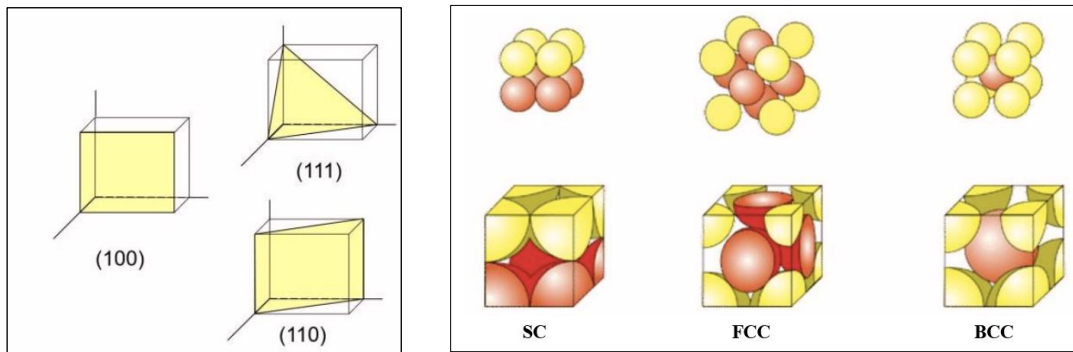


به نام خدا

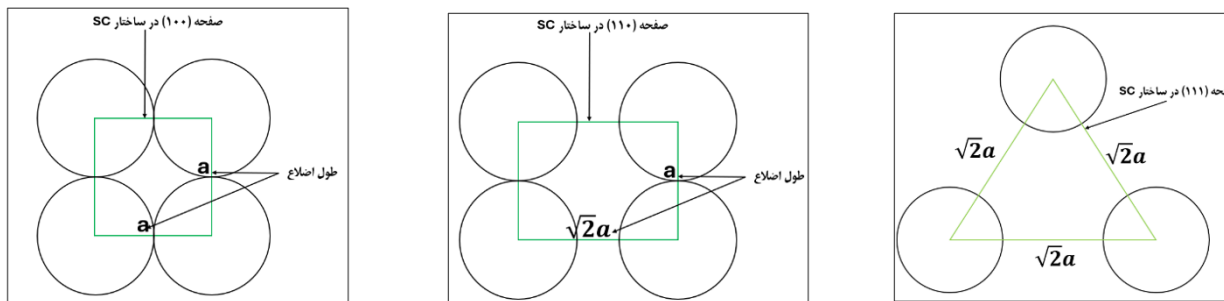
پاسخ نامه تشریحی آزمون تشریحی مرحله دوم دوره ۱۶

پاسخ تشریحی سوال ۱:

الف و ب)



ج) شبکه بلوری مکعبی ساده:



$$X_{(hkl)} = \frac{\text{مساحت اتمها}}{S_{(hkl)}} = \frac{n_{atom} \times S_{atom}}{S_{(hkl)}}$$

n_{atom} : تعداد اتمها

S_{atom} : مساحت اتمها

$S_{(hkl)}$: مساحت صفحه بلوری

$$X_{(100)} = \frac{1 \times S_{atom}}{a^2}$$

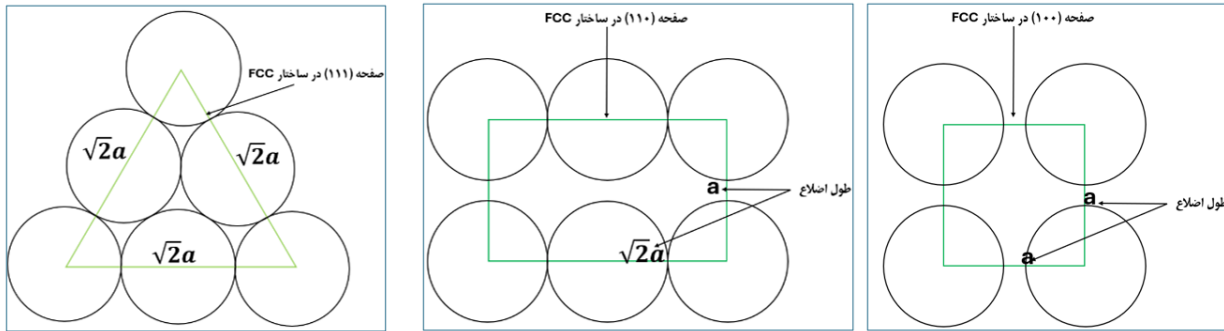
$$X_{(110)} = \frac{1 \times S_{atom}}{\sqrt{2}a^2}$$

$$X_{(111)} = \frac{0.5 \times S_{atom}}{\frac{\sqrt{3}}{2} a^2}$$

بنابراین داریم:

$$X_{(111)} < X_{(110)} < X_{(100)}$$

- شبکه بلوری مکعبی وجوه پر:



$$X_{(100)} = \frac{1 \times S_{atom}}{a^2}$$

$$X_{(110)} = \frac{2 \times S_{atom}}{\sqrt{2}a^2}$$

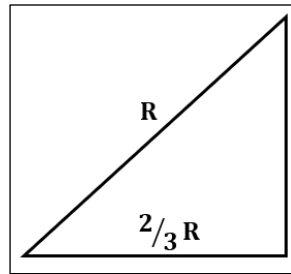
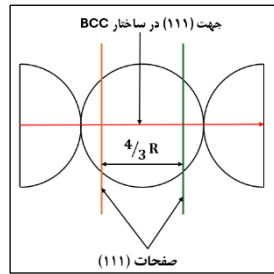
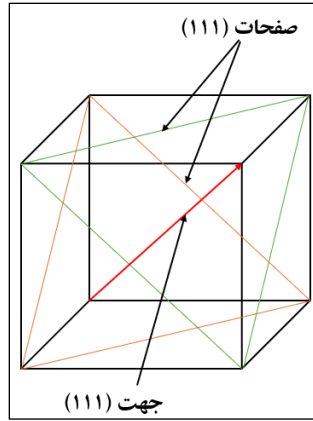
$$X_{(111)} = \frac{2 \times S_{atom}}{\frac{\sqrt{3}}{2} a^2}$$

بنابراین داریم:

$$X_{(100)} < X_{(110)} < X_{(111)}$$

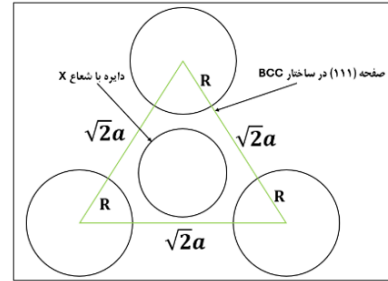
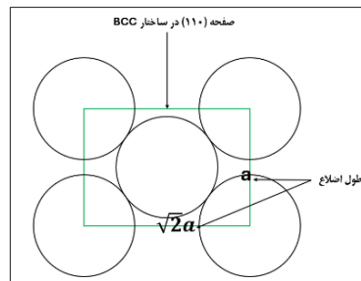
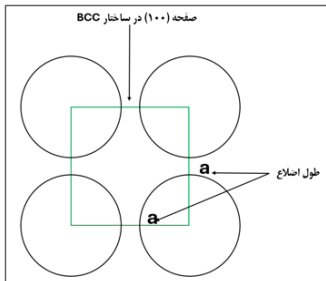
- شبکه بلوری مکعبی مرکز پر:

برای محاسبه مساحت اشغال شده صفحه (111) توسط اتم‌ها در شبکه بلوری مکعبی مرکز پر باید نحوه برش اتم مرکزی سلول واحد توسط این صفحه بررسی شود.



$$\left(\frac{2}{3}R\right)^2 + X^2 = R^2 \rightarrow X = \frac{\sqrt{5}}{3}R$$

در نتیجه داریم:



$$X_{(100)} = \frac{1 \times S_{atom}}{a^2} = \frac{\pi R^2}{a^2}$$

$$X_{(110)} = \frac{2 \times S_{atom}}{\sqrt{2}a^2} = \frac{2}{\sqrt{2}} \left(\frac{\pi R^2}{a^2}\right)$$

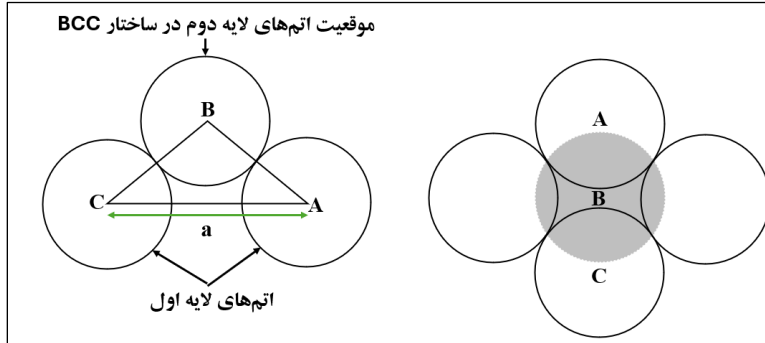
$$X_{(111)} = \frac{0.5 \times S_{atom}}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{(0.5 \times \pi(R)^2) + \pi\left(\frac{\sqrt{5}}{3}R\right)^2}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{(0.5 + \frac{5}{9}) \times \pi(R)^2}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{19}{9\sqrt{3}} \left(\frac{\pi R^2}{a^2}\right)$$

بنابراین داریم:

$$X_{(100)} < X_{(111)} < X_{(110)}$$

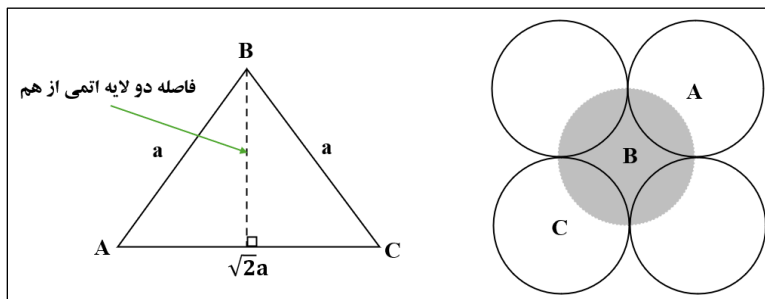
(د) با توجه به تصاویر و توضیحات بخش ج، چیدمان اتمی شبکه‌های بلوری SC، BCC و FCC به ترتیب A، B و C خواهد بود.

(ه) شبکه بلوری مکعبی مرکز پر (چیدمان A):



$$\left(\text{فاصله دو لایه اتمی} \right)^2 = (\sqrt{2}R)^2 - \left(\frac{a}{\sqrt{2}} \right)^2 = (\sqrt{2}R)^2 - \left(\frac{\sqrt{2}R}{\sqrt{3}} \right)^2 = (\sqrt{2}R)^2 \times \left(\frac{2}{3} \right) \rightarrow \text{فاصله دو لایه اتمی} = \sqrt{\frac{2}{3}} R$$

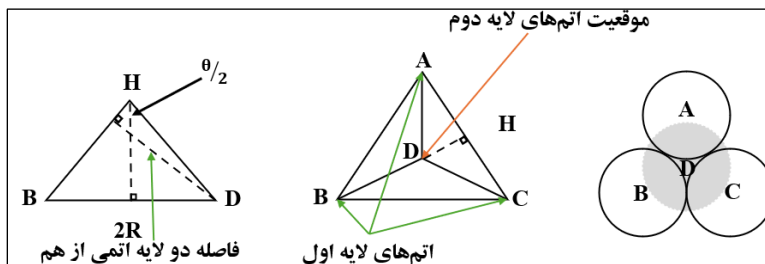
شبکه بلوری مکعبی ساده (چیدمان B):



$$\left(\text{فاصله دو لایه اتمی} \right)^2 = (\sqrt{2}R)^2 - \left(\frac{\sqrt{2}a}{2} \right)^2 = (\sqrt{2}R)^2 - (\sqrt{2}R)^2 = 2R^2$$

$$\text{فاصله دو لایه اتمی} = \sqrt{2}R$$

شبکه بلوری مکعبی وجوه پر (چیدمان C):



$$BH = DH = DAC \text{ مثلث} \rightarrow \text{ارتفاع مثلث} = \sqrt{3}R \rightarrow \sin(\theta/\sqrt{2}) = \frac{R}{DH} = \frac{R}{\sqrt{3}R} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\cos(\pi/\sqrt{2} - \theta) = \frac{\text{فاصله دو لایه اتمی}}{DH}$$

$$\cos(\pi/\sqrt{2} - \theta) = \sin(\theta) = \sqrt{2} \sin(\theta/\sqrt{2}) \cos(\theta/\sqrt{2}) = \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$$\text{فاصله دو لایه اتمی} = DH \times \cos(\pi/\sqrt{2} - \theta) = \sqrt{3}R \times \frac{2\sqrt{2}}{3} = \frac{2\sqrt{6}}{3} R$$

(و) طول هر نانوذره از رابطه زیر بدست می‌آید:

شعاع اتم لایه آخر + (فاصله دو لایه اتمی مجاور \times تعداد لایه‌ها) + شعاع اتم لایه اول = طول نانوذره

به عبارت دیگر برای هر سه نانوذره با شبکه‌های بلوری مختلف داریم:

$$L_{SC} = 2R + n_{SC} \times (\sqrt{2}R)$$

$$L_{BCC} = 2R + n_{BCC} \times \left(2\sqrt{\frac{3}{2}}R\right)$$

$$L_{FCC} = 2R + n_{FCC} \times \left(2\sqrt{\frac{3}{2}}R\right)$$

تعداد لایه‌های اتمی از رابطه زیر بدست می‌آید:

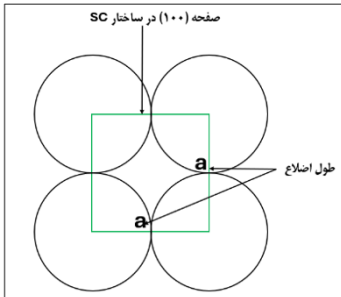
$$N = \frac{\text{تعداد اتم‌های یک لایه}}{\text{تعداد لایه‌های اتمی}}$$

$$n_{SC} = \frac{N}{\text{تعداد اتم‌های یک لایه}}$$

$$n_{BCC} = \frac{N}{\text{تعداد اتم‌های یک لایه}}$$

$$n_{FCC} = \frac{N}{\text{تعداد اتم‌های یک لایه}}$$

تعداد اتم‌های اشغال‌کننده سطح ۱۰۰ نانومتر در ۱۰۰ نانومتر (N_{100×100}) برابر است با:



$$N_{100 \times 100, SC} = \frac{(100)^2}{a^2} \times 1 = \frac{(100)^2}{(2R \times 10^{-3})^2} = \frac{10^{10}}{(2R)^2} = \frac{10^{10}}{4R^2}$$

$$N_{100 \times 100, BCC} = \frac{(100)^2}{\sqrt{2}a^2} \times 2 = \frac{(100)^2}{\sqrt{2} \left(\frac{4R}{\sqrt{3}} \times 10^{-3}\right)^2} = \frac{10^{10}}{\sqrt{2} \left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

$$= \frac{3 \times 10^{10}}{16\sqrt{2}R^2}$$

$$N_{100 \times 100, FCC} = \frac{(100)^2}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} \times 2 = \frac{(100)^2}{\frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{4R}{\sqrt{2}} \times 10^{-3}\right)^2} = \frac{10^{10}}{\frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{4R}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

$$= \frac{10^{10}}{4\sqrt{3}R^2}$$

$$n_{SC} = \frac{N}{\text{تعداد اتم‌های یک لایه}} = \frac{N}{\frac{4R^2}{10^{10}}} = \frac{4R^2 N}{10^{10}}$$

$$n_{BCC} = \frac{N}{\text{تعداد اتم‌های یک لایه}} = \frac{N}{\frac{3 \times 10^{10}}{16\sqrt{2}R^2}} = \frac{16\sqrt{2}R^2 N}{3 \times 10^{10}}$$

$$n_{FCC} = \frac{N}{\text{تعداد اتم‌های یک لایه}} = \frac{N}{\frac{10^{10}}{4\sqrt{3}R^2}} = \frac{4\sqrt{3}R^2 N}{10^{10}}$$

$$L_{SC} = \left[2R + \frac{4R^2 N}{10^{10}} \times (\sqrt{3}R) \right] \times 10^{-7} \text{ nm}$$

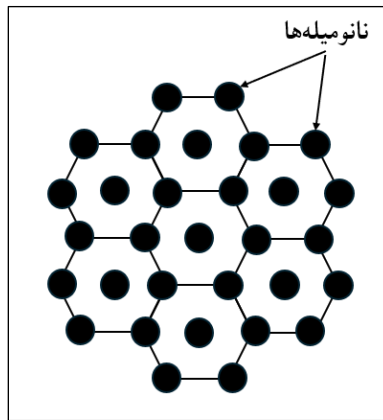
$$L_{BCC} = \left[2R + \frac{16\sqrt{3}R^2 N}{3 \times 10^{10}} \times \left(2\sqrt{\frac{2}{3}}R \right) \right] \times 10^{-7} \text{ nm}$$

$$L_{FCC} = \left[2R + \frac{4\sqrt{3}R^2 N}{10^{10}} \times \left(2\sqrt{\frac{2}{3}}R \right) \right] \times 10^{-7} \text{ nm}$$

لازم به ذکر است که مقدار R در روابط فوق بر حسب پیکومتر است.

پاسخ تشریحی سوال ۲:

(الف)



(ب)

تعداد نانومیله‌های موجود در یک سانتی‌متر مربع از طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{تعداد نانومیله‌ها} = \frac{0.1571 \text{ cm}^2}{\pi \times (50 \times 10^{-7} \text{ cm})^2} = \frac{5\pi \times 10^{-2}}{\pi \times 25 \times 10^{-12}} = \frac{10^{-2}}{10^{-12}} = \frac{10^{10}}{5}$$

با توجه به طرح‌واره ارائه شده در بخش الف، هر شش ضلعی حاوی ۳ نانومیله (یک نانومیله در مرکز، ۲ نانومیله در گوشه‌ها)

است. در نتیجه تعداد شش ضلعی‌های اشغال شده توسط میله‌ها برابر است با:

$$\text{تعداد شش ضلعی‌ها} = \frac{10^{10}/5}{3} = \frac{10^{10}}{15}$$

مساحت هر شش ضلعی:

$$\text{مساحت هر شش ضلعی} = \frac{10^{14} \text{ nm}^2}{10^{10}/15} = 15 \times 10^4 \text{ nm}^2$$

برای محاسبه طول ضلع شش ضلعی داریم:

$$\text{طول ضلع} = \sqrt{\frac{2 \times 15 \times 10^4 \text{ nm}^2}{3\sqrt{3}}} \rightarrow (\text{طول ضلع})^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} \times \text{مساحت هر شش ضلعی}$$

$$= \sqrt{\frac{10 \times 10^4}{\sqrt{3}}} \text{ nm} \cong 240 \text{ nm}$$

ج) عملکرد کاتالیست با توجه به درصد افزایش سطح آن بهبود می‌یابد. محاسبه افزایش سطح ناشی از اعمال نانومیله‌های پلاتینی به سطح کاتالیست از طریق زیر صورت می‌گیرد:

$$\text{تعداد نانومیله} \times \text{سطح نانومیله} = \text{افزایش سطح}$$

برای تعیین سطح نانومیله باید ارتفاع میانگین نانومیله‌ها نیز محاسبه شود. با توجه به مقدار پلاتین مصرف شده به ازای هر سانتی‌متر مربع از سطح کاتالیست، حجم پلاتین مصرفی بدست می‌آید:

$$\text{حجم پلاتین مصرفی} = \frac{0.135 \times 10^{-3} \text{ gr}}{21.45 \text{ gr/cm}^3} = 6.2937 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$$

با توجه به پوشانده شدن ۱۵/۷۱ درصد از سطح کاتالیست ارتفاع میانگین نانومیله‌ها برابر است با:

$$\text{ارتفاع میانگین} = \frac{6.2937 \times 10^{-6} \text{ cm}^3}{0.1571 \text{ cm}^2} \cong 4 \times 10^{-5} \text{ cm} = 400 \text{ nm}$$

در نتیجه سطح در دسترس هر نانومیله برابر است با:

$$\text{سطح در دسترس نانومیله} = [\pi \times (50 \times 10^{-7})^2] \text{ cm}^2 + [2\pi \times 50 \times 10^{-7} \times 400 \times 10^{-7}] \text{ cm}^2$$

$$= 4.25 \times 10^{-10} \text{ cm}^2$$

سطح حاصل از کل نانومیله‌ها برابر است با:

$$\text{سطح حاصل از کل نانومیله‌ها} = 4.25 \times 10^{-10} \text{ cm}^2 \times \frac{10^{10}}{5} = 0.85 \text{ cm}^2$$

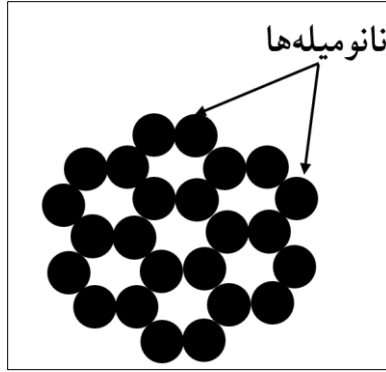
در نتیجه سطح در دسترس کاتالیست جدید برابر است با:

$$\text{سطح در دسترس کاتالیست جدید} = 1 \text{ cm}^2 - 0.157 \text{ cm}^2 + 0.85 \text{ cm}^2 = 1.693 \text{ cm}^2$$

$$\alpha \approx 52\% \quad \left(\frac{69}{3\%} \times \frac{0}{75} \right)$$

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که حدود ۵۲ درصد، عملکرد بهبود می‌یابد.

د) در این حالت طرح‌واره چیدمان نانومیله‌ها به شکل زیر است:



بیشترین میزان بهبود عملکرد زمانی رخ می‌دهد که بیشترین افزایش سطح ناشی از نانومیله‌های پلاتین را داشته باشیم. در این حالت طول ضلع شش ضلعی برابر با قطر نانومیله (۱۰۰ نانومتر) می‌شود و داریم:

$$\text{مساحت هر شش ضلعی} = \frac{3\sqrt{3}}{2} \times (\text{طول ضلع})^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} \times (10^{-5})^2 \text{ cm}^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} \times 10^{-10} \text{ cm}^2$$

تعداد شش ضلعی‌ها در هر سانتی‌متر مربع برابر است با:

$$\text{تعداد شش ضلعی‌ها} = \frac{1 \text{ cm}^2}{\frac{3\sqrt{3}}{2} \times 10^{-10} \text{ cm}^2} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \times 10^{10}$$

با توجه به طرحواره ارائه شده، هر شش ضلعی حاوی ۲ نانومیله در گوشه‌ها است. در نتیجه تعداد نانومیله‌های موجود در یک سانتی‌متر مربع از طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{تعداد نانومیله‌ها} = 2 \times \text{تعداد شش ضلعی‌ها} = \frac{4}{3\sqrt{3}} \times 10^{10}$$

مقدار پلاتین مورد نیاز برابر است با:

چگالی پلاتین \times حجم نانومیله \times تعداد نانومیله = مقدار پلاتین

$$= \frac{4}{3\sqrt{3}} \times 10^{10} \times \pi (5 \times 10^{-6})^2 \times 2 \times 10^{-5} \times 21.45$$

$$= \frac{4}{3\sqrt{3}} \times 10^{10} \times \pi \times 25 \times 10^{-12} \times 2 \times 10^{-5} \times 21.45$$

$$= \frac{4}{3\sqrt{3}} \times \pi \times 50 \times 21.45 \times 10^{-7} = 7.78 \times 10^{-4} \text{ gr} = 0.778 \text{ mgr}$$

مقدار پلاتین مورد نیاز ۰/۷۷۸ میلی‌گرم است.

پاسخ تشریحی سوال ۳:

الف) لیتوگرافی باریکه الکترونی

ب) لیتوگرافی مکانیکی

ج) لیتوگرافی نوری

د) لیتوگرافی قلم آغشته

ه) دشواری تولید منابع باریکه الکترونی

و) لیتوگرافی نوری، لیتوگرافی باریکه الکترونی

ز) چاپ تماسی، چاپ مجاورتی، چاپ پرتوافکنی

م) تماسی، مجاورتی

ز) خیر، در لیتوگرافی نوری از امواج الکترومغناطیس با طول موج مشخص استفاده می‌شود. به همین دلیل، این روش وضوح محدودی داشته و برای لیتوگرافی در مقیاس نانو مناسب نیست.

پاسخ تشریحی سوال ۴:

شماره	نمونه	آنالیز میکروسکوپی	حالت تصویربرداری یا نوع آشکارساز	راهکار مناسب بهینه‌سازی نمونه
۱	داروی ضد سرطان	TEM	-	تغییر اندازه نانولیپوزوم‌ها
۲	قطعه الکترونیکی پوشش داده شده	AFM	تصویربرداری تماسی	کاهش تغییر ارتفاع ناگهانی سطح
۳	پودر سیلیکای مزومتخلخل	TEM SEM	- SE	افزایش قطر تخلخل
۴	نانو کامپوزیت	SEM	BSE	کاهش درصد نانوذرات کاربرد تنگستن
۵	ترکیب آلی	AFM	تصویربرداری غیر تماسی	اصلاح ساختار مولکول آلی و پیوند کوالانسی

پاسخ تشریحی سوال ۵:

الف) کاهش اندازه نانوذرات، منجر به شکافته شدن هر چه بیشتر نوارهای انرژی می‌شود. این امر موجب می‌گردد تا شکاف انرژی با کاهش اندازه ذرات بزرگتر شود. در نتیجه $D_2 < D_1$.

ب) هر نقطه کوانتومی، بسته به اندازه خود، طیف انرژی مجزایی داشته و توسط فوتون‌هایی با انرژی مشخص برانگیخته می‌شود. در حالت آسایش الکترون‌های برانگیخته، انرژی که با بازگشت الکترون به حالت پایه به شکل فوتون منتشر می‌شود، برابر شکاف انرژی است. از این رو هر نقطه کوانتومی، متناسب با اندازه خود پرتویی با طول موج خاص منتشر می‌کند. در نتیجه چنانچه از بین سه طیف پرتو تابیده شده به هر یک از کلونیدها، انرژی مشخصه برای برانگیختن الکترون‌های نوار ظرفیت تامین شود، پرتویی با طول موج خاص از کلونید منتشر می‌شود و در غیر این صورت برانگیختگی اتفاق نیفتاده و پرتویی ساطع نمی‌شود.

تعداد پرتو منتشر شده از ظرف A: صفر یا یک؛

تعداد پرتو منتشر شده از ظرف B: صفر یا یک.

ج) با توجه به ساختار نواری ارائه شده برای نقاط کوانتومی با قطر D_1 بدیهی است که انرژی آسایش الکترون‌های برانگیخته در این ذرات (شکاف انرژی) کمتر از انرژی لازم برای برانگیختن الکترون‌های نوار ظرفیت نقاط کوانتومی با قطر D_2 است و در نتیجه تاباندن پرتو فرابنفش به نقاط کوانتومی با قطر D_1 ، نمی‌تواند منجر به انتشار نور از نقاط کوانتومی با قطر D_2 شود و عبارت دوم درست است.

د) طیف نشر نور A با طیف جذب نور C هم‌پوشانی بالایی دارد ولی با طیف جذب نور B هم‌پوشانی ندارد. در نتیجه در حالتی که ذرات A و C به هم نزدیک باشند (کمتر از $1/5$ برابر شعاع فورستر)، پدیده FRET رخ می‌دهد.

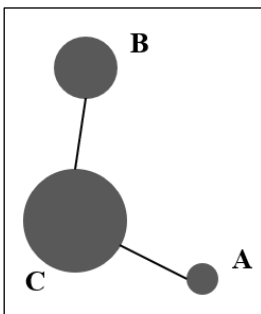
ه) با توجه به هم‌نام بودن بار الکتریکی ذرات، در صورت بریده شدن پیوند پپتیدی، ذرات از هم فاصله گرفته و فاصله آن‌ها بیشتر از $1/5$ برابر شعاع فورستر می‌شود و در نتیجه پدیده FRET رخ نمی‌دهد.

یک برش:

برش پپتید بین A و B: نشر پرتو با طول موج 450 نانومتر

جذب 350 توسط A و نشر 450

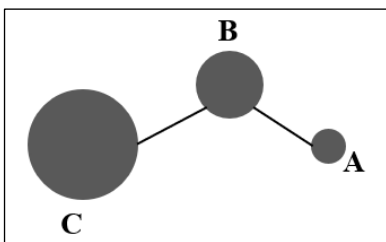
فاصله زیاد از B و عدم رخداد پدیده FRET



برش پپتید بین A و C: نشر پرتو با طول موج 650 نانومتر

جذب 350 توسط A و نشر 450

جذب 450 توسط B و نشر 550



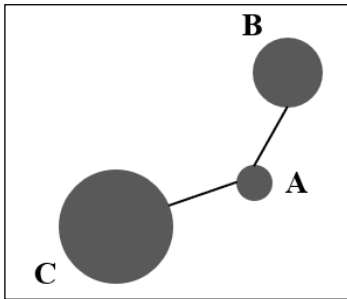
جذب ۵۵۰ توسط C و نشر ۶۵۰

برش پیتید بین B و C: نشر پرتو با طول موج ۵۵۰ نانومتر

جذب ۳۵۰ توسط A و نشر ۴۵۰

جذب ۴۵۰ توسط B و نشر ۵۵۰

فاصله زیاد از C و عدم رخداد پدیده FRET

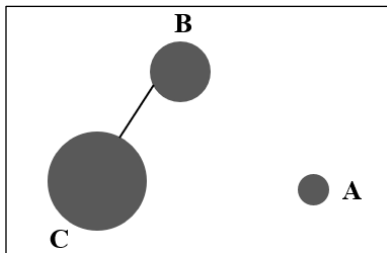


دو برش:

برش دو پیوند مجاور A: نشر پرتو با طول موج ۴۵۰ نانومتر

جذب ۳۵۰ توسط A و نشر ۴۵۰

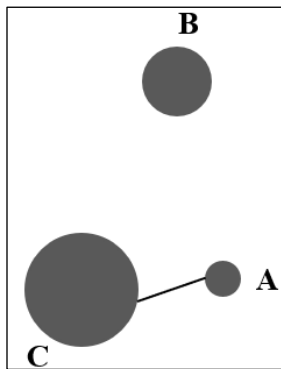
فاصله زیاد از B و عدم رخداد پدیده FRET



برش دو پیوند مجاور B: نشر پرتو با طول موج ۴۵۰ نانومتر

جذب ۳۵۰ توسط A و نشر ۴۵۰

فاصله زیاد از B و عدم رخداد پدیده FRET

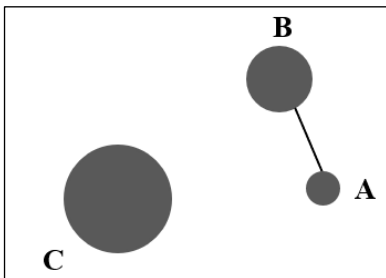


برش دو پیوند مجاور C: نشر پرتو با طول موج ۵۵۰ نانومتر

جذب ۳۵۰ توسط A و نشر ۴۵۰

جذب ۴۵۰ توسط B و نشر ۵۵۰

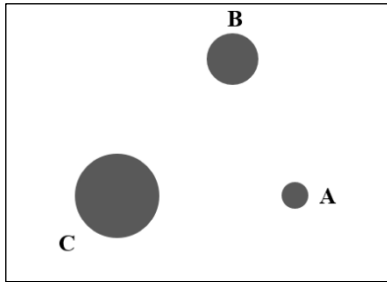
فاصله زیاد از C و عدم رخداد پدیده FRET



سه برش: نشر پرتو با طول موج ۴۵۰ نانومتر

جذب ۳۵۰ توسط A و نشر ۴۵۰

فاصله زیاد از B و عدم رخداد پدیده FRET

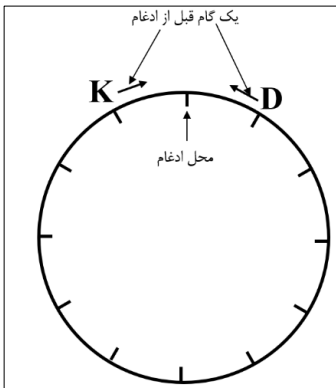


نهایتاً می‌توان نتیجه گرفت در ۴ حالت برش پیوندهای پپتیدی، نشر ۴۵۰ نانومتر را خواهیم داشت.

پاسخ تشریحی سوال ۶:

الف) با توجه به چرخش یک دوازدهمی هر نانوموتور در ۲ میلی‌ثانیه، می‌توان محیط دایره را به ۱۲ ناحیه مساوی تقسیم کرد (مشابه ساعت). از آنجایی که زاویه بین دو نانوموتور ۶۰ درجه است، بنابراین اختلاف موقعیت این دو نانوموتور به طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{اختلاف موقعیت} = \frac{60}{360} \times 12 = 2$$

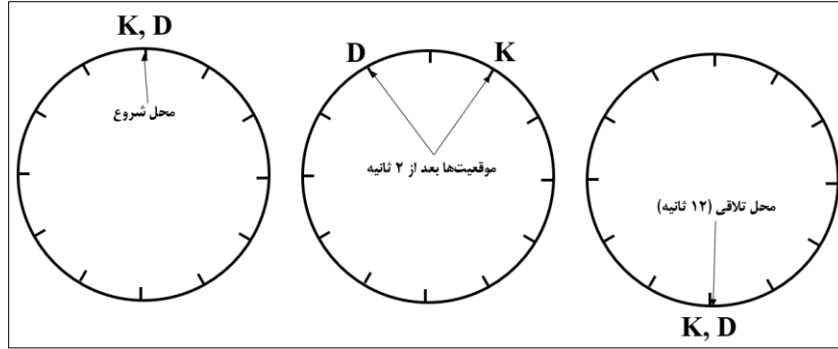


به طور مثال اگر داینین در موقعیت ساعت ۱ قرار داشته باشد، کاینزین در موقعیت ساعت ۱۱ قرار دارد (مطابق شکل).

از طرفی با توجه به اینکه بعد از ۲ میلی‌ثانیه دو نانوموتور به هم رسیده و ادغام می‌شوند، در نتیجه هر دو نانوموتور با یک تغییر موقعیت به هم رسیده و ادغام می‌شوند. بنابراین راستای حرکت دو نانوموتور مشابه شکل می‌شود.

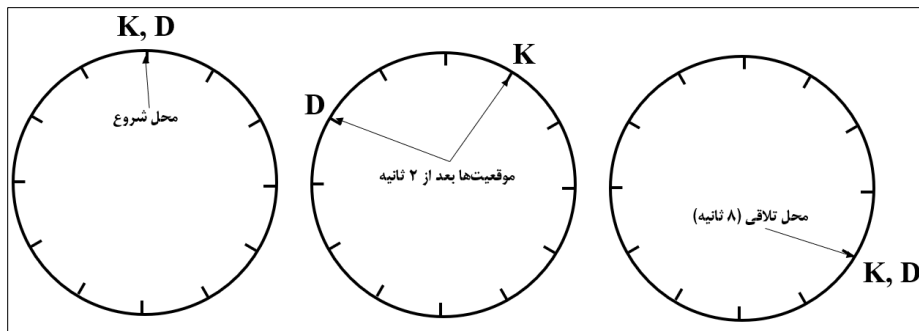
بنابراین نانوموتور داینین پادساعتگرد و نانوموتور کاینزین ساعتگرد می‌چرخند.

ب) با توجه به موقعیت مشابه دو نانوموتور و سرعت چرخش برابر به دور میکروتوبول، امکان تلاقی این دو با یکدیگر پس از چرخش به میزان نیم دور می‌رود.



در نتیجه پس از ۱۲ میلی ثانیه امکان تلاقی این دو می‌رود. از طرف دیگر از مطالب فیزیک دبیرستان می‌دانیم که سرعت نسبی دو متحرک که به سوی یکدیگر حرکت می‌کنند، جمع آن دو است؛ پس می‌توان کاینزین را ثابت در نظر گرفت و داینین را با سرعت ۳ نانومتر بر میلی ثانیه به سویش گسیل داشت. در نتیجه کمترین فاصله‌ای که امکان ادغام دو نانوموتور می‌رود، ۳۶ نانومتر است.

(ج) با توجه به شکل زیر پس از ۸ ثانیه دو نانوموتور به هم رسیده و امکان ادغام وجود دارد. همچنین با توجه به سرعت نسبی ۳ نانومتر بر میلی ثانیه، فاصله کمینه در این حالت ۲۴ نانومتر به دست می‌آید.



(د) فاصله ۱۹۲ نانومتری از یکدیگر، با توجه به سرعت نسبی (۳ نانومتر بر میلی ثانیه) نانوموتورها معادل ۶۴ میلی ثانیه است. از طرفی با توجه به اینکه هر ۲ میلی ثانیه نانوموتورها یک دوازدهم محیط میکروتوبول را می‌چرخند، بنابراین به ازای هر ۲۴ ثانیه یک دور کامل می‌چرخند و در موقعیت اولیه خود قرار می‌گیرند. در نتیجه ۶۴ میلی ثانیه معادل ۲ دور چرخش کامل (۴۸ میلی ثانیه) و ۱۶ میلی ثانیه باقیمانده است. در نتیجه برای اینکه پس از طی این زمان باقیمانده، نانوموتورها در هم ادغام شوند، باید اختلاف موقعیت هشت دوازدهم (معادل ۱۶ میلی ثانیه) داشته باشند. بنابراین داریم:

$$\theta = \frac{8}{12} \times 360 = 240$$