آزمون مرحله دوم

معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری
ستاد توسعه فناوری نانو
باشگاه دانش آموزی نانو

پاسخنامه تشریحی سوالات

دهمین المپیاد دانش آموزی علوم و فناوری نانو

تعداد سوال‌ها: ۲۶

مدت پاسخگویی: ۱۲۰ دقیقه

۱. کدام یک از گزینه‌های زیر را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین عامل برتری میکروسکوپ تونلی روبشی (STM) نسبت به میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) در دست‌یابی به تفکیک اتمی نام برد؟

۱- استفاده از سوزن نوک‌تیز با یک تک اتم در نوک آن

۲- امکان حذف ارتعاشات مکانیکی و نویز الکترومغناطیسی در حین تصویربرداری

۳- وجود ارتباط نمایی میان جریان تونلی و فاصله سوزن از سطح نمونه

۴- امکان تغییر فاصله سوزن از سطح نمونه با دقت آنگسترمی

پاسخ صحیح گزینه "۳" می‌باشد.

جریان تونلی برقرار شده میان سوزن و نمونه با تغییر فاصله میان این دو به شکل نمایی تغییر می‌کند. به‌این ترتیب که با کاهش فاصله میان سوزن و سطح نمونه به اندازه یک واحد، جریان تونلی ۱۰ برابر افزایش می‌یابد. بر این اساس با تغییر فاصله میان سوزن و سطح نمونه به اندازه ۳Å (که برابر با قطر متوسط یک اتم است) ، جریان تونلی تغییر ۱۰۰۰ برابر خواهد داشت. این امر سنجش و آشکارسازی تغییرات فاصله میان سطح سوزن و نمونه با دقت بسیار بالا با سنجش جریان تونلی را به‌راحتی میسر می‌کند.

این در حالی است که موارد مطرح شده در سایر گزینه‌ها، مواردی هستند که برای هر دو نوع میکروسکوپ **AFM** و **STM** ضروری هستند.

۲. "اندازه‌بحرانی‌ابرپارامغناطیس" اندازه‌ای‌است‌که‌در‌مقادیر‌کوچکتر‌از‌آن،‌خاصیت‌نانوذره‌مغناطیسی‌از‌فرومغناطیس‌به‌ابرپارامغناطیس تبدیل می‌شود. برای نانوذرات Fe_3O_4 با فرض ثابت بودن شکل هندسی آن، احتمال قرارگیری کدام نانوذره در حوزه ابرپارامغناطیس بیشتر است؟

۱- نانوذره با اندازه ۲۰ نانومتر و دمای 300 K

۲- نانوذره با اندازه ۱۰۰ نانومتر و دمای 300 K

۳- نانوذره با اندازه ۲۰ نانومتر و دمای 100 K

۴- نانوذره با اندازه ۱۰۰ نانومتر و دمای 100 K

پاسخ صحیح گزینه "۱" می‌باشد.

گذار از حالت فرومغناطیس به ابرپارامغناطیس برای یک ذره علاوه بر اندازه، به دما نیز ارتباط دارد. بر این اساس برای یک نانوذره مغناطیس در حجم ثابت دمایی موسوم به دمای انسداد (T_B) تعریف می‌شود و مواد فرو مغناطیس در دماهای بالای دمای انسداد (T_B) رفتار سوپرپارا مغناطیس از خود نشان میدهند. هرچه دمای محیط یا دمای کاری بالاتر باشد احتمال این که این دما بالاتر از دمای انسداد آن ماده باشد بیشتر است. دمای انسداد به‌اندازه نانو ذرات وابسته است. هرچه اندازه ذره کوچکتر باشد، دمای انسداد آن نانو ذره نیز کمتر میشود و احتمال این که دمای انسداد این نانو ذره کمتر از دمای محیط قرار گیرد بیشتر میشود.

۳. با کاهش اندازه نانوذرات فلزی، پدیده پلاسمون سطحی موضعی(SPR) و تغییر رنگ رخ می‌دهد. کدام گزینه علت این پدیده را به درستی بیان می‌کند؟

۱- گسسته شدن ترازهای انرژی

۲- افزایش نسبت سطح به حجم

۳- پهن شدن نوارهای انرژی

۴- قرارگیری کل توده‌ی نانوذرات فلزی در محدوده نوسان میدان الکتریکی پرتوهای نور مرئی

پاسخ صحیح گزینه "٤" می‌باشد.

با کاهش اندازه‌ی ذرات فلزی، اندازه آن‌ها کوچک‌تر از طول موج نور مرئی می‌شود که به‌ذره می‌تابد (۴۰۰ - ۷۰۰ nm) . این امر موجب می‌شود تا کل نانوذره در عمق نفوذ میدان الکتریکی پرتو نور قرار گیرد. در نتیجه نه‌تنها الکترون‌های سطح، بلکه کل الکترون‌های توده‌ی نانوذرات نیز تحت تاثیر میدان الکتریکی حاصل از پرتو ورودی قرار گرفته و شروع به نوسان می‌کنند. در چنین شرایطی پلاسمون ایجادشده در نانوذره، نه‌تنها سطح، بلکه کل نانوذره را دربرگرفته و موجب نوسان هماهنگ کل الکترون‌های نانوذره می‌شود. در چنین شرایطی پلاسمون ایجادشده در میری هماهنگ و در کل نانوذره، نوسانات رفت و برگشتی انجام می‌دهند.

۴. به هنگام تابش پرتو الکترونی به یک نمونه در تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی، انواع مختلف الکترون از سطح آن ساطع شده و یا از نمونه عبور می‌کند. در میان گزینه‌های زیر، انرژی جنبشی کدام الکترون‌ها مستقل از انرژی پرتو الکترون فرودی است؟

۱- الکترون‌های ثانویه

۲- الکترون‌های اوژه

۳- الکترون‌های برگشتی

۴- الکترون‌های عبوری

پاسخ صحیح گزینه "۲" می‌باشد.

انرژی جنبشی الکترون‌های اوژه مستقل از انرژی پرتوی الکترونی است که به سطح نمونه تابانده می‌شود و صرفاً تابع اختلاف انرژی ترازهای انرژی است که گذارهای رخ داده بین آن‌ها موجب گسیل الکترون اوژه می‌شود.

۵. وجود نیروهای موئینگی و نیروهای عرضی، در کدامیک از حالت‌های تصویربرداری میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بیش‌ترین تأثیر را دارند؟

۱- حالت تصویربرداری تماسی

۲- حالت تصویربرداری ضربه‌ای

۳- حالت تصویربرداری غیرتماسی

۴- گزینه‌های ۱ و ۲

پاسخ صحیح گزینه "۱" می‌باشد.

در حالت تصویربرداری تماسی سوزن AFM در نزدیک‌ترین فاصله ممکن به سطح نمونه قرار دارد. در چنین شرایطی اگر رطوبت اندکی بر روی سطح نمونه جذب شده باشد، این رطوبت موجب برهم‌کنش‌های موئین بین سوزن و سطح نمونه می‌شود. همچنین، وجود فاصله بسیار کم با سطح نمونه، موجب ایجاد برهم‌کنش‌های عرضی میان سوزن و سطح نمونه می‌شود. از این‌رو وجود نیروهای موئینگی و عرضی بیش‌ترین تأثیر را بر روی تصویر حاصل از حالت تماسی میکروسکوپ‌های نیروی اتمی دارند.

۶. ساختار تخلخل در کدام‌یک از نانومواد متخلخل زیر نسبت به سایر گزینه‌ها متفاوت است؟

۱- میکروکره‌های کربنی نانومتخلخل

۲- آئروژل‌های سیلیکونی

۳- زئولیت‌ها

۴- کربن فعال

پاسخ صحیح گزینه "۳" می‌باشد.

در میان گزینه‌های مورد پرسش، تمامی گزینه‌ها به جز زئولیت‌ها فاقد ساختار بلوری بوده و در نتیجه حفره‌های آن‌ها نیز فاقد ساختار منظم و تعریف شده‌ای است. در حالی که زئولیت‌ها دارای ساختار بلوری بوده و این نظم بلوری در ساختار حفره‌های آن‌ها نیز وجود دارد.

۷. کدامیک از گزینه‌های زیر در مورد فرآیند پایدارسازی الکترواستاتیکی نانوذرات نادرست بیان شده است؟

۱- این روش برای محلول‌های رقیق کارایی دارد.

۲- این روش در حلال‌های قطبی قابل اجراست.

۳- pH محلول در این روش تاثیر دارد.

۴- به راحتی می‌توان نانوذرات لخته شده را بازپخش کرد.

پاسخ صحیح گزینه "٤" می‌باشد.

نانوذراتی که با روش پایدارسازی الکترواستاتیکی پایدار شده‌اند، در صورت لخته شدن از سد انرژی الکترواستاتیکی گذر کرده و وارد ناحیه‌ای می‌شوند که نیروهای جاذبه‌واندروالس اثرگذار هستند. از این‌رو امکان جدا کردن و بازپخش آن‌ها وجود ندارد.

۸. کدام‌یک از گزینه‌های زیر در مورد مقایسه مایسل‌ها و لیپوزوم‌ها به‌عنوان نانوحامل برای دارورسانی درست بیان شده است؟

۱- مایسل‌ها نسبت به لیپوزوم‌ها نانوحامل‌های بهتری به‌شمار می‌روند، چون فقط توان حمل داروهای آب‌دوست را دارند.

۲- لیپوزوم‌ها نسبت به مایسل‌ها نانوحامل‌های بهتری به‌شمار می‌روند، چون فقط توان حمل داروهای آب‌دوست را دارند.

۳- مایسل‌ها نسبت به لیپوزوم‌ها نانوحامل‌های بهتری به‌شمار می‌روند، چون توان حمل هر دو نوع داروی آب‌دوست و آب‌گریز را دارند.

۴- لیپوزوم‌ها نسبت به مایسل‌ها نانوحامل‌های بهتری به‌شمار می‌روند، چون توان حمل هر دو نوع داروی آب‌دوست و آب‌گریز را دارند.

پاسخ صحیح گزینه "۴" می‌باشد.

مایسل‌ها صرفاً توان حمل مواد آب‌گریز را در درون خود دارند؛ این در حالی است که لیپوزوم‌ها می‌توانند مواد آب‌دوست را در ناحیه مرکزی و مواد آب‌گریز را در میان دیواره‌ی دولایه‌ای که دارند حمل کنند.

۹. قصد داریم با استفاده از یک منبع تغذیه با اختلاف پتانسیل ۲۰۰۰ ولت یک دستگاه ساده برای تولید نانوذرات اکسید فلزی با روش انفجار الکتریکی سیم بسازیم. برای دست‌یابی به نانوذرات با کوچکترین اندازه ممکن، کدام‌یک از خازن‌های زیر را انتخاب می‌کنید؟

($\frac{1}{2}c.v^2$ = انرژی ذخیره شده در خازن الکتریکی؛ c: ظرفیت خازن و v: اختلاف پتانسیل)

۱- خازنی با ظرفیت ۴ میکروفاراد و زمان تخلیه 10^{-6} ثانیه

۲- خازنی با ظرفیت ۴ میلی‌فاراد و زمان تخلیه 10^{-6} ثانیه

۳- خازنی با ظرفیت ۴ میکروفاراد و زمان تخلیه 10^{-4} ثانیه

۴- خازنی با ظرفیت ۴ میلی‌فاراد و زمان تخلیه 10^{-4} ثانیه

پاسخ صحیح گزینه "۲" می‌باشد.

برای دستیابی به نانوذره با اندازه کوچک، باید توان تخلیه دستگاه بالاترین حالت ممکن باشد. همانطور که از فرمول بالا مشخص است هرچه ظرفیت خازن بالاتر باشد انرژی ذخیره شده در خازن بیش‌تر خواهد بود و در زمان تخلیه ثابت هرچه انرژی ذخیره شده در خازن بیش‌تر باشد، توان تخلیه توسط خازن بیش‌تر است. از طرفی هرچه زمان تخلیه کوتاه‌تر باشد توان تخلیه دستگاه بیش‌تر است. لذا گزینه ۲ صحیح است. به‌عنوان نمونه محاسبه انرژی ذخیره شده در خازن با شرایط گزینه ۲ به صورت زیر است:

$$U = \frac{1}{2}C.V^2 = \frac{1}{2} \times (4 \times 10^{-3}) \times (2 \times 10^3)^2 = 8 \times 10^3 \text{J}$$

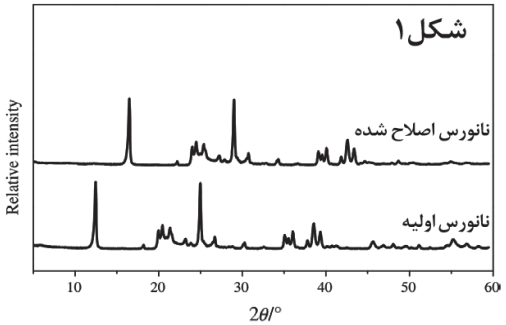
توان تخلیه شده توسط خازن:

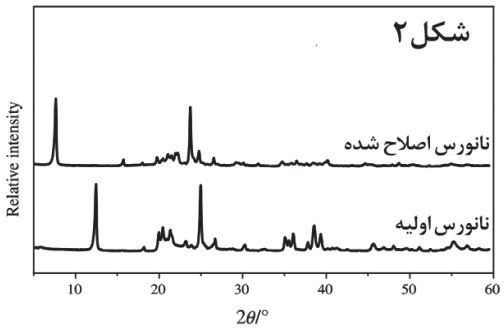
$$P = \frac{U}{t} = \frac{8 \times 10^3}{10^{-6}} = 8 \times 10^9\ W = 8\ GW$$

۱۰. اصلاح فاز معدنی از جمله راه‌کارهای بهبود پخش فاز معدنی در زمینه‌ی بسپار (پلیمر) در حین سنتز نانومواد مرکب (نانوکامپوزیت) است. می‌خواهیم نانوماده مرکبی متشکل از زمینه پلی‌استایرن و تقویت کننده‌ی نانورس سنتز کنیم. کدام‌یک از فرآیندهای زیر را برای اصلاح نانورس به عنوان فاز معدنی انتخاب نموده و انتظار دارید الگوهای پراش پرتو ایکس حاصل از نانورس اصلاح شده در مقایسه با نانورس اولیه، مشابه با کدامیک از الگوهای پراش پرتو ایکس زیر باشد؟

۱) فرآوری با مواد فعال سطحی (سورفکتانت) کاتیونی/آنیونی

۲) فرآوری با محلول‌های اسیدی قوی





۱- فرآیند ۱ - شکل ۱
۲- فرآیند ۱ - شکل ۲
۳- فرآیند ۲ - شکل ۱
۴- فرآیند ۲ - شکل ۲

پاسخ صحیح گزینه۲ است.

برای پخش مناسب خاک‌رس (**clay**) با ساختار لایه‌ای در زمینه، یکی از راهکارها تهیه **organoclay** می‌باشد که خاصیت آلی دوستی بیشتری نسبت به خاک رس اصلاح نشده دارد. در این میان می‌توان از انواع سورفکتانت‌های کاتیونی و آنیونی استفاده نمود. مواد فعال سطحی با یک سر آبدوست و یک دنباله آبگریز در بین لایه‌های خاک رس قرار گرفته و این امر منجر به افزایش فاصله بین لایه‌های خاک رس می‌شود. افزایش فاصله میان لایه‌های نانورس موجب جابه‌جایی پیک‌های **XRD** نمونه به سمت زاویه‌های کم‌تر می‌شود که در شکل ۲ به درستی نشان داده شده است.

۱۱. عملکرد بسیاری از فناوری‌های زیستی برمبنای اتصال مولکول‌ها به یکدیگر (برای مثال اتصال آنتی ژن به آنتی بادی) شکل می‌گیرد. میزان تمایل (affinity) مولکول‌های زیستی برای اتصال به یکدیگر تحت تاثیر عواملی مانند تغییر شکل فضایی مولکول‌ها و بار الکتریکی آن‌ها می‌تواند تغییر یابد.

تغییر ساختار مولکول‌های زیستی در میزان بازدهی کدام یک از روش‌های زیر، تاثیر چندانی ندارد؟

۱- تشخیص تومور سرطانی با نانوحسگر حساس به مولکول‌های سطح
۲- رسانش ژن تولید انسولین به سلول‌های بیمار دیابتی
۳- رسانش داروی شیمی‌درمانی به روش هدفمند غیرفعال
۴- ورود انتخابی ویروس به سلول هدف خود

پاسخ صحیح گزینه ۳ است.

گزینه‌ی ۱ مربوط به نانوحسگر تشخیص سرطان با اتصال آنتی بادی به آنتی ژن است.
گزینه‌ی ۲ مربوط به ژن تراپی است که اغلب بر مبنای اتصال آنتی بادی به آنتی ژن است.
گزینه‌ی ۳ مربوط به دارورسانی بر مبنای شرایط محیطی تومور سرطانی به صورت غیرفعال است و اتصال آنتی ژن و آنتی بادی در اینجا وجود ندارد.
گزینه‌ی ٤ مربوط اتصال ویروس به سلول هدف از طریق آنتی بادی و آنتی ژن است.

۱۲. در کدامیک از گزینه‌های زیر دلیل پدیده‌های زیر به درستی بیان شده است؟

الف) مشاهده رنگ متفاوت با تغییر زاویه دید نسبت به سنگ اُپل

ب) مشاهده باریکه‌ی نور لیزر در محلول کاملاً شفاف حاوی نانوذرات

۱- الف- تداخل امواج ب- تفرق پرتوهای نور
۲- الف- تفرق پرتوهای نور ب- تداخل امواج
۳- الف- تداخل امواج ب- تداخل امواج
۴- الف- تفرق پرتوهای نور ب- تفرق پرتوهای نور

پاسخ صحیح گزینه ۱ است.

علت تفاوت رنگ در سنگ اُپل، تداخل امواج از صفحات کریستالی مجاور هم بوده و علت مشاهده باریکه‌ی نور لیزر در محلول کاملا شفاف حاوی نانو ذرات، تفرق پرتوهای نور توسط نانو ذرات موجود در محلول است.

۱۳. پدیده‌ی ریزگردها از معضلات زیست محیطی عمده‌ای است که با توجه به آب و هوای گرم و خشک در مناطق وسیعی از ایران به خصوص در استان‌های جنوبی کشور موجب کاهش کیفیت زندگی مردم شده است. سه علت اصلی بروز این پدیده شامل تغییر اقلیم، کاهش منابع آبی و خشک‌سالی و نابودی پوشش گیاهی است. از طرفی گرمای شدید مناطق بیابانی با تبخیر آب و درنتیجه محدودیت رشد گیاهان به این معضل دامن می‌زند.

امروزه محققین فناوری نانو در حال طراحی روش‌های نوینی جهت کاهش این معضل زیست‌محیطی هستند. کدام‌یک از روش‌های زیر، راه حل مناسب‌تری جهت کاهش انتشار ریزگردها بوده و به طور مستقیم یا غیرمستقیم در رفع علل اصلی این پدیده موثر است؟

۱- افزودن نانوذرات سیلیکا به خاک جهت تثبیت خاک در برابر باد و جلوگیری از ایجاد گرد و غبار

۲- افزودن نانوکودها به خاک جهت تأمین املاح و مواد مغذی گیاهان و افزایش پوشش گیاهی

۳- افزودن آئروژل‌های ابرآبدوست بر پایه‌ی سیلیکا به خاک برای رهاسازی تدریجی آب

۴- تصفیه آلاینده‌های شیمیایی و زیستی آب با نانوفوتوکاتالیست‌ها جهت صرفه جویی در مصارف شهری

پاسخ صحیح گزینه ۳ است.

افزودن نانوذرات سیلیکا تاثیری در تثبیت خاک در برابر باد و جلوگیری از ایجاد گرد و غبار ندارد.

افزودن نانوکودها به گیاهان زمانی کارامد خواهد بود که آب کافی برای رشد گیاهان موجود باشد، نه در شرایط بیابانی گرم و خشک.

آئروژل های ابرآبدوست با حفظ آب و رهاسازی تدریجی آن از تبخیر شدید آب و خشکی خاک جلوگیری کرده و درنتیجه امکان رشد بیش تر گیاهان و جلوگیری از ایجاد ریزگرد را فراهم می کنند.

تصفیه آلاینده‌های شیمیایی و زیستی آب با نانوفوتوکاتالیست ها جهت صرفه جویی در مصارف شهری صرفا در حفظ بخشی از منابع آبی موثر است و در رشد گیاهان در شرایط خشک بیابانی تاثیری ندارد.

۱۴. فردی از دو روش پراکندگی نور دینامیکی (DLS) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) برای اندازه‌گیری اندازه نانوذرات سیلیکای هم‌اندازه (همه ذرات دارای اندازه برابر هستند) استفاده کرده است. اندازه نانوذرات به دست آمده از روش DLS و TEM به ترتیب برابر با ۱۳ nm و ۱۰ nm است. دلیل این تفاوت چیست؟

۱- کلوخه شدن نانوذرات در زمان انجام آزمون DLS

۲- اندازه‌گیری شعاع هیدرودینامیکی در آزمون DLS

۳- کلوخه شدن نانوذرات در زمان انجام آزمون TEM

۴- اندازه‌گیری شعاع هیدرو دینامیکی در آزمون TEM

پاسخ صحیح گزینه ۲ است.

در آزمون **DLS** قطر هیدرو دینامیکی ذرات اندازه گیری می‌شود. قطر هیدرو دینامیکی ذرات همواره بزرگتر از اندازه ذره است.

۱۵. در میان نانومواد گرافنی زیر کدام یک دارای بیش‌ترین رسانایی الکتریکی است؟

۱- گرافن اکسید

۲- گرافن اکسید عامل‌دار شده

۳- گرافن اکسید انبساط حرارتی شده

۴- گرافن اکسید احیاء شده

پاسخ صحیح گزینه ٤ است.

وجود انواع گروه‌های عاملی بر روی سطح گرافن موجب ایجاد عیوب ساختاری و کاهش رسانایی الکتریکی آن می‌شود. احیای شیمیایی گرافن موجب حذف این گروه‌ها شده و رسانایی را افزایش می‌دهد. از این‌رو گرافن اکسید احیاء شده دارای بیش‌ترین رسانایی الکتریکی در میان گزینه‌های مورد پرسش است.

۱۶. برای ایجاد بخار سرد، آب را با استفاده از ارتعاش یک صفحه به قطرات ریز آب تبدیل می‌کنند. با افزایش سطح تماس آب با هوا، سرعت تبخیر آب زیاد می‌شود. اگر بتوانیم قطرات ۲۰ نانومتری آب را ایجاد کنیم، گرمای لازم برای تبخیر یک گرم نانوقطرات آب با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد چند ژول می‌شود؟ (π= ۳، گرمای نهان تبخیر آب= ۲۰۰۰ kJ/kg و انرژی سطحی آب با هوا = ۱ mJ/m^2)

۱- ۱۶۵۰

۲- ۱۷۰۰

۳- ۱۸۵۰

۴- ۱۹۶۷

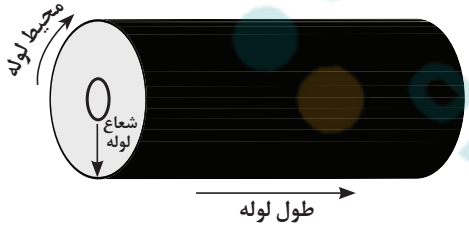
پاسخ صحیح گزینه ۲ است.

ایجاد سطح باعث افزایش انرژی نانوقطرات آب می‌شود و این انرژی در هنگام تبخیر آزاد می‌شود. انرژی تبخیر نانوقطرات آب برابر می‌شود با انرژی تبخیر آب منهای انرژی سطحی:

انرژی سطحی آب × سطح هر قطره آب × $\frac{\text{حجم یک گرم آب}}{\text{حجم هر قطره آب}}$ − گرمای تبخیر یک گرم آب = انرژی سطحی تبخیر یک گرم نانو قطرات آب

$$= 2 \times 10^3 - \frac{1 \times 10^{-6}(m^3)}{\frac{4}{3} \times \pi \times \left(10 \times 10^{-9}(m)\right)^3} \times 4 \times \pi \times \left(10 \times 10^{-9}(m)\right)^2 \times 1 \times 10^{-3}\left(\frac{J}{m^2}\right) = 1700\ mJ$$

۱۷. برای عبور دادن مایع تحت فشار از روی رود خانه نیاز به لوله‌ای است که هم بتواند فشار زیاد مایع را تحمل کند و هم بر اثر وزن زیاد مایع عبوری از داخل لوله، نشکند. لوله‌های بسپاری (پلیمری) معمولی توان تحمل این میزان نیرو را ندارند. اضافه کردن نانو لوله‌های کربنی به بسپار می‌تواند مقاومت لوله را افزایش دهد. برای ساخت این لوله با ساختار مرکب (کامپوزیتی)، بهتر است نانو لوله‌های کربنی در کدام جهت قرار بگیرند؟



۱- هم راستای طول لوله

۲- هم راستای شعاع لوله

۳- هم راستای محیط لوله

۴- به صورت پراکنده و نامنظم

پاسخ صحیح گزینه ٤ است.

به لوله دو نیروی اصلی وارد می‌شود. یک نیروی فشار مایع داخل لوله است و نیروی دیگر نیروی وزن مایع است که باعث خم شدن لوله روی رودخانه و شکست آن می‌شود. برای مقابله با نیروی فشار، نانو لوله‌ها باید در راستای محیط لوله جهت گیری کنند و برای مقابله با نیروی خمش ناشی از وزن نانو لوله‌ها باید در جهت طول لوله جهت گیری کنند. از این رو جهت گیری نانو لوله‌ها فقط در یک جهت کافی نیست پس باید نانو لوله‌ها در تمام جهات توزیع شوند.

۱۸. کدام گزینه در مورد مقایسه دو روش رسوب بخار شیمیایی (CVD) و رسوب لایه اتمی (ALD) صحیح است؟

۱- فرآیند CVD سرعت لایه نشانی بیشتری نسبت به فرآیند ALD دارد.

۲- فرآیند ALD سرعت لایه نشانی بیشتری نسبت به فرآیند CVD دارد.

۳- فرآیند CVD نیاز به محیط خلا دارد درصورتیکه فرآیند ALD در فشار اتمسفری انجام می‌شود.

۴- فرآیند ALD نیاز به محیط خلا دارد درصورتیکه فرآیند CVD در فشار اتمسفری انجام می‌شود.

پاسخ صحیح گزینه ۱ است.

فرآیند **ALD** به دلیل لایه نشانی خود محدود کننده‌ای که دارد (**Self Limiting**)، نرخ لایه نشانی پایین تری نسبت به فرآیند **CVD** دارد. در شرایط کلی تفاوتی میان خلاء مورد نیاز برای دو فرایند **CVD** و **ALD** وجود ندارد و بسته به شرایط لایه‌نشانی و نوع فرایند و محصول نهایی، هر دو فرایند لایه‌نشانی امکان انجام در شرایط خلاء بالا تا فشار اتمسفری را دارند.

۱۹. یک نانولوله کربنی زیگ‌زاگ دو سر باز با قطر ۲۰ نانومتر و طول ۱۵۰ نانومتر داریم. اگر از روی یکی از اتم‌های کربن روی قاعده نانولوله، در راستای بردار کایرال (۱ و ۱) شروع به حرکت کنیم تا به انتهای نانولوله برسیم، تقریباً از روی چند اتم کربن عبور خواهیم کرد؟ (طول پیوند اتم کربن- کربن برابر با ۰/۲ نانو متر است)

۱- ۱۰۰

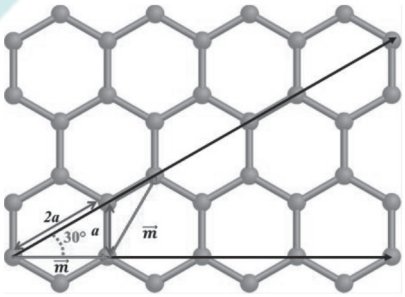
۲- ۵۰۰

۳- ۱۰۰۰

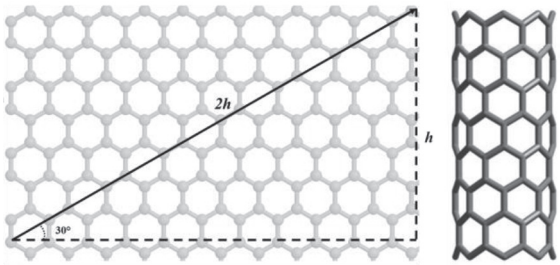
۴- ۵۰۰۰

پاسخ صحیح گزینه ۳ است.

حرکت کردن روی یک نانو لوله مانند حرکت روی یک صفحه گرافن با قاعده مشابه است. زمانی که در راستای بردار کایرال نانولوله‌ی زیگ‌زاگ ($\mathbf{m}$ و $\mathbf{m}$) حرکت می‌کنیم، در واقع روی وتر مثلثی با زاویه ۳۰ درجه حرکت می‌کنیم. طول وتر دو برابر طول پیوند کربن - کربن است (به شکل زیر مراجعه کنید).



با توجه به شکل فوق، طول وتر برابر با مضات پیمایش است. به شکلی مشابه، طول خط توصیف شده در متن سوال تقریباً ۲ برابر ارتفاع نانولوله خواهد بود (شکل زیر).



پس طول وتر (طول پیمایش) دو برابر ارتفاع مثلث یا دو برابر طول نانو لوله ($\mathbf{150\ nm}$) است. در نتیجه مضات پیموده شده برابر با ۳۰۰ نانو متر است. مطابق شکل اول زمانی که در راستای بردار ($\mathbf{m}$ و $\mathbf{m}$) حرکت می‌کنیم، برای رسیدن به اتم کربن مشابه اتم کربن ابتدایی باید حداقل یک قطر شش ضلعی (دو برابر طول پیوند کربن - کربن) و یک طول پیوند را رد بکنیم. از این رو به ازای ۳ طول پیوند (۰/۶ نانومتر) از روی دو اتم کربن عبور می‌کنیم. از این رو، طول خطی که از یک سوی نانولوله‌ی زیگ‌زاگ به سوی دیگر آن وصل شده و هم راستای بردار کایرال آن است، تقسیم بر ۳، برابر طول پیوند کربن - کربن خواهد شد که تقریباً برابر تعداد اتم‌های کربنی است که بر روی این خط قرار دارند. بر این اساس، خواهیم داشت:

$$\frac{300\ nm}{0.6\ nm} \times 2 = 1000$$

۲۰. یکی از مشکلات مهم پیل‌های سوختی پلیمری، مربوط به کارایی کاتالیست مورد استفاده در الکترودهای آن‌ها در حضور ناخالصی گاز CO است که برای افزایش میزان بازدهی این پیل‌ها، از نانوذرات آلیاژی فلزات واسطه به عنوان کاتالیست استفاده می‌شود. کدام گزینه‌ی زیر دلیل استفاده از چنین نانوذراتی را به درستی بیان می‌کند؟

۱- حساسیت بالای کاتالیست آند به وجود ناخالصی در هیدروژن مصرفی

۲- حساسیت بالای کاتالیست کاتد به وجود ناخالصی در هیدروژن مصرفی

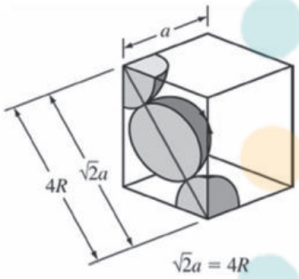
۳- حساسیت بالای کاتالیست آند به وجود ناخالصی در اکسیژن مصرفی

۴- حساسیت بالای کاتالیست کاتد به وجود ناخالصی در اکسیژن مصرفی

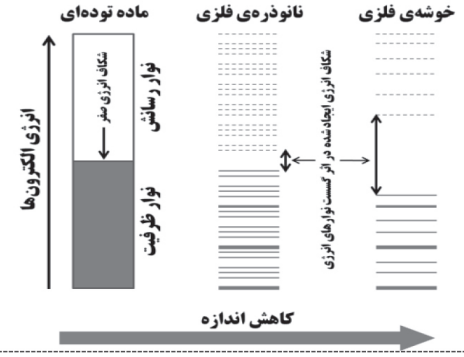
پاسخ صحیح گزینه ۱ است.

وجود مقدار بسیار کم کربن منوکسید به‌عنوان ناخالصی اصلی در هیدروژن مصرفی پیل‌های سوختی (در حدود ۱٪ حجمی) موجب غیرفعال شدن نانوذرات پلاتین استفاده شده به‌عنوان کاتالیست در آند آن‌ها می‌شود. استفاده از نانوذرات آلیاژی مبتنی بر پلاتین موجب افزایش مقاومت کاتالیست آند (الکترودی که واکنش اکسید شدن هیدروژن بر روی آن انجام می‌شود) در برابر کربن منوکسید، شده و کارایی پیل‌های سوختی را افزایش می‌دهد.

۲۱. برای مطالعه ساختار بلوری نمونه‌ای از نانوذرات، الگوی پراش پرتو ایکس آن‌ها تهیه شده است. الگوی پراش حاصل، دارای یک پیک شاخص در زاویه $2\theta=60°$ است. با فرض اینکه این نانوذرات با ساختار معکبی سطوح مرکزدار (fcc) متبلور شده‌اند و شعاع اتم‌های تشکیل دهنده‌ی نانوذرات برابر $\frac{\sqrt{3}}{10\sqrt{2}}$ nm است؛ محاسبه نمایید پیک شاخص مشاهده شده در این ساختار متعلق به کدام صفحه بلوری است. طول موج پرتو ایکس مورد استفاده برابر با ۰/۲ nm است. **(بارم ۱۰نمره)**

بخش اول	محاسبه فاصله صفحات بلوری: رابطه براگ: $n\lambda=2d.\sin\theta$ با فرض پراش مرتبه یک: $0.2 = 2d.\sin(60/2) \rightarrow d = \frac{0.2}{2.\sin(30)} = 0.2\ nm$
بخش دوم	محاسبه ثابت شبکه: برای یک بلور fcc داریم:  $R = \frac{\sqrt{3}}{10\sqrt{2}}\ \text{nm} \rightarrow a = 2R\sqrt{2}\ ,\ a = 0.2\sqrt{3}\ \text{nm}$
بخش سوم	ارتباط میان ثابت شبکه، شاخص‌های میلر، و فاصله صفحات بلوری: $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$
بخش چهارم	محاسبه شاخص‌های میلر و یافتن صفحه بلوری مربوطه: $\sqrt{h^2+k^2+l^2} = \frac{a}{d_{hkl}} = \frac{0.2\sqrt{3}}{0.2} = \sqrt{3} \rightarrow h^2+k^2+l^2 = 3$ تنها حالتی که سه عدد صحیح این تساوری را ممکن می‌کنند این است که هر سه عدد برابر 1 باشند: $h = k = l = 1$ پس این پیک پراش مربوط به صفحه (111) می‌باشد.

۲۲. خواص الکتریکی، نوری، مغناطیسی و شیمیایی نانوذرات فلزات نجیب مانند طلا و نقره به اندازه آن‌ها بستگی دارد. در این بین خوشه‌های اتمی با اندازه کمتر از ۳ نانومتر، خواص و رفتاری بین تک اتم فلزی و نانوذرات فلزی دارند. بر همین اساس خوشه‌های اتمی طلا، نقره و مس با قابلیت پرتوتابی(فوتولومینسانس)، به عنوان حسگر زیستی به‌کار می‌روند. این در حالی است که در اندازه‌های بزرگ‌تر، چنین نانوذراتی غالباً پرتوتابی ضعیفی از خود نشان می دهند. با در نظر گرفتن ساختار نواری و تغییرات ترازهای انرژی در مقیاس نانو، با رسم شکل نمادین دلیل این تفاوت را توضیح دهید. (بارم ۱۰ نمره)

بخش اول	یکی از مهم‌ترین اتفاقاتی که با کاهش اندازه در مقیاس نانو رخ می‌دهد، تغییر ساختار الکترونیکی مواد و شکافته شدن ترازهای انرژی آن‌ها است. با کاهش اندازه نانوذرات فلزی به کم‌تر از یک نانومتر به خوشه‌های فلزی می رسیم که در آن‌ها نوارهای انرژی شکافته شده و به ترازهای انرژی گسسته و مجزا تبدیل می‌شوند.
کلید واژه‌های بخش اول	تغییر ساختار الکترونیکی – گسسته شدن نوارهای انرژی
بخش دوم	در ساختار الکترونیکی فلزات فاصله‌ای میان نوار رسانش و ظرفیت وجود نداشته و این دو نوار هم‌پوشانی دارند. به‌عبارتی بهتر، بزرگی شکاف انرژی میان نوار رسانش و ظرفیت برابر صفر است. شکافته شدن نوارهای انرژی، موجب جدایش نوار رسانش و ظرفیت می‌شود. این امر موجب می‌شود تا خواص الکترونیکی نانوذرات فلزی با کاهش اندازه به شدت تغییر کند. با این وجود میزان گسستگی نوارها در نانوذرات درشت چندان بزرگ نبوده و امکان گذارهای انرژی در دمای محیط به راحتی وجود دارد. این امر موجب می‌شود تا امکان نوسان جمعی الکترون‌ها در نانوذرات فلزی وجود داشته و پدیده تشدید پلاسمون‌های سطحی موضعی در نانوذرات فلزی رخ دهد.
کلید واژه‌های بخش دوم	شکاف انرژی صفر در فلزات – پلاسمون سطحی
بخش سوم	با کاهش هر چه بیشتر اندازه نانوذرات و تبدیل آن‌ها به خوشه‌های اتمی، گسستگی ترازهای انرژی بیشتر می‌شود، به نحوی که گذارهای بین ترازی به تدریج ناممکن می‌شود. بر همین اساس خوشه‌های فلزی رسانای الکتریکی نبوده و فاصله زیاد بین ترازهای انرژی مانع نوسان جمعی الکترون ها شده و برهمین اساس پدیده تشدید پلاسمون سطحی در آن‌ها مشاهده نمی شود. این امر موجب می‌شود تا در اثر برهمکنش نور با الکترون‌ها درخوشه‌های فلزی، الکترون‌ها برانگیخته شده و به ترازهای انرژی بالاتر جابه‌جا شوند. در نهایت با بازگشت الکترون‌های برانگیخته به ترازهای اولیه، فوتون گسیل می‌شود که انرژی آن برابر اختلاف انرژی میان این ترازها است. این پدیده پرتوتابی نوری نام دارد.
کلید واژه‌های بخش سوم	خوشه‌های فلزی رسانای الکتریسیته نیستند – پرتوتابی نوری
بخش چهارم	
کلید واژه‌های بخش چهارم	تمامی موارد قید شده در شکل

۲۳. الکتروریسی رایج‌ترین روش برای ساخت نانو الیاف است. اگر بخواهیم نانو الیاف پلی‌وینیل‌الکل را به این روش تولید کنیم، باید پلی‌وینیل‌الکل را در آب حل کرده و سپس با استفاده از دستگاه الکتروریسی آن را به الیاف پلی وینیل الکل تبدیل کرد. توضیح دهید هر یک از متغیرهای فرآیندی زیر چه تأثیری بر شکل نانو الیاف خواهد داشت.

الف- غلظت پلی وینیل الکل

ب- اختلاف پتانسیل

ج-دمای داخل محفظه

د-نرخ تزریق محلول

(بارم ۱۰ نمره)

بخش اول **پاسخ مربوط به تاثیر غلظت پلی وینیل الکل**	غلظت: غلظت بسیار کم پلی‌ونیل‌الکل در محلول اولیه موجب می‌شود تا به دلیل وجود آب زیاد، نانو الیاف تشکیل نشوند و بسته به میزان رطوبت و یا دمای محیط، یک لایه و یا ذرات پراکنده از پلی‌ونیل‌الکل بر روی جمع کننده تشکیل شود. با افزایش غلظت، به تدریج امکان شکل‌گیری رشته‌های پیوسته‌ی نانوالیاف میسر می‌شود. در ادامه، با افزایش هرچه بیش‌تر غلظت محلول قطر نانو الیاف افزایش می‌یابد. باید توجه داشت در اثر افزایش بیش از حد غلظت محلول، الیاف با قطر زیاد (میکرومتری) ممکن است حاصل شود. در نهایت ممکن است محلول به قدری غلیظ شود که امکان ریسندگی الیاف وجود نداشته باشد.
کلید واژه های بخش اول	الیاف پیوسته – تغییر قطر الیاف
بخش دوم **پاسخ مربوط به تاثیر اختلاف پتانسیل**	اختلاف پتانسیل: در اختلاف پتانسیل‌های پایین امکان ریسندگی وجود ندارد. با افزایش اختلاف پتانسیل، به تدریج نیروی دافعه الکترواستاتیکی اثرگذار شده و موجب شکل گیری نانوالیاف می‌شود. در ادامه، افزایش پتانسیل موجب کاهش قطر نانو الیاف می‌شود. با این وجود، افزایش بیش از حد اختلاف پتانسیل می‌تواند موجب ایجاد قوس الکتریکی شده و به دستگاه آسیب وارد کند.
کلید واژه های بخش دوم	دافعه الکترواستاتیک – کاهش قطر الیاف – قوس الکتریکی
بخش سوم **پاسخ مربوط به تاثیر دمای داخل محفظه**	دما: دمای محیط عاملی است که سرعت تبخیر حلال (آب) را تعیین می‌کند. دمای کم محیط موجب می‌شود تا هنگامی که الیاف به جمع کننده می‌رسند به طور کامل خشک نشده باشند. در نتیجه بر روی جمع کننده لایه‌ای نامنظم از پلی‌وینیل الکل تشکیل شود. افزایش بیش از حد دما نیز موجب می‌شود تا قبل از این که الیاف به حد کافی کشیده شوند، رطوبت خود را به طور کامل از دست داده و جامد شوند. در نتیجه امکان کاهش قطر آن‌ها به شکل مناسب فراهم نگردد و در نتیجه امکان دست‌یابی به نانوالیاف مقدور نباشد.
کلید واژه های بخش سوم	سرعت تبخیر
بخش چهارم **پاسخ مربوط به تاثیر نرخ تزریق محلول**	نرخ تزریق: سرعت ورود محلول پلیمری به درون پمپ به منظور تشکیل مخروط تیلور است. به طور ایده آل نرخ تغذیه باید با سرعت برداشت محلول از نوک سوزن مطابقت داشته باشد. تحت این شرایط نانوالیاف طولانی با قطر یکنواخت بدست می‌آیند. زمانی که نرخ تغذیه افزایش می‌یابد، قطر الیاف یا اندازه دانه‌ها (bead) نیز متناظر با آن، زیاد خواهد شد. از طرف دیگر با افزایش نرخ تغذیه برابر با نرخ محلول حمل شده توسط جت، بار نیز زیاد می‌شود. در نتیجه محلول به میزان بیشتری کشیده می‌شود و این امر در مقابل افزایش قطر با افزایش نرخ تغذیه قرار گرفته و محدودیتی را در افزایش قطر الیاف ایجاد می‌کند. به طور کلی نرخ تغذیه کمتر به علت صرف زمان بیشتر برای تبخیر مطلوب‌تر است
کلید واژه های بخش چهارم	پیوستگی الیاف- تشکیل دانه- افزایش یا کاهش قطر الیاف

۲۴. در یک پروژه قصد داریم ابتلا به سرطان ریه را در مراحل اولیه‌ی بیماری در افراد در معرض خطر تشخیص داده و درمان کنیم. برای تشخیص از نانوحسگر شیمیایی مبتنی بر سوخت و ساز سلول‌های سرطانی استفاده می کنیم. این نانوحسگر در پاسخ به تغییرات دما، pH و اکسیژن محیط، در مجموع یک جریان الکتریکی تولید می‌کند که شدت جریان بالا نشان‌دهنده‌ی وجود سرطان است. در صورتی که بخواهیم دقت تشخیص نانوحسگر را به بیش ترین حد ممکن برسانیم، نحوه تغییرات جریان الکتریکی خروجی در پاسخ به هر یک از محرک‌های محیطی چگونه است؟ (افزایشی، کاهشی ، عدم تغییر). دلایل خود را برای هر یک از موارد در کادر مشخص شده توضیح دهید. (بارم ۱۰ نمره)

محرک محیطی	افزایش دما	افزایش PH	افزایش اکسیژن
پاسخ مطلوب به محرک	..... جریان الکتریکی	..... جریان الکتریکی	..... جریان الکتریکی

پاسخ تشریحی	سلول‌های سرطانی همواره درحال تکثیر سریع و کنترل‌نشده هستند و بنابراین سوخت‌وساز بالایی دارند. به‌این‌صورت که برای انجام واکنش‌های سوخت‌وساز درون‌سلولی، اکسیژن فراوانی از محیط اطراف خود جذب می‌کنند و درنتیجه غلظت اکسیژن باقی‌مانده در محیط اطراف سلول‌های سرطانی کاهش می‌یابد. هم‌چنین میزان رشد سلول‌های سرطانی درمقایسه با میزان رگ‌زایی و رسانش خون به تومور بیش‌تر بوده و اکسیژن کم‌تری به تومور می‌رسد که خود موجب کاهش بیش‌تر اکسیژن در تومور می‌گردد. این سلول‌ها از طرفی به‌دلیل واکنش‌های بالایی که دارند، گرمای زیادی طی این واکنش‌ها آزاد می‌کنند و درنتیجه دمای تومورهای سرطانی معمولا از بافت‌های سالم بالاتر است. هم‌چنین به‌دلیل کمبود اکسیژن در تومور سرطانی، واکنش‌های سوخت و ساز تومور بیش‌تر از نوع بی‌هوازی بوده و با تولید اسید لاکتیک موجب افزایش غلظت آن در محیط تومور می‌شود که منجر به کاهش **pH** می‌شود. از این سه ویژگی بافت سرطانی یعنی دمای بالا، **pH** پایین و اکسیژن کم می‌توان به‌عنوان محرک برای نانوحسگرهای سرطان استفاده کرد تا در پاسخ به هریک از این شرایط، افزایش سیگنال در نانوحسگر ثبت شود. بنابراین باتوجه به صورت سوال، در پاسخ به افزایش دما (مشابه سرطان)، افزایش **pH** (برخلاف سرطان) و افزایش اکسیژن (برخلاف سرطان) به‌ترتیب افزایش، کاهش و کاهش جریان الکتریکی مطلوب هستند.
کلید واژه‌ها	کلیدواژه‌ها: تکثیر سریع، سوخت‌وساز بالا، مصرف اکسیژن، اکسیژن کم محیط، تولید گرما و دمای بالا، تولید اسید و کاهش **pH**،

۲۵. اغلب فلزات جامد دارای ساختار بلوری هستند. معمولاً فلزات خالص بلورین، نرم بوده و قابلیت تغییر شکل برگشت ناپذیر دارند (انعطاف پذیرند). اگر مذاب فلزی خیلی سریع سرد شود، فلزی با ساختار بی‌شکل (آمورف) حاصل می‌شود. چنین فلزی سخت (با استحکام بالا) و ترد (شکننده) بوده و انعطاف‌پذیری چندانی ندارد و به راحتی در اثر تغییر شکل می‌شکند.

در صورتی که یک قطعه‌ی فلزی با ساختار بی‌شکلی در دو دمای بالا و پایین عملیات حرارتی شود، مشاهده می‌شود که فلزی که در دمای بالا عملیات حرارتی شده است، نرم و انعطاف‌پذیر می‌شود، درحالی‌که فلز عملیات حرارتی شده در دمای پایین، استحکام و انعطاف‌پذیری بالایی از خود نشان می‌دهد. دلیل چنین تغییر رفتاری در اثر عملیات حرارتی در دو دمای متفاوت، از منظر ساختار بلوری چیست؟

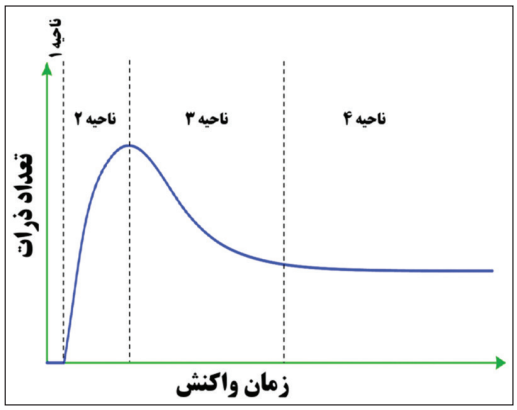
(بارم ۱۰ نمره)

بخش اول	از نظر ترمودینامیکی فلزات زمانی پایداری بیش‌تری دارند که دارای ساختار بلورین باشند. دلیل این امر این است که هنگامی که فلزات دارای ساختار بی‌شکل هستند، سطح انرژی آن‌ها بالاتر از حالت بلورین است. این در حالی است که روند تمامی پدیده‌های در طبیعت به سمت کاهش سطح انرژی است؛ از این‌رو تبدیل ساختار بی‌شکل یک فلز به سلختار بلورین موجب افزایش پایداری آن می‌شود. چنین سطح انرژی بالایی به عنوان یک نیروی محرکه عمل کرده و موجب می‌شود تا در حین عملیات حرارتی، ساختار بی‌شکل فلز متبلور گردد.
کلید واژه‌های بخش اول	سطح انرژی بالاتر در حالت بی‌شکل – افزایش پایداری – تبلور در حین عملیات حرارتی
بخش دوم	در حین عملیات حرارتی دما پایین، وجود نیروی محرکه ترمودینامیکی موجب آغاز فرایند تبلور می‌شود. با این حال به دلیل این‌که فرایند در دمای پایین رخ می‌دهد، بلورهای شکل گرفته درون توده‌ی فلز امکان رشد چندانی نداشته و دارای اندازه نانویی خواهند بود. این امر موجب می‌شود تا قطعه‌ی فلزی دارای دانه‌بندی بسیار ریز و نانومقیاس گردد. ایجاد چنین ساختار ریزدانه‌ای با بلورهای نانومقیاس موجب می‌شود تا قطعه‌ی فلزی دارای سختی بسیار بالا بوده و در عین حال انعطاف‌پذیر باشد.
کلید واژه‌های بخش دوم	شکل گیری بلورهایی در اندازه نانو – ریزدانه شدن فلز
بخش سوم	عملیات حرارتی در دمای بالا موجب آغاز تبلور فلز می‌شود؛ با این تفاوت که فرایند دما بالا امکان رشد بلورها تا ابعاد میکرومتری را فراهم می‌کند. این امر موجب می‌شود تا قطعه‌ی حاصل انعطاف‌پذیر گشته و در حین حال نسبت به قطعه‌ای که در دمای پایین عملیات حرارتی شده است، استحکام کم‌تری داشته باشد.
کلید واژه‌های بخش سوم	شکل گیری بلورهایی در اندازه میکرو

۲۶. دانش‌آموزی در یک آزمایش اقدام به سنتز نانوذرات هیدروکسید آلومینیوم ($Al(OH)_3$) با روش هم‌رسوبی کرده است. او در این آزمایش از محلول آلومینیوم نیترات ($Al(NO_3)_3$) به‌عنوان منبع آلومینیوم و از سدیم هیدروکسید ($NaOH$) به‌عنوان عامل رسوب‌دهنده استفاده کرده است. منحنی مقابل نشان دهنده روند تغییر تعداد ذرات تشکیل شده پس از افزودن یکباره‌ی ماده رسوب دهنده است.

دلیل تغییرات منحنی در هر یک از ناحیه های ۱ تا ۴ را بیان کنید.

(بارم ۱۰ نمره)



بخش اول **توضیح مربوط به ناحیه ۱ نمودار**	ناحیه اول: در آغاز فرایند، هیچ ذره‌ای در محیط محلول وجود ندارد. با افزده شدن راسب به محلول و انجام واکنش، به تدریج اولین مولکول‌های $Al(OH)_3$ شکل می‌گیرد. روند تشکیل $Al(OH)_3$ موجب افزایش غلظت آن می‌شود، با این حال افزایش غلظت تا پیش از رسیدن به نقطه فوق اشباع به تشکیل هیچ ذره‌ای منتهی نخواهد نشد. با اشباع شدن محلول و گذر غلظت از مقدار اشباع آن، فرایند هسته‌زایی آغاز شده و اولین ذرات شکل می‌گیرند. ناحیه 1 مشخص شده در شکل که در آن هیچ ذره‌ای مشاهده نمی‌شود، مربوط به مرحله‌ای است که غلظت هنوز به مقدار فوق اشباع نرسیده و در آن هیچ ذره‌ای تشکیل نشده است.
کلید واژه‌های بخش اول	افزایش غلظت – نقطه فوق اشباع – عدم تولید ذرات
بخش دوم **توضیح مربوط به ناحیه ۲ نمودار**	ناحیه دوم: با گذر غلظت $Al(OH)_3$ از قدار فوق اشباع، بلافاصله هسته‌زایی آغاز شده و به سرعت تعداد زیادی ذره بسیار کوچک در محیط محلول ایجاد می‌شود. با این حال هم‌چنان واکنش میان ماده راسب و محلول موجب افزایش غلظت $Al(OH)_3$ می‌شود؛ افزایش غلظت موجب افزایش سرعت هسته‌زایی و شکل گیری ذرات می‌شود. در نهایت با کاهش غلظت ماده راسب، سرعت شکل گیری $Al(OH)_3$ نیز کاهش یافته و در نتیجه به تدریج غلظت آن نیز کاهش می‌یابد. کاهش غلظت $Al(OH)_3$ موجب کاهش سرعت هسته‌زایی می‌شود. این موجب ایجاد یک بیشینه در منحنی تعداد ذرات می‌شود.
کلید واژه‌های بخش دوم	هسته‌زایی – کاهش غلظت راسب – بیشینه منحنی تعداد ذرات
بخش سوم **توضیح مربوط به ناحیه ۳ نمودار**	ناحیه سوم: با گذر از بیشینه تعداد ذرات، به دلیل وجود ماده راسب، همچنان $Al(OH)_3$ تشکیل می‌شود. با این وجود به دلیل اینکه غلظت آن رو کاهش است، غلظت $Al(OH)_3$ به کم‌تر از مقدار فوق اشباع رسیده و دیگر هسته‌زایی رخ نمی‌دهد. از طرفی به دلیل حل شدن بخشی از هسته‌های موجود و نیز ذرات بسیار کوچک که ناپایدار هستند، تعداد ذرات روند کاهشی به خود می‌گیرد. این موجب می‌شود تا اندازه‌ی ذراتی که به حد کافی رشد کرده‌اند، از طریق تغذیه از هسته‌ها و ذرات کوچک ناپایدار افزایش یابد.
کلید واژه‌های بخش سوم	کاهش غلظت به کم‌تر از فوق اشباع – توقف هسته‌زایی – روند کاهشی تعداد ذرات – افزایش اندازه ذرات پایدار
بخش چهارم **توضیح مربوط به ناحیه ۴ نمودار**	ناحیه چهارم: در ناحیه چهارم واکنش ماده راسب و محلول آلومینیوم نیترات به دلیل تمام شدن هر دو یا یکی از واکنش‌گرها متوقف می‌شود. این موجب می‌شود تا دیگر $Al(OH)_3$ در محیط تولید نشود. با این حال همچنان روند رشد ذرات درشت و پایدار از ذرات کوچک‌تری که ناپایدار هستند ادامه دارد. از این رو غلظت $Al(OH)_3$ در محلول به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. این امر موجب می‌شود در نهایت و با سپری شدن زمان کافی، ذراتی با توزیع اندازه باریک و یک اندازه حاصل شود.
کلید واژه‌های بخش چهارم	توقف واکنش – تولید ذراتی با توزیع اندازه باریک