاژ دو سر دیود را به تدریج از صفر افزایش دهیم، در ابتدا جریان کمی از مدار عبور خواهد کرد. همین که ولتاژ مثبت به حد معینی (در حدود ولتاژ تماس پیوند $P - N$) رسید، جریان شروع به افزایش می‌نماید. این ولتاژ حدی را ولتاژ آستانه هدایت دیود گویند و با V_T نمایش می‌دهند. برای دیودهای ژرمانیم حدود 0.2 ولت و برای دیودهای سیلیکن حدود 0.6 ولت می‌باشد.

برای ولتاژهای بزرگ‌تر از V_T ، به ازای تغییرات کوچکی در ولتاژ، جریان به شدت افزایش می‌یابد، این جریان در مورد پیوند $P - N$ از نفوذ حامل‌های اکثریت ناشی می‌شود.

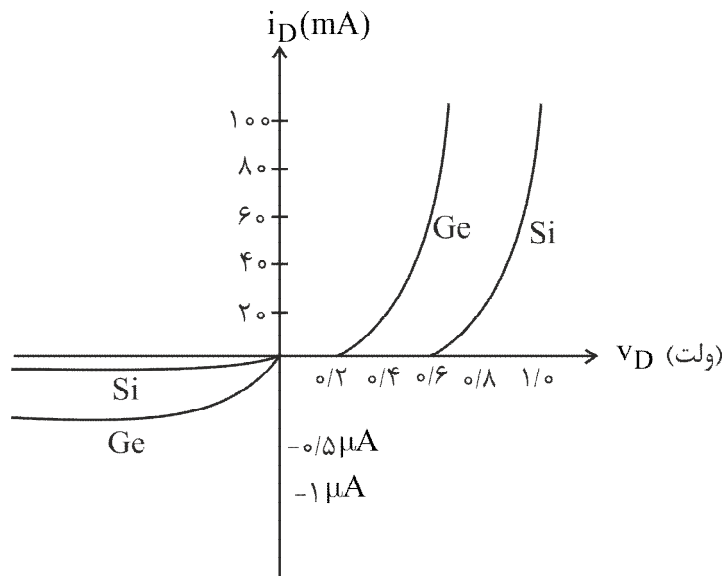
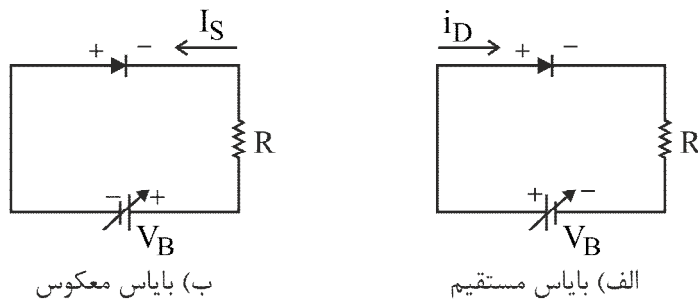
در بایاس معکوس دیود، با افزایش ولتاژ معکوس، حامل‌های اقلیت بیشتری شروع به حرکت نموده و جریان افزایش می‌یابد تا به اشباع می‌رسد. پس از آن تغییر ولتاژ تا حد معینی (حد شکست) تغییری در جریان ایجاد نمی‌کند. جهت این جریان از کاتد به آند می‌باشد و به همین دلیل به آن جریان اشباع معکوس می‌گویند. اندازه جریان اشباع معکوس در دیودهای ژرمانیم در حدود میکرو آمپر و در دیودهای سیلیکن حدود چند نانو آمپر می‌باشد. در شکل صفحه بعد مشخصه ولتاژ جریان برای دو نمونه دیود نشان داده شده است.

در این شکل به منظور نشان دادن تغییرات جریان معکوس، مقیاس برای جریان‌های منفی میکرو آمپر انتخاب گردیده است. واضح است اگر مقیاس را میلی‌آمپر انتخاب می‌کردیم جریان اشباع معکوس قابل رؤیت نبود و منحنی در این بخش عملاً بر محور افقی منطبق می‌شد.

می‌توان نشان داد که رابطه‌ی جریان - ولتاژ برای یک دیود پیوندی به صورت زیر است:

$$i_D \simeq I_S (e^{\frac{v_D}{\eta V_T}} - 1) \quad (*)$$

(دقت داشته باشید که e یک عدد اصم است و مقدار تقریبی آن تا سه رقم اعشار برابر است با $2/718$)



مشخصه ولتاژ - جریان دیوذهای ژرمانیم و سیلیکن نمونه

در این معادله که در حقیقت معادله مشخصه دیود است، I_S جریان اشباع معکوس و $V_T = KT/q$ می‌باشد. در دمای معمولی $V_T(25^\circ C)$ معادل ۲۶ میلی ولت است. پارامتر ثابت η وابسته به جنس دیود و ساختار فیزیکی آن مقداری بین ۱ و ۲ دارد. معمولاً برای دیودهایی که در قالب مدارهای مجتمع ساخته می‌شوند η برابر ۱ و برای آن‌هایی که به صورت مجزا عرضه می‌شوند برابر ۲ در نظر گرفته می‌شود.

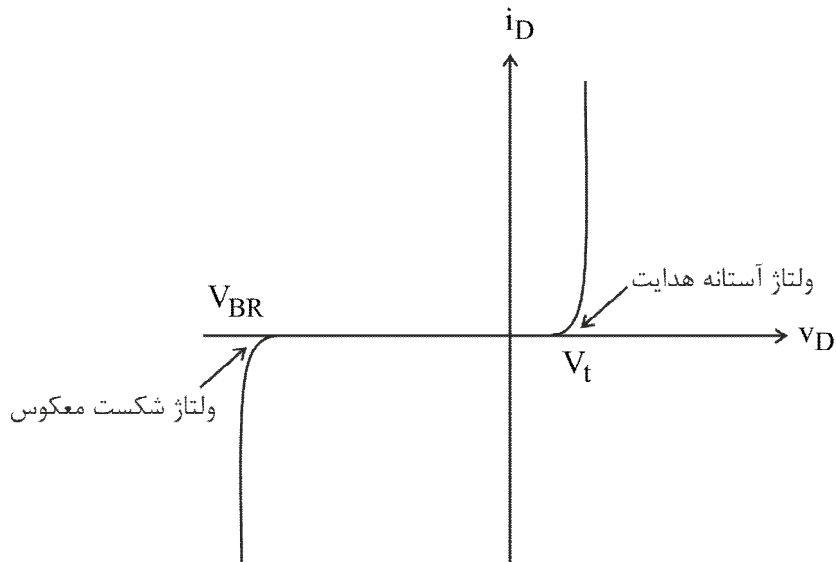
معادله‌ی (*) برای تمامی قسمت‌های مشخصه غیر از ناحیه شکست، صادق است. برای ولتاژهای مثبت خیلی بزرگ‌تر از ۲۶ میلی‌ولت ($v_D \gg 26mV$) می‌توان نوشت:

$$i_D \simeq I_S e^{v_D/\eta V_T}$$

پیش‌آزمون ۳

ولتاژ شکست دیود

در بررسی مشخصه ولتاژ - جریان دیود دیدیم که با افزایش ولتاژ معکوس دیود جریان از مقدار I_S تجاوز نمی‌کند. چنانچه ولتاژ معکوس دیود را باز هم افزایش دهیم به نقطه‌ای خواهیم رسید که جریان معکوس دیود به طور ناگهانی شروع به افزایش سریع می‌نماید. پدیده‌ای را که در این حالت رخ می‌دهد پدیده شکست و ولتاژی را که در این پدیده آغاز می‌شود ولتاژ شکست معکوس دیود گویند و با V_{BR} نمایش می‌دهند. ولتاژ شکست دیود به ساختمان پیوند $P - N$ و غلظت ناخالصی آن بستگی دارد؛ به گونه‌ای که می‌توان پیوندهایی با ولتاژ شکست معین ساخت. شکست دیود می‌تواند حاصل یکی از دو پدیده شکست ضرب بهمینی و شکست زنر باشد.



نمایش مشخصه ولتاژ - جریان دیود

پدیده شکست ضرب بهمینی

در بایاس معکوس پیوند $P - N$ ، با ازدیاد ولتاژ معکوس دیود، عرض ناحیه تهی بیشتر شده و همچنین شدت میدان الکتریکی در این ناحیه افزایش می‌یابد. در این حالت حامل‌های اقلیت در واقع در سرایشی سد پتانسیل ناشی از پتانسیل داخلی و ولتاژ معکوس اعمال شده قرار گرفته و سرعت آن‌ها به شدت افزایش می‌یابد. این حامل‌ها با شتاب گرفتن خود می‌توانند با اتم‌های سیلیکن واقع در ناحیه تهی برخورد نموده و ضمن شکستن پیوندهای کووالان آن‌ها تعدادی حامل جدید آزاد نمایند. حامل‌های جدید نیز تحت تأثیر میدان الکتریکی زیاد در ناحیه تهی قرار گرفته و پس از برخورد با اتم‌های دیگر،

حامل‌های بیشتری را از پیوندهای کووالان آن‌ها جدا می‌سازند. بنابراین تعداد حامل‌هایی که می‌توانند در ایجاد جریان دخالت کنند به طور ناگهانی افزایش یافته و باعث ازدیاد سریع جریان می‌شوند. این پدیده را که موجب افزایش ناگهانی جریان معکوس دیود می‌شود، پدیده شکست ضرب بهمنی گویند.

پدیده شکست زنر

پدیده دیگری که ممکن است باعث ایجاد شکست در مشخصه ولتاژ - جریان دیود شود به پدیده زنر معروف است. تشریح این پدیده به این صورت است که با ازدیاد ولتاژ معکوس دیود شدت میدان الکتریکی در ناحیه تهی ممکن است به حدی برسد که بتواند مستقیماً پیوندهای کووالان اتم‌های سیلیکن ناحیه را شکسته و الکترون‌های زیادی را آزاد نماید. در این حالت جدا شدن الکترون‌ها ناشی از برخورد سایر الکترون‌ها با آن‌ها (آن‌طور که در پدیده ضرب بهمنی دیدیم) نبوده، بلکه ناشی از تأثیر مستقیم میدان الکتریکی ناحیه تهی بر آن‌ها است. این پدیده نیز باعث افزایش سریع جریان معکوس دیود می‌شود. احتمال وقوع پدیده ضرب بهمنی در دیودهای سیلیکونی که ولتاژ شکست آن‌ها بیش از ۶ ولت است بیشتر می‌باشد. در حالی که شکست زنر به صورت پدیده غالب، تنها در دیودهای با ولتاژ شکست کمتر از ۶ ولت یافت می‌شود. با استفاده از حساسیت ولتاژ شکست نسبت به دما می‌توان دریافت کدام پدیده در حال وقوع است. در شکست زنر با افزایش دما اندازه ولتاژ کاهش می‌یابد، در حالی که در پدید ضرب بهمنی عکس آن است.

پیش آزمون ۴

مقاومت الکتریکی دیود

با توجه به غیرخطی بودن مشخصه دیود، دو نوع مقاومت می‌توان برای دیود تعریف نمود. این مقاومت‌ها عبارت از مقاومت استاتیکی (R_s) و مقاومت دینامیکی (r_d) هستند.

مقاومت استاتیکی

منظور از مقاومت استاتیکی دیود در هر نقطه Q از مشخصه آن، نسبت ولتاژ دو سر دیود به جریان آن در نقطه مورد نظر است. این مقاومت به صورت زیر تعریف می‌شود:

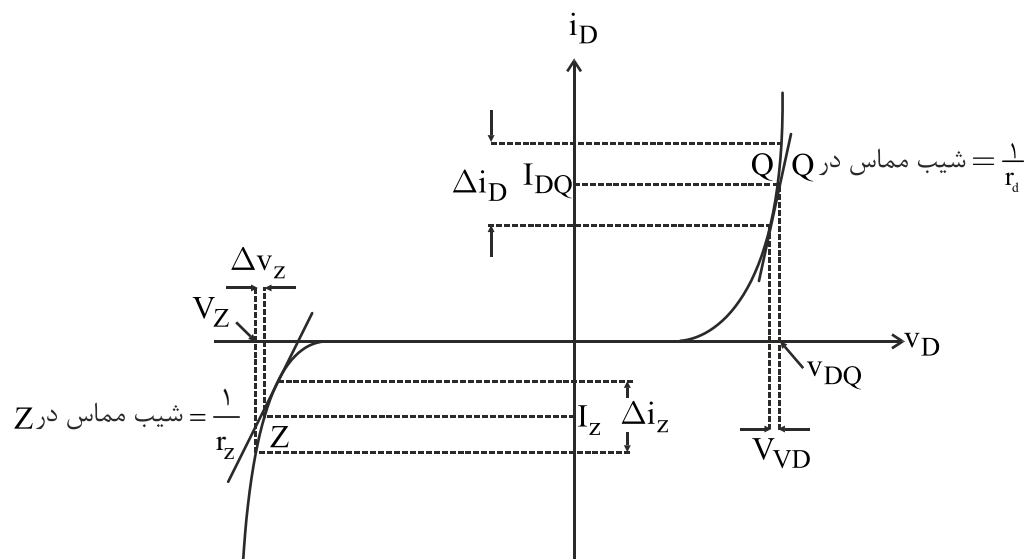
$$R_s = \frac{v_D}{i_D} \Big|_Q = \frac{V_{DQ}}{I_{DQ}}$$

مقاومت استاتیکی دیود مقدار ثابتی نبوده و در نقاط مختلف از مشخصه دیود متفاوت است.

مقاومت دینامیکی

بنا به تعریف، مقاومت دینامیکی دیود عبارت از نسبت تغییرات ولتاژ دو سر دیود به تغییرات جریان آن است.

$$r_d \approx \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D}$$



نمایش منحنی مشخصه دیود و نحوه به دست آوردن مقاومت‌های استاتیکی و دینامیکی

همان‌طور که از شکل مشخص است، این مقاومت در واقع عکس شیب مشخصه در هر نقطه از آن می‌باشد. با استفاده از معادله مشخصه دیود نیز می‌توان مقاومت دینامیکی آن را محاسبه نمود.

$$r_d = \left(\frac{I_s}{nV_T} e^{V_{DQ}/\eta V_T} \right)^{-1} = \frac{\eta V_T}{I_s e^{V_D/\eta V_T}}$$

رابطه‌ی بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$r_d \simeq \frac{\eta V_T}{I_{DQ} + I_s}$$

در ولتاژهای مستقیم و در حالت هدایت دیود، $I_{DQ} \gg I_s$ است و بنابراین خواهیم داشت:

$$r_d \simeq \frac{\eta V_T}{I_{DQ}}$$

اگر در نظر بگیریم که در ناحیه معکوس $i_D = -I_s$ است، برای r_d مقدار بی‌نهایت به دست می‌آید. مقاومت دینامیکی دیود را در ناحیه شکست با r_z نمایش می‌دهند. از آنجا که معادله مشخصه‌ی دیود، ناحیه شکست را شامل نمی‌شود، نمی‌توان از آن برای محاسبه r_z استفاده نمود.

پیش آزمون ۵

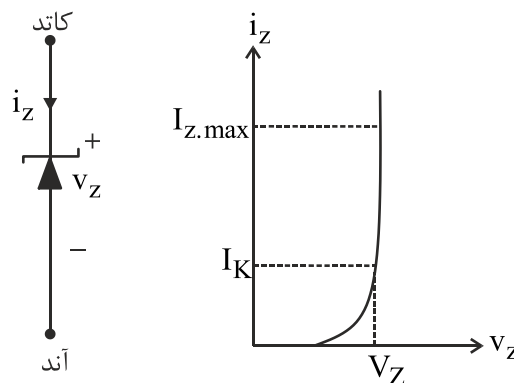
انواع دیودها

دیود زنر

در ناحیه شکست، ولتاژ دو سر دیود تقریباً ثابت بوده و تغییر جریان در آن تأثیری ندارد. دیودهایی که به منظور استفاده در ناحیه شکست معکوس ساخته شده‌اند به دیود زنر معروف هستند. البته این‌که این دیودها را زنر نامیده‌اند بدان مفهوم نیست که پدیده ضرب بهمنی در آن‌ها صورت نمی‌گیرد، بلکه هر دو پدیده می‌توانند در ایجاد شکست در این دیودها نقش داشته باشند. ولتاژ شکست این نوع دیودها را ولتاژ زنر نیز می‌نامند و با V_Z نمایش می‌دهند.

مقدار ولتاژ شکست در دیود زنر به میزان چگالی ناخالصی بستگی دارد. با افزایش چگالی ناخالصی ولتاژ شکست دیود کاهش می‌یابد. دیودهای زنر تجارتي یا ولتاژ زنر از $2/4$ تا 200 ولت و تا توان‌های حدود 100 وات ساخته می‌شوند. در شکل زیر علامت مداری دیود زنر و مشخصه معکوس آن نمایش داده شده است.

چون دیود زنر باید به صورت معکوس بایاس شود، کاتد آن به قطب مثبت منبع ولتاژ و آند آن به قطب منفی وصل می‌شود. در این صورت جهت جریان از کاتد به آند خواهد بود. معمولاً کارخانه سازنده یک جریان حداقل I_K و یک جریان حداکثر مشخص می‌نماید که تغییرات جریان دیود زنر باید محدود به آن‌ها شود ($I_K \leq i_Z \leq I_{Zmax}$). قابل توجه است که مشخصه دیود زنر در حالت بایاس مستقیم مشابه دیودهای معمولی است. از دیود زنر جهت تثبیت ولتاژ در تنظیم کننده‌های ولتاژ استفاده می‌شود.



علامت مداری و مشخصه دیود زنر

دیود خازنی

هرگاه یک پیوند $P - N$ به صورت معکوس بایاس شود، در حوالی پیوند یک ناحیه تهی و یا بار فضایی متشکل از بارهای ساکن مثبت در طرف N و بارهای ساکن منفی در طرف P به وجود می‌آید. با توجه به این‌که در نواحی خنثای P و N ، حامل‌های بار الکتریکی آزاد بوده و همانند هادی عمل می‌کنند، می‌توان پیوند $P - N$ را در این حالت به صورت خازنی مدل‌سازی نمود که در آن، نواحی خنثی همانند دو جوشن خازن، ناحیه تهی (همانند دی الکتریک خازن) را در میان گرفته‌اند. اندازه‌ی ظرفیت این خازن را می‌توان از رابطه‌ی تقریبی زیر به دست می‌آید:

$$C_T \simeq \frac{\epsilon A}{W}$$

در رابطه‌ی فوق C_T ظرفیت خازنی ناحیه تهی، A سطح مقطع پیوند، ϵ ضریب دی الکتریک ناحیه تهی که بستگی به جنس بلور و نحوه‌ی توزیع بار در این ناحیه دارد و W عرض ناحیه تهی می‌باشد. چون عرض ناحیه‌ی تهی (W) با افزایش ولتاژ معکوس پیوند تغییر می‌کند، بنابراین خازن پیوند را می‌توان به عنوان یک خازن متغیر با ولتاژ در نظر گرفت. دیودهایی که منحصراً جهت استفاده به عنوان یک خازن متغیر ساخته می‌شوند به دیود خازنی و یا دیود ورکتور مشهور هستند. این گونه دیودها همیشه به صورت معکوس بایاس می‌شوند. دیودهای خازنی معمولاً از جنس سیلیکن ساخته می‌شوند. از دیود خازنی برای تنظیم ولتاژ مدارهای تشدید LC در نوسانسازها و نیز در مدارهای مدولاسیون فرکانس استفاده می‌شود.

دیود نورانی (LED)

دیودهای نورانی معمولاً از بلور نیمه هادی گالیم - آرسنیک ($Ga - As$) ساخته می‌شوند. در این بلور بازده ترکیب مجدد الکترون آزاد و حفره بسیار بیشتر از بلورهای سیلیکن یا ژرمانیم است. نکته دیگر در مورد این بلور آن است که آزاد شدن انرژی در هر ترکیب مجدد به صورت تابش یک فوتون نوری است. در بلورهای سیلیکن و ژرمانیم این انرژی به شکل دما تلف می‌شود. مشخصه دیودهای نورانی مشابه دیودهای معمولی است. تنها، تفاوت در ولتاژ آستانه هدایت است که در دیودهای نورانی مادون قرمز تا سبز مقدار آن از $1/4$ تا $2/9$ ولت تغییر می‌کند. دیودهای نورانی به صورت مستقیم بایاس می‌شوند. با افزایش جریان مستقیم، تولید فوتون‌های نوری زیادتر شده و در نتیجه شدت نور تابشی افزایش می‌یابد. امروزه دیودهای نورانی برای نورهای قرمز، زرد، سبز و مادون قرمز ساخته شده‌اند. دیودهای نورانی در نمایش‌گرهای دیجیتالی برای نشان دادن اعداد و یا حروف مورد استفاده قرار می‌گیرند، از جمله موارد مهم کاربرد دیودهای نورانی مادون قرمز، مخابرات فیبر نوری است.

دیود نوری

در این نوع دیود، شدت جریان معکوس تقریباً متناسب با شدت نور تابش شده به سطح آن می‌باشد. این نوع دیود در حقیقت یک پیوند $P - N$ معمولی است که در داخل یک پوشش پلاستیکی که یک طرف آن شفاف می‌باشد قرار گرفته است. دیود نوری به صورت معکوس بایاس می‌شود. با تابش فوتون‌های نوری به محل پیوند و جذب این فوتون‌ها توسط الکترون‌های پیوندهای کووالان اتم‌های نیمه هادی، به میزان حامل‌های اقلیت افزوده شده و جریان این حامل‌ها تشدید می‌شود. معمولاً مشخصه ولتاژ - جریان دیودهای نوری توسط کارخانه سازنده داده می‌شود. در این مشخصه‌ها تغییرات جریان معکوس دیود بر حسب ولتاژ معکوس دو سر آن به ازای مقادیر مختلف شار نورانی نمایش داده می‌شود. دیودهای نوری در صنعت کاربردهای زیادی دارند. از جمله در خواندن اطلاعات کارت‌های سوراخ شده کامپیوتری، شمردن اشیاء در خط تولید، کلیدهای نوری و نیز در مخابرات فیبرنوری به کار می‌روند.

سوالات عمومی

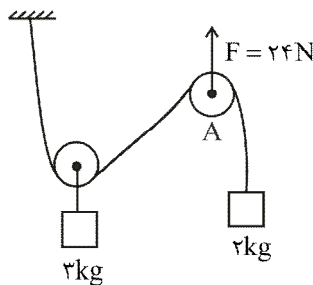
(تذکر $\log_e^2 = \ln 2 = 0.693$)

۱. دو اتومبیل داریم که کاملاً شبیه به یکدیگر هستند. فاصله‌ی محور چرخ‌های جلو از چرخ‌های عقب برابر با $L = 3m$ و مرکز جرم هر یک از اتومبیل‌ها در ارتفاع $H = 0.7m$ از سطح زمین و در فاصله‌ی مساوی از چهار چرخ قرار دارد. ضریب اصطکاک چرخ‌ها با جاده برابر $\mu = 0.8$ است. جرم هر یک از اتومبیل‌ها برابر یک تن و توان موتور هر کدام برابر با یکصد کیلو وات است. تنها فرق این اتومبیل‌ها در نحوه‌ی انتقال قدرت از چرخ‌ها به یکدیگر است. در اتومبیل اول قدرت از چرخ‌های جلو به چرخ‌های عقب منتقل می‌شود و در اتومبیل دوم، انتقال قدرت از چرخ‌های عقب به چرخ‌های جلو صورت می‌گیرد. دو اتومبیل در خط شروع قرار می‌گیرند و همزمان با هم استارت می‌زنند. پس از یک فاصله‌ی ۱۰ متری کدام اتومبیل جلوتر می‌افتد و

اختلاف زمانی رسیدن آن‌ها به خط نشان ۱۰ متری تقریباً چند ثانیه است؟ ($g = 10m/s^2$)

- (۱) اولی - ۰/۶ ثانیه
(۲) دومی - ۰/۲ ثانیه
(۳) اولی - ۰/۸ ثانیه
(۴) دومی - ۰/۴ ثانیه
(۵) هر دو با هم می‌رسند.

۲. در شکل زیر از جرم نخ، قرقره‌ها و همین‌طور از کلیه‌ی اصطکاک‌ها صرف‌نظر شده است. شتاب محور قرقره‌ی A که نیروی قائم $F = 24N$ به آن وارد می‌شود، کدام است؟ ($g = 10N/kg$)



- (۱) $4m/s^2$
(۲) $2/5m/s^2$
(۳) $6m/s^2$
(۴) $5/5m/s^2$
(۵) $1/5m/s^2$

۳. روزی شرلوک هولمز و همکارش واتسون در حال قدم زدن در یکی از خیابان‌های لندن بودند. ناگهان از یکی از کوچه‌های فرعی کالسکه‌ای به سرعت جلوی آن‌ها پیچید و چیزی نمانده بود که هر دو را زیر بگیرد. واتسون که از این وضعیت کاملاً عصبی شده بود، گفت که در این شهر همه مثل دیوانگان رانندگی می‌کنند. هولمز به دوستش اطمینان داد که بیشترین سرعت کالسکه از x (متر بر ثانیه) بیشتر نبوده است. او گفت که پرتوهای نور خورشید که توسط شیشه‌ی کناری کالسکه روی تیر چراغ روشنایی (که در فاصله‌ی ده فوتی از کالسکه قرار دارد) کانونی شده‌اند. با توجه به داستان بالا مقدار x برابر با چه عددی است؟ (هر فوت معادل تقریباً ۰/۳

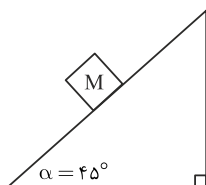
متر و $g = 10 \frac{N}{kg}$ است) جواب را به نزدیک‌ترین عدد صحیح رو به بالا گرد کنید.

- (۱) $8m/s$ (۲) $16m/s$ (۳) $13m/s$ (۴) $5m/s$ (۵) $10m/s$

۴. دو جاده‌ی مستقیم متقاطع داریم که با یکدیگر زاویه‌ی 30° درجه می‌سازند. در این دو جاده دو اتومبیل در حال حرکت به طرف تقاطع هستند. سرعت اتومبیل اول برابر با $V_1 = 10m/s$ و سرعت اتومبیل دوم برابر با $V_2 = 10\sqrt{3} = 17.3m/s$ است. سرعت هر دو اتومبیل ثابت است. هنگامی که فاصله‌ی بین اتومبیل‌ها به حداقل مقدار خود می‌رسد، نخستین اتومبیل در فاصله‌ی ۲۰۰ متری تقاطع قرار دارد. در این لحظه فاصله‌ی اتومبیل دوم از تقاطع تقریباً چند متر است؟

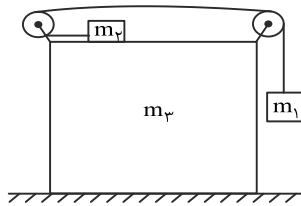
- (۱) ۱۰۹ (۲) ۱۱۵ (۳) ۹۶ (۴) ۱۲۲ (۵) ۹۱

۵. مطابق شکل زیر یک سطح شیب‌دار به جرم m روی سطح افقی قرار دارد و وزنه‌ای به جرم $M = 1000m$ روی این سطح شیب‌دار است. زاویه‌ی سطح شیب‌دار با سطح افقی برابر با $\alpha = 45^\circ$ است. سطح شیب‌دار چه نیرویی بر وزنه‌ی M در راستای عمود بر خود وارد می‌کند؟ ضریب اصطکاک بین سطح شیب‌دار و سطح افقی برابر 0.2 می‌باشد و وزنه‌ی M می‌تواند بدون اصطکاک روی سطح شیب‌دار بلغزد. (جواب بر حسب نزدیک‌ترین ضریب تقریبی و صحیح از mg مدنظر است.)



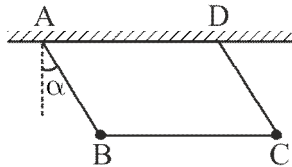
- (۱) ۲ (۲) ۴ (۳) ۶ (۴) ۵ (۵) ۳

۶. دستگاه زیر از حالت سکون شروع به حرکت می‌کند. هیچ اصطکاکی بین سطوح و نیز قرقره و نخ‌ها وجود ندارد و از جرم نخ و قرقره‌ها نیز صرف‌نظر می‌شود. جرم هر سه وزنه m_1 ، m_2 و m_3 با هم برابر است. شتاب وزنه m_1 کدام است؟



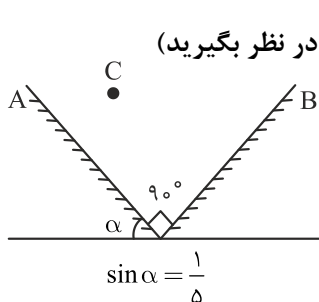
- (۱) $g\sqrt{\frac{2}{3}}$ (۲) $g\frac{\sqrt{2}}{2}$ (۳) g
 (۴) $\frac{g}{\sqrt{3}}$ (۵) $g\sqrt{\frac{2}{5}}$

۷. مطابق شکل زیر یک تخته بسیار سبک و پهن BC (که می‌توان از جرم آن صرف‌نظر نمود) توسط دو میله‌ی سبک AB و DC که طول هر کدامشان ۱۲cm است، از نقاط A و D آویزان شده است. در فاصله‌ی ۴cm از نقطه‌ی C روی میله‌ی DC یک گوی تو خالی به جرم M قرار داده شده است. روی تخته نیز مهره‌ای به جرم m قرار دارد که در مقایسه با جرم M کوچک است. این سیستم می‌تواند آزادانه حول یک محور قائم که از نقطه‌ی A می‌گذرد، نوسان کرده و حرکت‌های رفت و برگشتی را انجام دهد. اگر α حداقل زاویه‌ای باشد که به ازای آن مهره از روی BC بلند می‌شود، مقدار $\sin \alpha$ برابر با چه عددی است؟ از کلیه‌ی اصطکاک‌ها صرف‌نظر کنید. ضمناً AB و DC با هم موازی‌اند.



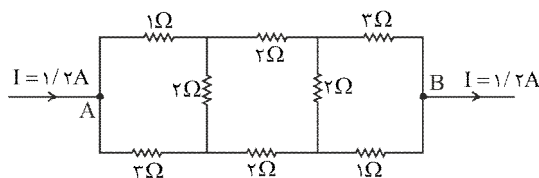
- (۱) $\sqrt{\frac{3}{5}}$ (۲) $\sqrt{\frac{2}{5}}$ (۳) $\sqrt{\frac{2}{3}}$
 (۴) $\sqrt{\frac{1}{6}}$ (۵) $\sqrt{\frac{3}{8}}$

۸. یک گلوله‌ی کوچک از نقطه‌ی C رها می‌شود و به سطح A که با افق زاویه‌ی α می‌سازد، برخورد می‌کند. سطح B نیز عمود بر سطح A قرار گرفته است و فاصله‌ی نقطه‌ی C از صفحه‌ی B برابر با ۱۶ سانتی‌متر است. پس از چند ثانیه از لحظه‌ی پرتاب، گلوله به صفحه‌ی B برخورد خواهد کرد؟ (از هرگونه اتلاف انرژی در برخوردها صرف‌نظر کرده و مقدار g را برابر با $10 \frac{N}{kg}$ و $\sin \alpha$ را مساوی با $\frac{1}{5}$ در نظر بگیرید)



- (۱) ۰/۴
 (۲) ۰/۵
 (۳) ۰/۸
 (۴) ۱/۲
 (۵) ۱/۴

۹. در مدار شکل زیر اگر شدت جریان وارد شده به نقطه‌ی A برابر با $1/2A$ باشد، اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه‌ی A و B چند ولت است؟

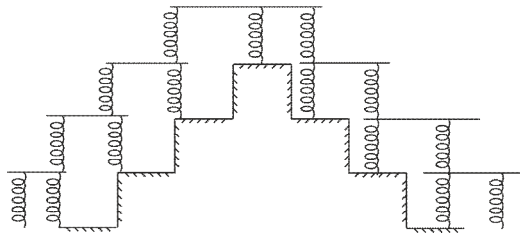


- (۱) ۱/۶
 (۲) ۲/۸
 (۳) ۳/۶
 (۴) ۳/۲
 (۵) ۴

۱۰. یک قطار باربری به جرم m که برای حمل زغال سنگ از معدن مورد استفاده قرار می‌گیرد، تحت تأثیر نیروی ثابت لکوموتیوی که به آن متصل است، شروع به حرکت می‌کند. در فواصل زمانی برابر و مشخص در سکوها‌ی بارگیری، جرم‌های مساوی از زغال، داخل قطار ریخته می‌شود. سرعت قطار نسبت به زمان از رابطه‌ی $V = \frac{V_0 t}{t_0 + t}$ به دست می‌آید که در آن V_0 و t_0 اعدادی ثابت هستند. نیروی لکوموتیو کدام است؟

- (۱) $\frac{2mV_0}{t_0}$ (۲) $\frac{mV_0}{2t_0}$ (۳) $\frac{mV_0}{4t_0}$ (۴) $\frac{mV_0}{t_0}$ (۵) $\frac{4mV_0}{t_0}$

۱۱. شبکه‌ی نامحدودی از فنرها مطابق شکل زیر وجود دارد. اگر همه‌ی فنرها مشابه بوده و ثابت فنر برای هر یک از آن‌ها k باشد، ثابت معادل شبکه‌ی فنرهای بی‌نهایت شکل زیر کدام است؟



- (۱) $k\sqrt{2}$
- (۲) $\frac{(1+\sqrt{5})}{2}k$
- (۳) $k\sqrt{5}$
- (۴) $(\frac{1+\sqrt{2}}{2})k$
- (۵) k

(راهنمایی: اگر دو فنر با ثابت‌های k_1 و k_2 به صورت متوالی به هم وصل شوند، ثابت فنر معادل برابر $\frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$ و در صورتی که به صورت موازی به یکدیگر متصل شوند، ثابت فنر معادل برابر $k_1 + k_2$ خواهد بود.)

۱۲. گلوله‌ی کوچکی با سرعت افقی $۷۲۰ \frac{km}{h}$ از مقابل دوربینی رد می‌شود. اگر فاصله‌ی گلوله هنگام عبور از مقابل دوربین ۲۶ متر و فاصله‌ی کانونی عدسی دوربین $1/3$ سانتی‌متر باشد، دریچه‌ی دوربین چه زمانی بر حسب میلی ثانیه باز بماند تا طول تصویر گلوله بر فیلم برابر با ۲ میلی‌متر باشد؟

- (۱) ۱۲
- (۲) $17/5$
- (۳) ۲۵
- (۴) ۱۶
- (۵) ۲۰

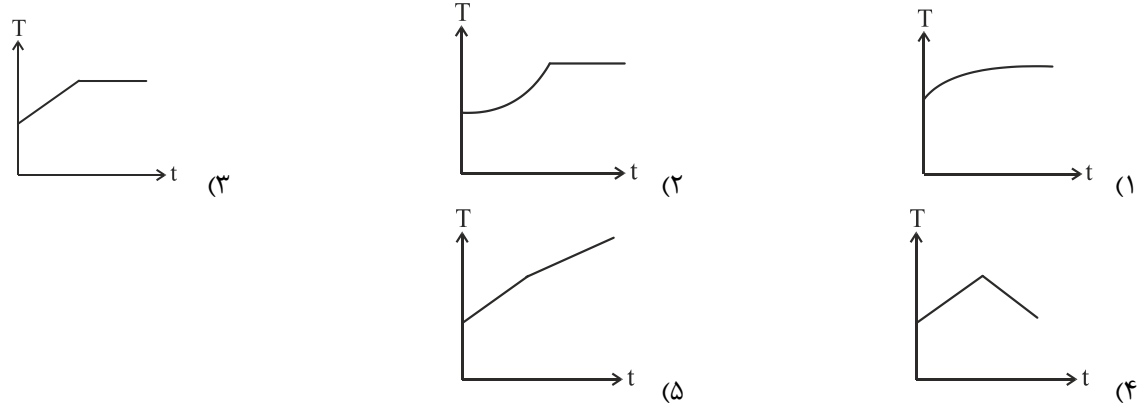
۱۳. تیری به طول ۲ متر به طور قائم بر کف استخر آبی نصب شده است. نیم متر از این تیر از آب بیرون است. آفتاب با زاویه‌ی 53° نسبت به خط قائم بر سطح آب می‌تابد. طول سایه‌ای از تیر که بر کف استخر می‌افتد، تقریباً چند سانتی‌متر است؟ ($\sin 53^\circ = 4/5$) و ضریب شکست آب برابر $4/3$ است.)

- (۱) ۱۷۵
- (۲) ۱۸۰
- (۳) ۱۹۲
- (۴) ۱۶۵
- (۵) ۱۹۰

۱۴. اگر پرتو نوری موازی محور اصلی آینه‌ی کاوی به شعاع R و به فاصله‌ی d از محور به آن بتابد، فاصله‌ی محل تقاطع پرتو بازتابش با محور اصلی از رأس آینه کدام است؟

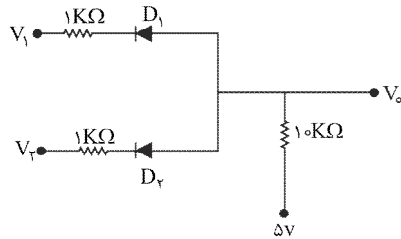
- (۱) $\frac{R}{2} (1 - (\frac{d}{R})^2)$
- (۲) $\frac{R}{2}$
- (۳) $\frac{R}{2} (2 - \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{d}{R})^2}})$
- (۴) $\frac{R}{2} \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{d}{R})^2}}$
- (۵) $\frac{R}{\sqrt{1 - (\frac{d}{R})^2}}$

۱۵. یک کتری آب را روی اجاق گاز می‌گذاریم. حرارت شعله تقریباً ثابت است. با فرض این که مقدار آبی که قبل از جوشیدن آب تبخیر می‌شود، ناچیز باشد، کدام یک از این نمودارها به نمودار دمای آب داخل کتری (T) بر حسب زمان (t) نزدیک‌تر است؟



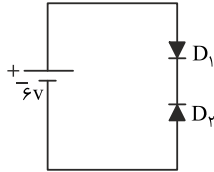
سوالات اختصاصی

۱۶. در مدار شکل زیر دیودها ایده آل هستند. اگر $V_1 = 5V$ و $V_2 = 0$ باشند، مقدار V_o بر حسب ولت تقریباً کدام است؟

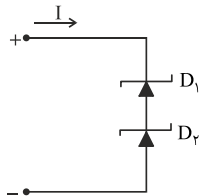


- (۱) ۰/۴۵
- (۲) ۰/۲۵
- (۳) ۱/۲
- (۴) ۰/۸
- (۵) صفر

۱۷. در مدار شکل زیر دیودها مشابه و از نوع سیلیکن و دارای $I_s = 10nA$ هستند. در صورتی که ولتاژ شکست دیودها برابر ۵ ولت باشد، اختلاف پتانسیل دو سر دیود D_2 چند ولت است؟



- (۱) ۶
- (۲) ۵
- (۳) ۱
- (۴) صفر
- (۵) ۴



- با توجه به شکل زیر که دو دیود D_1 و D_2 را نشان می‌دهد که جریان اشباع معکوس آن‌ها به ترتیب $1\mu A$ و $2\mu A$ است، به سؤال‌های ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ پاسخ دهید. (ولتاژ شکست هر یک از دیودها ۱۰۰ ولت است.)

۱۸. در صورتی که ولتاژ ورودی به مدار برابر ۸۰ ولت باشد، ولتاژ دو سر دیود D_2 چند ولت است؟

- (۱) $14mV$
- (۲) $15mV$
- (۳) $10mV$
- (۴) $36mV$
- (۵) $24mV$

۱۹. اگر ولتاژ ورودی به مدار برابر با ۱۲۰ ولت باشد، شدت جریان عبوری از مدار کدام است؟

- (۱) $3\mu A$
- (۲) $1\mu A$
- (۳) $2\mu A$
- (۴) $1/5\mu A$
- (۵) $5\mu A$

۲۰. در حالتی که با هر یک از دیودها یک مقاومت $80M\Omega$ به صورت موازی بسته شود، چه جریانی بر حسب میکروآمپر از دیود D_1 خواهد گذشت؟ (ولتاژ ورودی برابر ۸۰ ولت است.)

- (۱) $2/5$
- (۲) ۴
- (۳) ۲
- (۴) $1/5$
- (۵) ۱

۲۱. با توجه به سوال قبل، ولتاژ دو سر دیود D_2 چند ولت خواهد بود؟

- (۱) ۲۸
- (۲) ۳۶
- (۳) ۴۴
- (۴) ۶۲
- (۵) ۴۰

۲۲. جریان اشباع معکوس دیودی به ازای هر $10^\circ C$ افزایش دما دو برابر می‌شود. چه تغییر دمایی (نسبت به

$25^\circ C$) باعث کاهش جریان اشباع معکوس تا اندازه‌ی $\frac{1}{10}$ مقدار اولیه‌اش در دمای معمولی می‌شود؟

- (۱) $49/1$
- (۲) $29/5$
- (۳) $38/6$
- (۴) $32/2$
- (۵) $41/9$

۲۳. از کدام نوع دیود در طراحی مدارهای مدولاسیون فرکانس می‌توان استفاده کرد؟

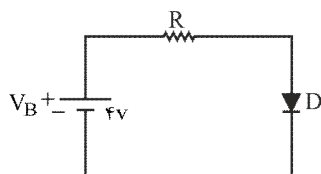
- (۱) LED
- (۲) دیود خازنی
- (۳) دیود تونلی
- (۴) دیود زنر
- (۵) دیود نوری

۲۴. ظرفیت خازنی ناحیه‌ی تهی یک پیوند P-N ژرمانیم با سطح مقطع $25mm^2$ و عرض ناحیه‌ی تهی

$3 \times 10^{-4} cm$ کدام است؟ (برای ژرمانیم داریم $\frac{F}{cm} = 16 \times 8 / 85 \times 10^{-14}$)

- (۱) $0/24\mu F$
- (۲) $0/195PF$
- (۳) $0/165\mu F$
- (۴) $0/118PF$
- (۵) $1/14PF$

۲۵. در مدار زیر ولتاژ و جریان دیود سیلیکونی به کار رفته به ترتیب برابر ۰/۷ ولت و $10mA$ است. مقاومت دینامیکی دیود در دمای $27^\circ C$ چند اهم است؟



- (۱) ۷۰
- (۲) ۲/۹
- (۳) ۴۵
- (۴) ۵/۲
- (۵) بدون داشتن مقاومت R نمی‌توان چیزی گفت.