



**Викторина для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Ответы. Физика**



1. Правильный ответ: попадание электрона в квантовую яму.

Батохромный сдвиг – смещение в длинноволновую («красную»), а гипсохромный – в коротковолновую («синюю») область спектра. Энергетический спектр квантовой точки принципиально отличается от объемного полупроводника, поскольку электрон в нанокристалле ведет себя как в трехмерной потенциальной «яме», возникающей из-за того, что квантовая точка имеет ограниченный размер и вне квантовой точки нет атомов полупроводника. В такой яме возникает лишь несколько возможных дискретных стационарных уровней энергии для электрона и дырки с характерным расстоянием между ними

$$\hbar^2/2md^2,$$

где d – размер нанокристалла (квантовой точки), m – «эффективная масса» электрона. Иными словами, энергетический спектр квантовой точки зависит от ее размера. Аналогично переходу между уровнями энергии в атоме, при переходе носителей заряда между энергетическими уровнями в квантовой точке может излучаться или поглощаться фотон. Длиной волны поглощения или люминесценции легко управлять, изменяя размеры самой квантовой точки, поэтому иногда квантовые точки называют «искусственными атомами». В терминах полупроводниковых материалов это можно назвать возможностью контроля эффективной ширины запрещенной зоны.

2. Правильный ответ: получить коллоидный раствор нанодисперсных пластинок металлического серебра.

Как ни странно, правильный ответ – коллоидный раствор нанопластинок серебра. Наночастицы серебра являются очень эффективными поглотителями

электромагнитного излучения в видимой области. Это связано с тем, что электронный газ металлических наночастиц эффективно взаимодействует с электрической компонентой падающего возбуждающего излучения (электромагнитной волны), при этом в электронном газе возбуждаются коллективные колебания (плазмоны) – стоячие волны, длина волны (частота) которых в существенной степени зависит от размеров (протяженности) наночастиц в направлении такой волны. Электроны не могут «выпрыгнуть» за пределы наночастицы и остаются в ней, хотя коллективное колебание и создает локально диполь, состоящий из положительно заряженного катионного остова металла и смещенной электронной плотности (электронного газа). Если определенная длина волны падающего излучения эффективно возбуждает такие «стоячие волны» в наночастицах, то излучение эффективно поглощается и возникает пик поглощения «плазмонного резонанса». Излучение с такой длины волны «вычитается» из «белого света», а окраска коллоидного раствора, поглотившего излучение в районе пика «плазмонного резонанса», будет определяться оставшимися «дополнительными» цветами. К сожалению, лишь изменение размера наночастиц серебра, даже вплоть до 5 нм, сдвигает пик поглощения до 400 нм (синяя часть спектра), в результате такие растворы окрашены в «цыплячий» дополнительный желтый цвет. Для того, чтобы раствор стал малиновый, необходимо иметь в коллоидном растворе два пика поглощения, связанных с дополнительным параметром – анизотропией частиц серебра (их формой). Поэтому достаточно просто (в том числе экспериментально) подобрать такой размер и форму (пластинки, диски и пр.) наночастиц серебра, чтобы их коллоидный раствор выглядел малиновым (лиловым). В принципе, при таком подходе можно получить практически любую окраску водного коллоидного раствора анизотропных наночастиц серебра в видимой области спектра.

3. **Правильный ответ: адиабатической.**

Очевидно, система обменивается энергией с окружающими телами и в ней повышается температура, поэтому она не может быть ни изотермической, ни изолированной. В открытой системе разогрев вряд ли возможен в контролируемом режиме из-за интенсивного обмена и веществом, и теплом. Единственная система, которая, по определению, обменивается энергией, но не теплом – это адиабатическая система. В ней закон сохранения выполняется очень просто: изменение внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты, переданной системе, и работой, совершенной системой над внешними телами. В адиабатической системе теплота, по определению, не передается, потому закон можно переформулировать по-другому: вся работа, совершаемая внешним магнитным полем, идет на увеличение внутренней энергии опухоли с наночастицами, то есть она нагревается. Осталось пояснить, почему система адиабатическая (скорее, «квазиадиабатическая»). Это возникает из-за того, что частота внешнего магнитного поля велика, поэтому «элементарные акты» воздействия магнитным полем (между периодами изменения его направления) осуществляются за очень короткое время, а за это время теплопередача вовне просто не успевает осуществляться. Очевидно, использование такой аналогии для поля низкой частоты уже работать не будет.

4. Правильный ответ: сверхкритический флюид распределится равномерно по поверхности «лотоса».

При переходе жидкости в сверхкритическое состояние исчезает различие между жидкой и паровой фазами, то есть свойства вещества в сверхкритическом состоянии будут чем-то промежуточным между газом и жидкостью. Поэтому «сверхкритический флюид» обычно обладает высокой плотностью, близкой к плотности жидкости («высокоплотный газ»), но и очень низкой вязкостью («очень текучая жидкость»), кроме того, поверхностное натяжение и граница раздела между жидкостью и паром тоже исчезает. «Эффект лотоса» основан на том, что формируются лишь «точечные» контакты между листом и жидкостью, то есть реализуется практически полная несмачиваемость или супергидрофобность. Большей площади контакта просто не возникает из-за особой морфологии поверхности («мохнатые волокна») и большой энергии поверхностного натяжения на границе воды и воздушной (паровой) фазы, находящейся между «мохматыми волокнами». Иными словами, вода не проникает в структуру листа из-за того, что ее туда не пускает воздух. В сверхкритическом состоянии жидкость приобретает, как отмечалось выше, особые свойства и эффект лотоса перестает работать, сверхкритический флюид (более не исходная жидкость) распределится по поверхности листа.

5. Правильный ответ: CdSe.

Луч будет лучше всего виден в среде квантовых точек (проверено на лекциях по неорганической химии химического факультета МГУ). Знаменитый эффект Тиндаля основан на рассеянии света при прохождении светового пучка через оптически неоднородную среду. Однако очень важно, какие частицы (или объекты) составляют эту среду. Совершенно точно луч будет плохо виден и достаточно быстро затухнет в желтом гидрозоле наночастиц серебра. На то он и желтый, чтобы хорошо поглощать синий свет, а плазмонные наночастицы серебра – вообще рекордсмены по поглощению электромагнитного излучения. Хуже поглощает, но поглощает, синий цвет окрашенный в желто-коричневый цвет гидроксид железа (III). Скорее всего, классически проявит себя конус Тиндаля в коллоидном растворе диоксида титана. Если диоксид титана белый, то он не поглощает в видимой области спектра, а только в ультрафиолетовой. Мицеллярная вода имеет мицеллы с не очень большой разностью коэффициентов преломления на границе раздела воды и мицелл, поэтому этот раствор точно не выиграет гонку. А вот квантовые точки будут возбуждаться синим лазерным лучом и ярко люминесцировать (видимо, зеленым светом, но это зависит от их размера). Таким образом, к рассеянию добавится люминесценция, и луч будет выглядеть ярче всего, в буквальном смысле. При большой концентрации квантовых точек, возможно, будет светиться только часть раствора, потом может произойти концентрационное тушение, но зато в начале участка свечение будет очень ярким.

6. Правильный ответ: они «высасывают» носители своего знака из слоя перовскита.

Самый подходящий вариант касается «высасывания» носителей своего знака. В светопоглощающем слое перовскита при поглощении фотона образуется пара «электрон и дырка». Она мигрирует по слою и вполне может умереть, аннигилировать, встретившись со своим антиподом по знаку (возможно, от другой пары). Чем дальше носители бродят (диффундируют, мигрируют) или / и чем выше их

концентрация, тем выше вероятность их гибели в ходе люминесценции, которая является побочным эффектом работы солнечных батарей и снижает, разумеется, их эффективность. Электроны и дырки нужно разделять непрерывно, тогда под действием потока фотонов возникнет разность потенциалов, а в замкнутой цепи потечет ток. Как раз для разделения зарядов электрон- и дырочно-проводящие слои и вводятся, в них переходят носители заряда соответствующего знака, то есть они, образно говоря, «высасываются» необходимыми дополнительными слоями, и лишь потом передаются электродам. В результате возникает непрерывный фототок без паразитной люминесценции, эффективность солнечного элемента возрастает.

7. Правильный ответ: сегнетоэлектрики.

Сегнетоэлектрики являются одновременно и пьезоэлектриками (обратное не всегда верно), то есть материалами, которые изменяют свой размер (деформируются) при приложении внешнего электрического поля. Таким образом, стимул-воздействие в виде электрического потенциала вызывает действие – сжатие или растяжение, что можно использовать (и успешно используется) для нанопозиционирования, в том числе, в устройстве сканирующего зондового микроскопа.

8. Правильный ответ: коэффициент преломления.

Комбинируя известный закон Брэгга-Вульфа: $2d \sin \theta = k\lambda_{med}$, где d – расстояние между слоями упорядоченных микросфер, θ – угол между падающим лучом и дифрагирующими плоскостями, k – порядок дифракции ($k = 1, 2, 3\dots$), $\lambda_{med} = \lambda/n(\lambda)$ – длина волны излучения в среде с показателем преломления n (λ – длина волны того же излучения в вакууме), и закон Снелла: $\sin \theta / \sin \gamma = n$, где дополнительная величина γ – угол преломления, а n – показатель преломления среды, получаем уравнение, описывающее дифракцию света в среде с периодически изменяющимся коэффициентом преломления:

$$\lambda = \frac{2d}{k} \sqrt{n^2(\lambda) - \sin^2 \theta}$$

9. Правильный ответ: спин-зависимое рассеяние электронов.

В основе эффекта ГМС лежит спин-зависимое рассеяние электронов в сверхрешётке, то есть зависимость сопротивления слоёв от взаимной ориентации их намагниченности и направления спинов электронов. Это связано с тем, что перенос (туннелирование, в частности) электронов с параллельными спинами между слоями происходит легче, чем для антипараллельных. Спин системы самопроизвольно не изменяется, это запрещено, поэтому если внешнее магнитное поле или поле слоя сможет создать спин-поляризованные носители (то есть с одной и той же ориентацией спинов по полю), то только их перемещение в системе будет осуществляться существенно легче, то есть электрическое сопротивление в системе упадет. Обычный закон Ома (рассеяние электронов на тепловых колебаниях решетки) здесь (и в спинтронике) заменяется более фундаментальным принципом, основанным на незыблемых постулатах квантовой механики, – управлением ориентацией спина электрона для контроля концентрации носителей заряда.

10. Правильный ответ: все вышеперечисленное.

Особенно ценным является то, что наноуглеродные материалы позволяют обеспечить большую площадь поверхности, необходимую для создания эффективно работающего суперконденсатора. Толщина возникающего в ионисторах (и вообще возникающего всегда) двойного электрического слоя мала, поэтому при увеличении площади поверхности, на которой он располагается, резко возрастает запасаемый в таком конденсаторе заряд, а значит и энергия, которая оказывается существенно выше по сравнению с энергией обычных конденсаторов той же формы и размера со слоем диэлектрика между обкладками.