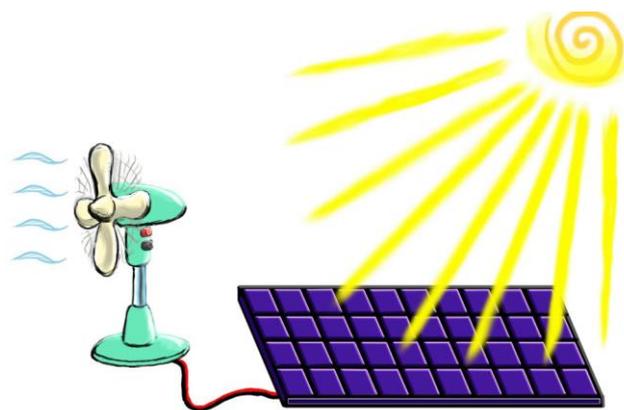


Деление синглетного экситона и преобразование солнечной энергии

Сейчас уже мало кого можно удивить, показав работу солнечных элементов, – устройств, напрямую преобразующих энергию солнечного света в электрическую энергию. Все больше таких устройств прочно входят в наш повседневный быт: от внешних аккумуляторов и уличных фонариков с солнечными батареями до солнечных панелей на крышах жилых домов и дач. Однако эффективность существующих солнечных элементов хоть и растет из года в год, неуклонно приближается к 33% – так называемому пределу Шокли-Квайссера. К сожалению, на сегодня лучшие фотоэлементы обеспечивают эффективность лишь около 25%, и существует не так много возможностей для ее дальнейшего повышения, о чём наглядно говорит тот факт, что эффективность лучших устройств на базе кремния увеличилась не более чем на 2% за последние двадцать лет.



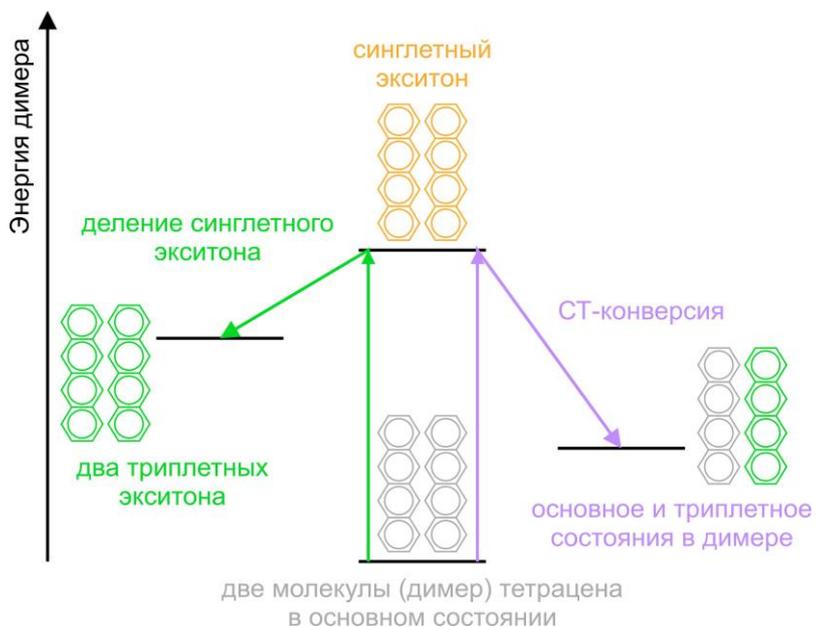
Дело в том, что промышленные фотоэлементы представляют собой полупроводники с определенной шириной запрещенной зоны, то есть минимальной энергией необходимой для перехода электрона в зону проводимости. Фотоны с энергией меньше ширины запрещенной зоны не поглощаются, а фотон с энергией, превышающей ширину запрещенной зоны, может быть поглощен с образованием всего одного электрона, при этом вся избыточная энергия фотона выше запрещенной зоны преобразуется в тепло.

Десятилетиями теоретический предел Шокли-Квайссера для используемого в современных солнечных элементах полупроводниковых материалов считался абсолютным, но относительно недавно появились идеи, как его преодолеть и повысить эффективность преобразования солнечной энергии до 40% и даже выше. Как один из возможных путей обхода предела Шокли-Квайссера пристальное внимание ученых все больше привлекает процесс деления синглетного экситона (singlet exciton fission).

Деление синглетного экситона – это процесс, в результате которого при поглощении органическими полупроводниками одного фотона солнечного излучения рождаются две возбужденные молекулы (два экситона), из которых впоследствии образуются два электрона, в то время как в стандартных фотоэлементах каждый фотон «выбивает» только один электрон, а избыточная энергия фотона, которой вполне могло бы хватить на большее, расходуется на повышение температуры материала. За последнее десятилетие изучение процесса деления синглетного экситона дало много захватывающих результатов, однако знаний до сих пор не хватает для улучшения эффективности фотоэлементов, и все больше исследователей по всему миру (и наша лаборатория в том числе) подключаются к исследованиям в данной области.

Процесс деления синглетного экситона впервые наблюдался в антрацене в 1965 году, однако до сих пор обнаружено относительно немного подходящих для этого процесса веществ, так как для протекания процесса деления синглетного экситона обязательно должно выполняться следующее условие: энергия первого возбужденного короткоживущего состояния исследуемой молекулы (так называемого синглета) должна не менее чем в два раза превышать энергию ее первого возбужденного долгоживущего состояния (так называемого триплета). На данный момент наиболее изученными веществами являются полиацены – органические соединения, состоящие из линейно присоединенных бензольных колец. Однако большая часть исследований проводится с их молекулярными кристаллами или тонкими пленками, имеющими сложную структуру, что сильно усложняет интерпретацию экспериментальных данных. В своем исследовании мы решили избежать указанных проблем,

работая с димерами молекул тетрацена – наименьшими объектами, в которых может происходить процесс деления синглетного экситона. Слабосвязанные изолированные димеры тетрацена, образующиеся в молекулярном пучке при расширении газовой смеси в вакуум, возбуждались импульсным лазерным излучением видимого диапазона, а затем ультрафиолетовым лазером происходила их фотоионизация. Изменяя время между двумя лазерными импульсами, мы напрямую регистрировали как короткоживущие синглетные



состояния, так и долгоживущие триплетные. Однако сравнив результаты фотовозбуждения одиночных молекул тетрацена с результатами, полученными в димерах, мы пришли к удивительному заключению: по всей видимости долгоживущие триплетные состояния в обоих случаях образуются в результате процесса, отличного от деления синглетного, и имеющего название «СТ-конверсия» (из синглетного в триплетное). Суть данного механизма сводится к тому, что исходно возбужденный димер тетрацена распадается не на два триплетных экситона (как в процессе деления синглетного экситона), а одну молекулу в основном состоянии и всего одну молекулу в долгоживущем триплетном состоянии (в «темном» состоянии). Этот результат может не только пролить свет на понимание процессов с участием «темных состояний», конкурирующих с процессом деления синглетного экситона, но и привести к пересмотру ранее опубликованных данных по изучению данного процесса.