



376

F

نام

نام خانوادگی

محل امضاء



376F

صبح جمعه

۹۱/۱/۲۵

اگر دانشگاه اصلاح شود مملکت اصلاح می‌شود.
امام خمینی (ره)

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
سازمان سنجش آموزش کشور

آزمون ورودی
دوره‌های دکتری (نیمه متمرکز) داخل
در سال ۱۳۹۱

رشته‌ی
مهندسی فناوری نانو - نانوالکترونیک (کد ۲۳۶۴)

شماره داوطلبی:

نام و نام خانوادگی داوطلب:

مدت پاسخگویی: ۱۵۰ دقیقه

تعداد سؤال: ۴۵

عنوان مواد امتحانی، تعداد و شماره سؤالات

ردیف	مواد امتحانی	تعداد سؤال	از شماره	تا شماره
۱	مجموعه دروس تخصصی (ریاضی و فیزیک) (ریاضی عمومی ۱ و ۲، ریاضی فیزیک ۱ و ۲، فیزیک پایه ۱ و ۲)، مبانی نانوتکنولوژی، ادوات نیمه هادی پیشرفته	۴۵	۱	۴۵

فروردین سال ۱۳۹۱

استفاده از ماشین حساب مجاز نمی‌باشد.

حق چاپ و تکثیر سؤالات پس از برگزاری آزمون برای تمامی اشخاص حقیقی و حقوقی تنها با مجوز این سازمان مجاز می‌باشد و با متخلفین برابر مقررات رفتار می‌شود.

۱- اگر $z = e^{x^2-y}(\delta - 2x + y)$ نقطه یک نقطه است.

(۱) $(-1, 2)$ ، زینی

(۲) $(-1, 2)$ ، ماکزیمم

(۳) $(1, -2)$ ، زینی

(۴) $(1, -2)$ ، می-نیمم

۲- منحنی $r(t) = (t \cos t, t \sin t, \frac{\sqrt{2}}{3} t^{\frac{2}{3}})$ را بر حسب طول قوس s پارامتری می‌کنیم به طوری که $t \geq 0$. در این صورت:

(۱) $t = s + s^{\frac{2}{3}}$

(۲) $t = -1 + \sqrt{1+s}$

(۳) $t = \sqrt{2} + \sqrt{2+s}$

(۴) $t = -1 + \sqrt{1+2s}$

۳- سری‌های $\sum_{n=0}^{+\infty} \frac{n^{2n}(n+2)}{(1+n)^{2n}}$ و $\sum_{n=0}^{+\infty} \frac{(2n+1)^2}{3^n} e^{n+1}$ به ترتیب می‌باشند.

(۱) همگرا - همگرا

(۲) همگرا - واگرا

(۳) واگرا - همگرا

(۴) واگرا - واگرا

۴- فرض کنید $a_n = \frac{n^2}{n^4+1} + \frac{n^2}{n^4+2} + \dots + \frac{n^2}{n^4+n}$. در این صورت $\lim_{n \rightarrow +\infty} a_n$ برابر است با:

(۱) ۳

(۲) ۲

(۳) ۱

(۴) ۰

۵- فرض کنید $f(x) = \int_0^x \int_0^{t^2-1} (h^2 + \sin(h^2-1)) dh dt$. مقدار $f''(\sqrt{2})$ کدام است؟

(۱) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

(۲) $2(\sqrt{2}-1)$

(۳) $2\sqrt{2}-1$

(۴) $2\sqrt{2}$

۶- فرض کنید $F = (x^3 + \sin(y^3 z^3), y^3 + \sqrt{x}e^x + z, z^3 + y \cos(x^3))$ و S سطح بسته‌ای باشد که کره $x^2 + y^2 + z^2 \leq 5$ را محدود می‌سازد. $\oint_S F \cdot dS$ کدام است؟

(۱) $10\pi\sqrt{5}$

(۲) $20\pi\sqrt{5}$

(۳) 100π

(۴) 125π

۷- مقدار انتگرال $\oint_C ((\sin(e^{x^3}) - y^3)dx + (\cos(e^{y^3}) + x^3)dy)$ که در آن C مرز نیم دایره $x^2 + y^2 \leq 4$ و $y \geq 0$ است که خلاف جهت عقربه‌های ساعت جهت‌دار شده است، کدام است؟

(۱) 3π

(۲) 6π

(۳) 12π

(۴) 24π

۸- اگر $\vec{A}$ و $\vec{B}$ دو بردار ثابت باشند، حاصل عبارت $\vec{\nabla}(\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{r}))$ کدام است؟

(۱) $\vec{A} \times \vec{B}$

(۲) $3(\vec{A} \times \vec{B})$

(۳) $3(\vec{A} \cdot \vec{B})$

(۴) $(\vec{A} \cdot \vec{B})\vec{r}$

۹- کدام عبارت در مورد ویژه مقادیر یک ماتریس یکانی (یونیتاری) درست است؟

(۱) ویژه مقادیر آن یک و منهای یک هستند.

(۲) ویژه مقادیر آن همواره حقیقی هستند.

(۳) قدر مطلق ویژه مقادیر آن برابر یک است.

(۴) ویژه مقادیر آن همواره موهومی خالص هستند.

۱۰- ماتریسی که ماتریس $A = \begin{pmatrix} 3 & i \\ -i & 3 \end{pmatrix}$ را قطری می‌کند، کدام است؟

$$(1) \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -i & 1 \\ i & -1 \end{pmatrix}$$

$$(2) \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -i & i \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$(3) \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -i \\ i & -1 \end{pmatrix}$$

$$(4) \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} i & 1 \\ -i & 1 \end{pmatrix}$$

۱۱- در معادله دیفرانسیل مرتبه دو $2(x-2)^2 xy''(x) + 3xy'(x) + (x-2)y = 0$ نقطه $x=0$ نقطه تکین و نقطه

$x=2$ نقطه تکین است. منظم (regular) - نامنظم (irregular)

(۱) منظم - منظم (۲) منظم - نامنظم

(۳) نامنظم - منظم (۴) نامنظم - نامنظم

۱۲- معادله دیفرانسیل $x^2 y''(x) - 2xy'(x) + 6y(x) = 0$ با تغییر متغیر $x = e^t$ به چه شکلی در می‌آید؟

$$(1) \frac{d^2 y}{dt^2} + 5y = 0$$

$$(2) \frac{d^2 y}{dt^2} + 3 \frac{dy}{dt} + 6ty = 0$$

$$(3) \frac{d^2 y}{dt^2} - 5 \frac{dy}{dt} + 6y = 0$$

$$(4) \frac{d^2 y}{dt^2} - 2t \frac{dy}{dt} + 6t^2 y = 0$$

۱۳- حاصل انتگرال $\int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{(x^2+1)(x^2+9)}$ کدام است؟ (راهنمایی: از روش حساب مانده‌ها استفاده کنید).

$$(1) -2\pi$$

$$(2) -\frac{\pi}{4}$$

$$(3) \frac{\pi}{8}$$

$$(4) \frac{\pi}{2}$$

۱۴- در فضای سه بعدی تانسور مرتبه چهار C_{ijkl} که در رابطه $C_{ijkl} = C_{jikl} = C_{ijlk}$ صدق می‌کند دارای چند مؤلفه مستقل است؟

(۱) ۱۵

(۲) ۲۱

(۳) ۲۷

(۴) ۳۶

۱۵- تبدیل فوریه تابع $f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } |x| < a \\ 0 & \text{if } |x| > a \end{cases}$ کدام است؟

$$-\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-ika}}{k} \quad (۱)$$

$$\sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{\sin(ka)}{k} \right) \quad (۲)$$

$$\sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{\cos ka}{k} \right) \quad (۳)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{ika}}{k} \quad (۴)$$

۱۶- جسم m متوسط نیروی وارده $\vec{F}$ وادار به حرکت روی سقف یک اطلاق شده است. اگر $m = 4 \text{ kg}$ ، $F = 100 \text{ N}$ ، $\theta = \frac{\pi}{4}$ و

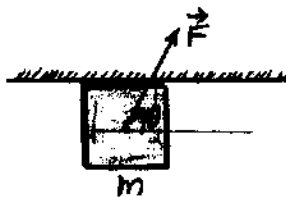
ضریب اصطکاک جنبشی جسم با سقف 0.4 باشد، شتاب جسم تقریباً چند $\frac{m}{s^2}$ است؟ $\left(g = 10 \frac{m}{s^2} \right)$

(۱) ۶/۵

(۲) ۱۴/۵

(۳) ۲۰/۵

(۴) ۲۸/۵



۱۷- جعبه ۲ کیلوگرمی مطابق شکل روی سطح شیبدار بدون اصطکاک با زاویه شیب 30° قرار دارد. جعبه توسط نخ سبکی که

از روی قرقره سبکی می‌گذرد به فنری سبک با ثابت فنر $200 \frac{N}{m}$ متصل است. جعبه از حالت سکون در حالتی که فنر

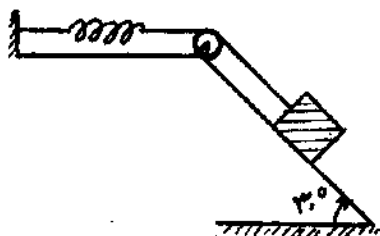
کشیده شده نیست رها می‌شود. جعبه قبل از ایستادن لحظه‌ای چند سانتی‌متر روی سطح شیبدار پایین می‌رود؟ اصطکاک قرقره ناچیز است.

(۱) ۵

(۲) ۸/۵

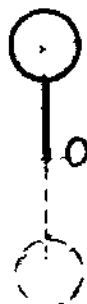
(۳) ۱۰

(۴) ۱۷



۱۸- قطعه‌ای شامل یک حلقه نازک به شعاع 30 cm و میله متصل به آن به طول 60 cm می‌تواند به طور آزاد حول انتهای میله (نقطه O) آزادانه دوران کند. جرم حلقه و میله متصل به آن یکسان است. در ابتدا میله و حلقه به طور قائم هستند. اگر بر اثر یک ضربه ناچیز این قطعه حول نقطه O به دوران درآید سرعت زاویه‌ای قطعه در حالتی که حلقه به پایین‌ترین نقطه

مسیر خود می‌رسد تقریباً چند $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ است؟ $\left(g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$



(۱) $6/5$

(۲) $4/85$

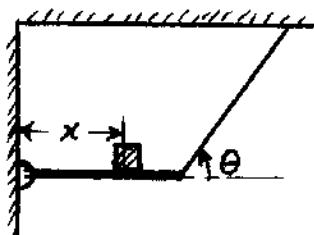
(۳) $2/4$

(۴) $0/85$

۱۹- در شکل زیر میله افقی یکنواختی به جرم m و طول L از طرف چپ توسط لولایی به دیوار قائم و از سمت راست توسط کابلی که با افق زاویه θ می‌سازد به سقف متصل است. وزنه‌ای به جرم M روی میله و به فاصله x از دیوار قائم قرار دارد. اگر رابطه

T کشش در کابل و x به صورت تابع $T = 500 + 600 \frac{x}{L}$ (بر حسب نیوتن) و مجموع وزن میله و وزنه 1000 نیوتن

باشد، جرم وزنه چند کیلوگرم است؟ $\left(g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$



(۱) $37/5$

(۲) 30

(۳) $54/5$

(۴) 60

۲۰- ذره‌ای به جرم m و سرعت v نسبت به یک ناظر معین منفجر شده و به دو ذره تقسیم می‌شود که یک ذره جرمش چهار برابر دیگری است. انفجار در فضای خالی انجام گرفته است. ذره سبک‌تر نسبت به ناظر ساکن است. انرژی جنبشی ذره دوم چند برابر انرژی جنبشی ذره اولیه قبل از انفجار است؟

(۱) $\frac{3}{4}$

(۲) $\frac{4}{5}$

(۳) $\frac{4}{3}$

(۴) $\frac{5}{4}$

۲۱- یک استوانه عایق بسیار بلند به شعاع 6 cm و ثابت دی الکتریک 4 دارای بار الکتریکی با چگالی حجمی غیر یکنواخت $\rho = Ar^3$ است که در آن r فاصله از محور استوانه و $A = 4 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}^5}$ است. اندازه میدان الکتریکی در نقطه‌ای به فاصله

$r = 4\text{ cm}$ از محور استوانه تقریباً چند $\frac{V}{m}$ است؟

(۱) $0,058$

(۲) $0,14$

(۳) $0,23$

(۴) $0,56$

۲۲- بار مثبت Q در نقطه ثابت P قرار دارد. ذره دیگری با جرم m و بار منفی $-q$ با تندی ثابت روی دایره‌ای به شعاع r_1 و به مرکز P حرکت می‌کند. کار لازم برای آن که شعاع دایره حرکت این ذره به $r_2 = 3r_1$ افزایش یابد کدام است؟

(۱) $\frac{1}{3} \left(\frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r_1} \right)$

(۲) $\frac{2}{3} \left(\frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r_1} \right)$

(۳) $\frac{4}{3} \left(\frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r_1} \right)$

(۴) $\frac{2}{2} \left(\frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r_1} \right)$

۲۳- در شکل زیر $C_1 = 10\ \mu\text{F}$ ، $C_2 = 7\ \mu\text{F}$ ، $C_3 = 10\ \mu\text{F}$ و $C_4 = 8\ \mu\text{F}$ است. ابتدا خازن‌های ۱، ۲ و ۳ به باتری V

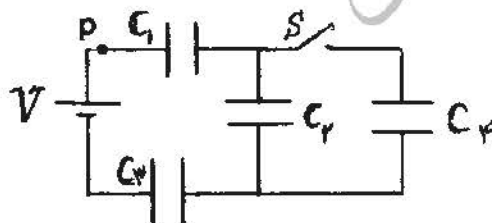
متصل‌اند. ابتدا باری روی خازن ۴ وجود ندارد پس از بسته شدن کلید S و شارژ کامل خازن ۴ مقدار باری که در این مدت از نقطه P عبور می‌کند چند میکروکولن است؟

(۱) 10

(۲) 20

(۳) 70

(۴) 90



- ۲۴- یک مقاومت ۴ مگا اهمی و یک خازن ۲ میکرو فارادی به صورت سری با یک باتری ایده‌آل با نیروی محرکه ۱۲ ولتی بسته شده‌اند. پس از ۲ ثانیه از بسته شدن مدار با چه نرخ بار روی خازن بر حسب $\frac{\mu C}{s}$ افزایش می‌یابد؟

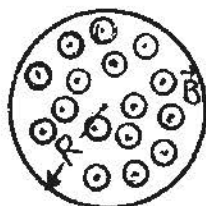
$$(1) \quad re^{-\frac{1}{4}}$$

$$(2) \quad re^{-4}$$

$$(3) \quad r(1 - e^{-\frac{1}{4}})$$

$$(4) \quad r(1 - e^{-\frac{1}{8}})$$

- ۲۵- در شکل زیر ناحیه‌ای به شعاع $R = 4 \text{ cm}$ نشان داده شده که در آن شار میدان الکتریکی یکنواختی عمود بر صفحه کاغذ و به سمت خارج از آن وجود دارد. شار الکتریکی کل گذرنده از این ناحیه برابر $\phi_E = 4t$ است که در آن ϕ_E بر حسب $V \cdot m$ و t بر حسب ثانیه است. اندازه میدان مغناطیسی القایی در نقطه‌ای به فاصله ۲ cm از مرکز دایره تقریباً چند تسلا است؟



$$(1) \quad 8,8 \times 10^{-19}$$

$$(2) \quad 3,5 \times 10^{-18}$$

$$(3) \quad 3,5 \times 10^{-16}$$

$$(4) \quad 8,8 \times 10^{-17}$$

- ۲۶- در نمودار پتانسیل یونیزاسیون خوشه‌های اتم‌های فلزی بر حسب تعداد اتم‌های موجود در خوشه، محل قله‌ها منطبق بر است.
- (۱) اعداد جادویی ساختاری
(۲) اعداد جادویی ساختاری و الکترونی
(۳) اعداد جادویی الکترونی مدل زله‌ای
(۴) اعداد جادویی الکترونی اتم هیدروژن

- ۲۷- کدام عبارت در مورد فولرین نادرست است؟
- (۱) بلور C_{60} خالص در دمای ۱۸ درجه کلوین ابررسانا می‌شود.
(۲) مولکول فولرین ۱۲ وجه پنج ضلعی و ۲۰ وجه شش ضلعی دارد.
(۳) بلور C_{60} عایق است اما با آرایش با یک اتم قلیایی از نظر الکتریکی رسانا می‌شود.
(۴) مولکول‌های فولرین در حالت جامد تشکیل یک شبکه‌ی بلوری FCC می‌دهند که فاصله هر مولکول از نزدیکتری همسایه آن یک نانومتر است.

- ۲۸- شبکه بلوری گرافن
(۱) یک شبکه براوا است.
(۲) یک شبکه مربعی با پایه دو کربنی است.
(۳) یک شبکه براوای مثلثی با پایه دو کربنی است.
(۴) یک شبکه براوای مثلثی با پایه سه کربنی است.

- ۲۹- کدام عبارت در مورد روش سل - ژل نادرست است؟
 (۱) با افزایش دمای تکلیس اندازه کریستالیت‌ها افزایش می‌یابد.
 (۲) نانو ذرات سرامیکی اکسیدی را از این روش نمی‌توان تولید کرد.
 (۳) pH محلول اثر قابل توجهی بر مشخصات نانوذرات تولید شده از این روش دارد.
 (۴) عامل کی لیت کننده و غلظت آن نقش مهمی در اندازه و مورفولوژی نانوذرات تولیدی دارد.
- ۳۰- از میان آنالیزهای نامبرده در زیر کدام یک براساس تابش پرتو الکترونی به هدف کار می‌کند:
 ۱- LEED ۲- XPS ۳- AES ۴- RHEED ۵- PL
- ۳۱- کدام عبارت در مورد میکروسکوپ‌های نیروی اتمی (AFM) نادرست است؟
 (۱) آنالیزهای ۱ و ۲ و ۴ (۲) آنالیزهای ۱ و ۳ و ۴ (۳) آنالیزهای ۲ و ۳ و ۵ (۴) آنالیزهای ۳ و ۴ و ۵
- ۳۲- کدام عبارت در مورد خاصیت مواد نانوساختار نادرست است؟
 (۱) نانومیله‌های SiC خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها را شدیداً ارتقا می‌بخشند.
 (۲) در نقاط کوانتومی از طریق کنترل قطر ذرات، یک طول موج خاص نوری را می‌توان جذب یا نشر نمود.
 (۳) ساختارهای نانوکریستال دارای استحکام کمتری نسبت به ماده حجیم هستند و فعالیت اتم‌ها در مرز دانه‌ها بسیار کم است.
 (۴) نانو میله‌های NiTe_2 برای کاربردهای ترموالکتریک مناسبند و برای اندازه‌گیری اختلاف دمایی در مقیاس نانومتری مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- ۳۳- نانو لوله کربنی با کدام کاپرالیته خاصیت فلزی دارد؟
 (۱) (۳ و ۱۴) (۲) (۵ و ۸) (۳) (۱ و ۹) (۴) (۵ و ۱۰)
- ۳۴- کدام عبارت در مورد روش چگالش گاز خنثی نادرست است؟
 (۱) هر چه وزن اتمی و فشار گاز خنثی موجود در محفظه بالاتر باشد نانو ذرات ریزتری تولید می‌شود.
 (۲) از مهم‌ترین نانوذرات فلزی تولید شده به این روش، نقره، طلا، آهن و کبالت هستند.
 (۳) در روش دینامیک که گاز خنثی در درون محفظه جریان دارد کنترل اندازه و توزیع نانو ذرات بهتر انجام می‌شود.
 (۴) هر چه دمای بوته بیشتر باشد ماده با نرخ بیشتری تبخیر و وارد محفظه می‌شود و موجب درشت‌تر شدن نانو ذرات نهایی می‌شود.
- ۳۵- کدام عبارت در مورد روش پراکنش اتمی (Atomic sputtering) نادرست است؟
 (۱) در این روش امکان تولید نانو ذرات با ابعاد کوچکتر از ۱۰ نانو متر وجود دارد.
 (۲) از این روش برای تولید نانو ذرات اغلب فلزات و سرامیک‌های اکسیدی استفاده می‌شود.
 (۳) در این روش بر خلاف دیگر روش‌های سنتز بخار مرحله چگالش اتم‌ها برای تشکیل نانو ذرات وجود ندارد.
 (۴) در این روش هدف ذوب نمی‌شود بلکه وقتی انرژی منتقل شده به اتم‌های هدف دارای مولفه سرعت عمود بر سطح و بزرگتر از انرژی سطحی باشند از سطح هدف جدا می‌شوند.

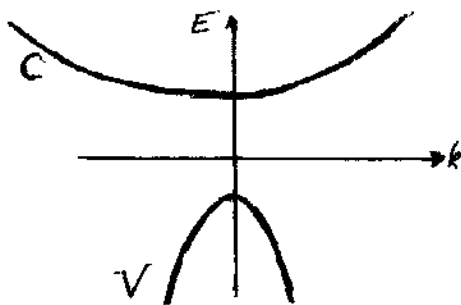
۳۶- در طیف جذب اپتیکی نانو ذرات ساخته شده از عناصر نیمه رسانا با کاهش اندازه ذرات لیهی جذب ، گاف انرژی و شدت جذب
 (۱) به انرژی‌های بالاتر منتقل می‌شود - افزایش می‌یابد - زیاد می‌شود.
 (۲) به انرژی‌های بالاتر منتقل می‌شود - کاهش می‌یابد - زیاد می‌شود.
 (۳) به انرژی‌های پایین منتقل می‌شود - افزایش می‌یابد - زیاد می‌شود.
 (۴) به انرژی‌های پایین منتقل می‌شود - کاهش می‌یابد - کم می‌شود.

۳۷- نیمه رسانای GaAs دارای ساختار کریستالی است و گاف انرژی دارد و جرم مؤثر الکترون‌های رسانش آن برابر جرم الکترون در فضای آزاد است.

(۱) نمک طعام - غیرمستقیم - 0.067
 (۲) نمک طعام - مستقیم - 0.64

(۳) Zincblende - مستقیم - 0.067
 (۴) Zincblende - غیرمستقیم - 0.64

۳۸- نمودار نوار انرژی یک نیمه رسانا مطابق شکل زیر است. اگر زمان پراکندگی الکترون‌ها و حفره‌ها برابر باشد کدام عبارت درست است؟ μ_p تحرک حفره‌ها، μ_n تحرک الکترون‌ها، N_c چگالی الکترون‌های رسانا و N_v چگالی الکترون‌های ظرفیت است.



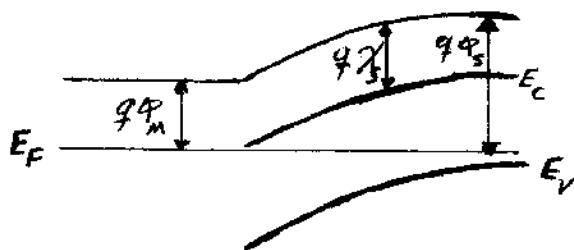
$$(1) N_v < N_c, \mu_p < \mu_n$$

$$(2) N_v < N_c, \mu_p > \mu_n$$

$$(3) N_v > N_c, \mu_p < \mu_n$$

$$(4) N_v > N_c, \mu_p > \mu_n$$

۳۹- در یک مرز مشترک ایده‌آل معین سلیسیوم ($\chi_s = 4.05 \text{ V}, E_g = 1.12 \text{ eV}$) که چنان آلائیده شده که $E_F - E_v = 0.1 \text{ eV}$ با مس ($\phi_M = 4.4 \text{ V}$) در حالی که میدان بایاس صفر باشد، افت ولتاژ میان فلز و نیمه رسانا چند ولت است؟



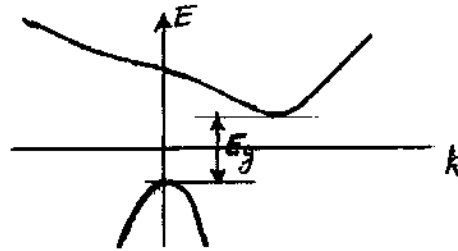
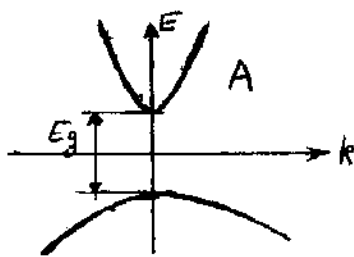
$$(1) 0.67$$

$$(2) 1.02$$

$$(3) 1.27$$

$$(4) 1.87$$

۴۰- نمودار نوار انرژی دو نیمه رسانای A و B مطابق شکل زیر است. تحرک (موبیلیته) نیمه رسانای بیشتر و اکثر باز ترکیب در نیمه رسانای منجر به گسیل فوتون می‌شود. زمان پراکندگی در دو نیمه رسانا یکسان است.



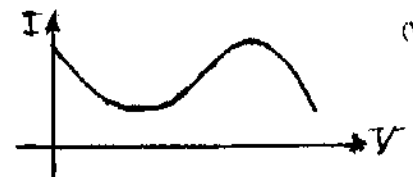
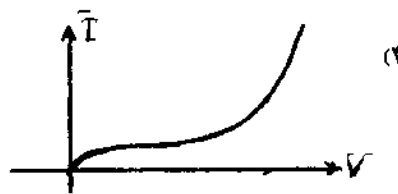
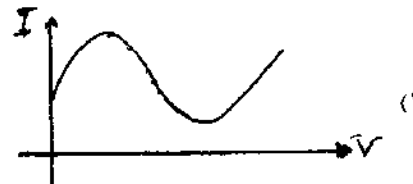
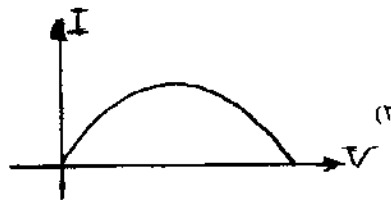
A-A (۱)

B-A (۲)

A-B (۳)

B-B (۴)

۴۱- نمودار مشخصه I جریان بر حسب V ولتاژ برای دیود تونلی GaAs کدام است؟



۴۲- کدام عبارت در مورد تریستورها (Thyristors) نادرست است؟

(۱) دارای اتلاف حرارتی پایینی هستند.

(۲) نمودار مشخصه I-V آن‌ها خطی است.

(۳) دارای دو حالت پایدار on و off هستند.

(۴) در فرایندهای ترابرد آن‌ها هم الکترون‌ها و هم حفره‌ها سهم دارند.

۴۳- نیمه رسانای $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ برای $0 < x < 0.45$ دارای گاف و برای $x > 0.45$ دارای گاف است. و با افزایش x اندازه گاف می‌یابد.

(۲) مستقیم - غیرمستقیم - افزایش

(۱) مستقیم - مستقیم - افزایش

(۴) غیرمستقیم - غیرمستقیم - کاهش

(۳) غیرمستقیم - مستقیم - کاهش

۴۴- کدام عبارت در مورد LED نادرست است؟

(۱) LEDهای فروسرخ در مخابرات فیبر نوری با افت کمینه کاربرد دارند.

(۲) نسبت به لیزرها، پهنای خط طیفی بیشتری در حدود ۵ تا ۱۵ نانومتر دارند.

(۳) با افزایش غلظت حامل‌ها، طول عمر بازترکیب تشعشعی افزایش یافته و موجب کاهش راندمان تشعشعی می‌شود.

(۴) LED یک اتصال p-n است که تحت بایاس مستقیم حامل‌های اقلیت از دو طرف اتصال تزریق می‌شوند.

۴۵- لیزرهای نیمه هادی دارای گاف هستند. زیرا در این نوع نیمه رساناها گذار تشعشعی از مرتبه و لذا احتمال گذار بیشتر است. و برای کاهش جریان آستانه بهتر است از استفاده نمود.

ساختار چند لایه‌ی دوگانه (Double Heterostructure) - ساختار چند لایه‌ی تکی (Single Heterostructure)

(۱) غیرمستقیم - دوم - ساختار چند لایه‌ی تکی (۲) مستقیم - دوم - ساختار چند لایه‌ی دوگانه

(۳) غیرمستقیم - اول - ساختار چندگانه تکی (۴) مستقیم - اول - ساختار چند لایه‌ی دوگانه