

### Задача 7. Tractor beam. 8 баллов

*-Прямо по курсу клингонский корабль!*

*-Готовьте тяговый луч, откройте канал. Это командер Бенджамин Сиско. Возвращайтесь немедленно.*

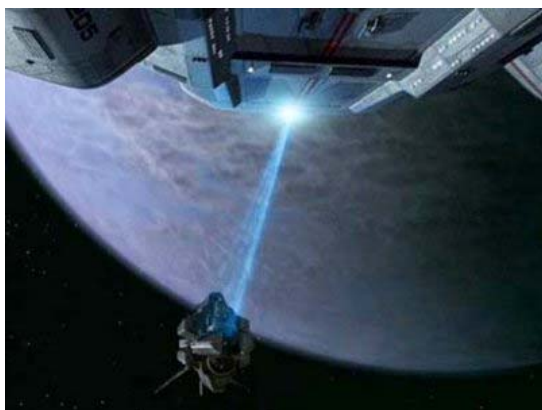
*-Не отвечают.*

*-Включите тяговый луч.*

*-Они захватили нас тяговым лучом.*

*-Откройте канал. Отпустите корабль, или я убью заложника. Я готов вести переговоры, но сначала...*

*-Разве вы не слышали, что я сказал? Немедленно отпустите корабль. Через 10 секунд отключайте тяговый луч.*



В знаменитом фантастическом телесериале «Звездный путь» («Star trek») существует замечательная технология, под названием тяговый луч (tractor beam), которая позволяет удерживать и перемещать в пространстве различные объекты (начиная от человека и заканчивая целым космическим кораблем). Хотя в настоящее время ученые активно ведут разработки в этом направлении, настоящего аналога тягового луча пока не существует. Однако на микроуровне известна технология, которая позволяет при помощи лазерного луча удерживать и перемещать объекты микро- и наномасштаба.

1. Как называется данная технология? Опишите основной принцип ее функционирования. 1 балл.

2. Какие варианты применения данной технологии в биологических исследованиях Вы знаете? 1 балл.

3. Выберите из списка, какие объекты в биологическом эксперименте можно переместить с использованием данной технологии:

рибосома, клеточное ядро, лизосома, митохондрия, хромосома, эритроцит, нервный ганглий, клетка Пуркинью, молекула глюкозы, молекула этанола, полипептидная цепь, яйцеклетка морского ежа. Какие объекты будут удерживаться (перемещаться) хуже и почему? 1 балл.

4. Известно, что данная технология позволяет перемещать капельки воды в воздушной среде. Можно ли при помощи нее перемещать пузырьки воздуха в воде? Ответ обоснуйте. 1 балл.

5. Можно ли (хотя бы теоретически) переместить ядро внутри живой клетки, не повредив при этом клеточную мембрану? А удалить ядро? Объясните, почему. 1 балл.

6. Необходим ли в данной технологии объектив для фокусировки лазерного света? Что будет происходить с объектом при воздействии сфокусированного и несфокусированного лазерного

излучения. 1 балл.

7. Вам нужно определить, с какой скоростью РНК-полимераза движется вдоль цепи ДНК. Предложите дизайн эксперимента с использованием данной технологии. Поясните, какие моменты особенно важны, как определяются исследуемые параметры системы? 1 балл.

8. Какие проблемы могут возникать при попытках применения данной технологии в биологии, и какие пути решения возможны? 1 балл.

### Ответ.

5. Оптический (лазерный) пинцет, оптическая ловушка. Свет взаимодействует с материальными объектами, оказывая на них давление. Принцип лазерного пинцета можно объяснить с точки зрения теории электромагнитного поля и геометрической оптики, первый вариант подходит в случае, когда частица намного меньше длины волны лазерного излучения, второй – когда частица больше. 1). В электромагнитном поле диэлектрическая частица поляризуется, заряды на поверхности частицы обеспечивают ее втягивания в область с максимальным напряжением поля. 2). Частица преломляет свет, когда она находится в максимуме интенсивности электромагнитного поля (в лазерном пучке интенсивность излучения падает к краям), преломление света происходит симметрично. При смещении частицы большая часть рассеянного (преломленного) света распространяется в одном направлении, соответственно на частицу оказывается сила противодействия, возвращающая ее в исходное положение.
6. В биологии: для исследования механических свойств макромолекул (ДНК, РНК, цитоскелет), для исследования вращающихся молекулярных моторов, в клеточных сортерах, и т.п.
7. Можно работать с объектами: рибосома, клеточное ядро, лизосома, митохондрия, хромосома, эритроцит – по размерам примерно подходят к диапазону работы лазерного пинцета. В то же время надо иметь в виду, что объекты, имеющие одинаковый показатель преломления со средой, не могут быть удержаны лазерным пинцетом, поэтому прозрачная вакуоль лизосомы остается под вопросом. Что касается эритроцита – возможно, интенсивное поглощение света и нагревание может привести к его разрушению. Нервный ганглий, клетка Пуркинье, яйцеклетка морского ежа – слишком крупные объекты. Молекула глюкозы, молекула этанола, полипептидная цепь – маленькие объекты, нет различий в показателях преломления со средой (глюкоза, этанол), что касается полипептидной цепи, то если имеется в виду глобула белка, то в принципе, если она достаточно большая (на самом деле она должна быть исключительно большая), то использование лазерного пинцета возможно, если речь идет о развернутой цепи – то нет.
8. Вода имеет больший показатель преломления, чем в воздух, в водной среде пузырьки воздуха будут не удерживаться в ловушке, а убежать из нее.
9. Можно переместить ядро, т.к. для работы лазерного пинцета лазерный луч должен быть сфокусирован на ядре, если клеточная мембрана не попадает в фокус, то по идее она не повреждается. проблема будет в том, что ядро не плавает независимо, с ним ассоциированы ЭПР, клеточный центр и цитоскелет, все это в процессе перемещения будет повреждено. Удалить ядро можно точечным выжиганием при увеличении мощности лазера, тоже при хорошей фокусировке можно не повредить мембрану.
10. Фокусировка необходима, это позволяет удерживать объект в трехмерном пространстве. В нефокусированном пучке объект будет передвигаться под действием давления света (в сторону распространения света). В случае нефокусированных пучков света используют 2 источника, располагая их друг напротив друга, при сбалансированной мощности можно удерживать объект неподвижно.
11. Эксперимент: важно, чтобы были закреплены как ДНК, так и РНК-полимераза. Конец

цепочки ДНК можно прикрепить к подложке. Ни цепочку ДНК, ни фермент РНК-полимераза сами по себе не будут удерживаться лазерным пинцетом. Поэтому обычно их прикрепляют к полистирольным шарикам микронного размера (ковалентно пришивают), а уже шарик удерживают лазерным пинцетом. Т.о. конец ДНК либо закреплен на подложке, либо на шарике, который удерживается вторым пинцетом, фермент – на шарике, удерживается пинцетом. Но как проводить измерения? Необходима система обратной связи – обычно это картина рассеяния света шариком в лазерном пучке. Если происходит смещение шарика в пределах пучка (в результате того, что фермент продвинулся вдоль цепи ДНК), то изменяется рассеяние. Необходима система обратной связи, позволяющая перемещать пучок так, чтобы восстановить рассеяние, т.е. переместить пучок так, чтобы шарик вновь оказался в центре лазерного пучка. Расстояние, на которое перемещается пучок, измеряют, и т.о. можно измерить скорость. Т.о. 2 принципиальных момента: использование микрошариков для захвата пинцетом, наличие системы обратной связи.

12. Основная проблема использования в биологии – возможное повреждающее действие на объект – перегрев объекта. Также – необходимость использования экзогенных микрочастиц, т.к. не все биообъекты можно захватить оптическим пинцетом. Решения – для первой – адекватный подбор параметров. Здесь можно упомянуть про вариации метода в вращающихся лазерными пучками, бесселевыми пучками для захвата нескольких объектов и т.п.