

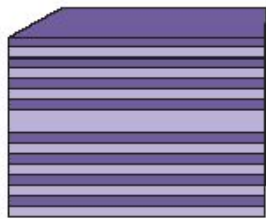
5. ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ И НАНОФОТОНИКА

Фотонные кристаллы – специальные материалы, где используются упорядоченные свойства для управления распространением электромагнитных волн – фотонов.

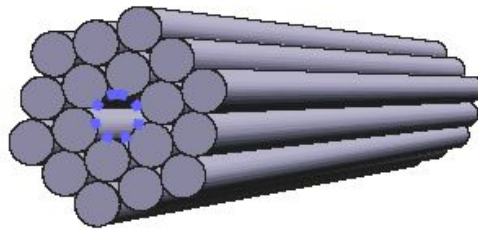
Как правило, фотонные кристаллы представляют собой упорядоченные пористые структуры, выполненные из различных материалов по специальным технологиям.

Понятие о фотонных кристаллах

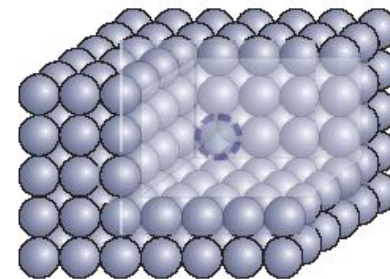
одномерные ФК



двумерные ФК



трехмерные ФК



АНАЛОГИИ

Состояние электрона в кристалле (с регулярной структурой) описывается уравнением Шредингера

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U(\mathbf{r}) \right) \Psi(\mathbf{r}) = \varepsilon \Psi(\mathbf{r})$$

Состояние электрона в кристалле (с регулярной структурой) определяется скалярной волновой функцией

$$\Psi(\mathbf{r})$$

Волновая функция электрона может быть разложена в ряд по собственным состояниям, каждому из которых соответствует собственная энергия

$$\Psi(\mathbf{r}, t) = \sum_{\varepsilon} c_{\varepsilon} \Psi_{\varepsilon}(\mathbf{r}) \exp[-i\varepsilon t / \hbar]$$

Распространение света в фоновом кристалле подчиняется волновому уравнению

$$\nabla \times \frac{1}{\varepsilon(\mathbf{r})} \nabla \times \mathbf{H}_{\omega}(\mathbf{r}) = \frac{\omega^2}{c^2} \mathbf{H}_{\omega}(\mathbf{r})$$

Состояние электромагнитной волны в фоновом кристалле описывается векторными полями – напряженностью электрического и магнитного полей

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t), \mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$$

Напряженность электромагнитного поля есть суперпозиция монохроматических компонент (мод), где собственное значение – частота

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \sum_{\omega} c_{\omega} \overset{\text{моды}}{\mathbf{H}_{\omega}}(\mathbf{r}) \exp(i\omega t)$$

Для волновой функции электрона и для напряженности электромагнитного поля выполняются теорема Блоха:

$$\Psi_{\vec{k}}(\vec{r}) = u_{\vec{k}}(\vec{r}) \exp(i\vec{k}\vec{r})$$

$$H_{\vec{k}}(\vec{r}) = h_{\vec{k}}(\vec{r}) \exp(i\vec{k}\vec{r})$$

$$u_{\vec{k}}(\vec{r}) = u_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{a}), \quad h_{\vec{k}}(\vec{r}) = h_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{a})$$

поскольку атомный потенциал в кристалле и диэлектрическая проницаемость в фоновом кристалле являются периодическими функциями с периодами, равным любым векторам решетки кристалла и фононного кристалла

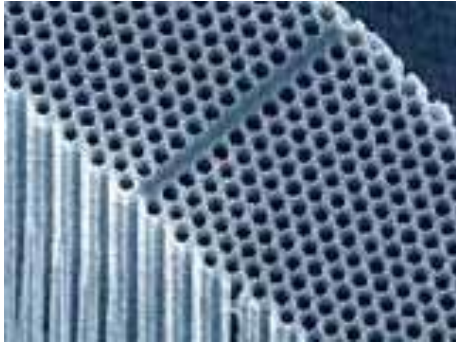
$$U(\vec{r}) = U(\vec{r} + \vec{a}), \quad \varepsilon(\vec{r}) = \varepsilon(\vec{r} + \vec{a})$$

Возможные значения волновых векторов заполняют зону Бриллюэна в кристаллической решетке или элементарную ячейку фононного кристалла, задаваемую в пространстве обратных векторов. Энергия электрона, являющаяся собственным значением уравнения Шредингера и собственное значение волнового уравнения (частота моды) – связаны со значением волновых векторов блоховских функций законом дисперсии

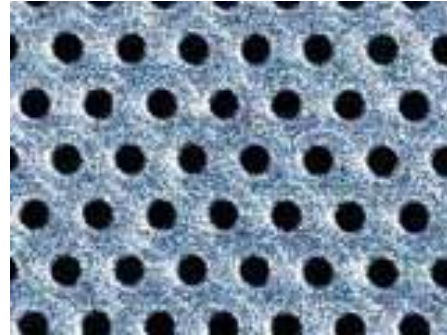
$$\varepsilon(\vec{k}), \quad \omega(\vec{k})$$

Примесный атом или дефект, нарушающие трансляционную симметрию атомного потенциала, могут создавать примесное электронное состояние, локализованное в окрестности дефекта. Изменение диэлектрической проницаемости в определенной области фононного кристалла приводит к появлению разрешенной моды внутри запрещенной фононной зоны, локализованной в ее пространственной окрестности

1. Пористые материалы: неупорядоченные и упорядоченные

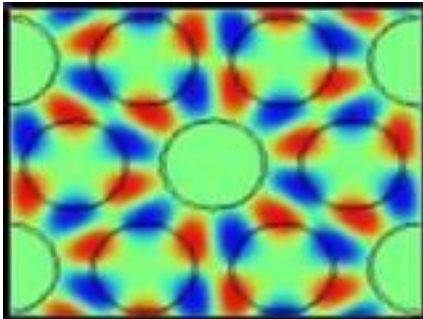


Макропористый кремний

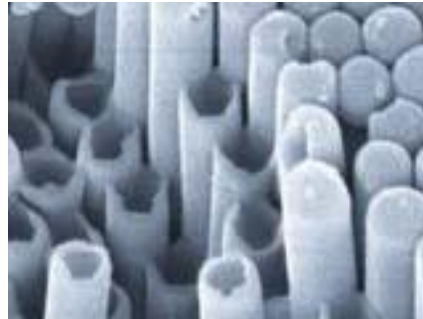


Пористый алюминий

Приложения



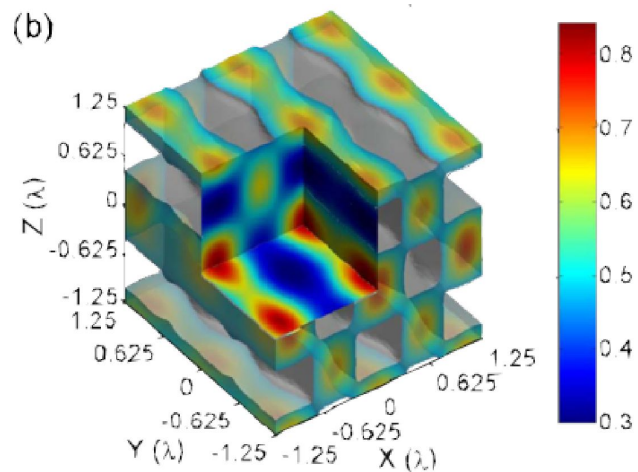
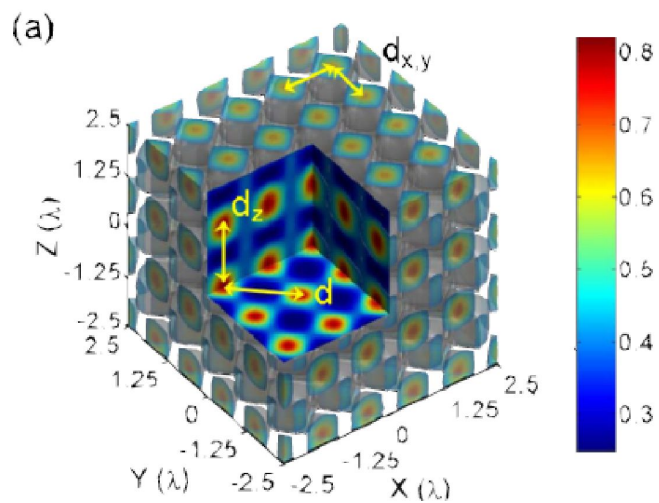
Фононный кристалл



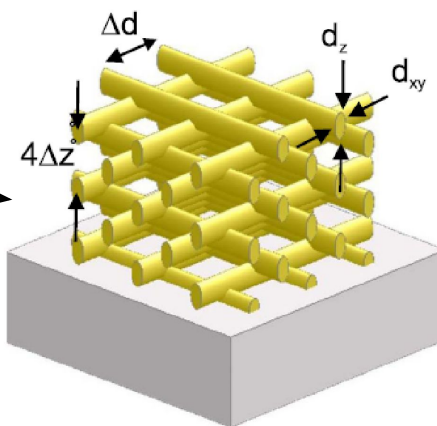
Наносмачивание и растекание

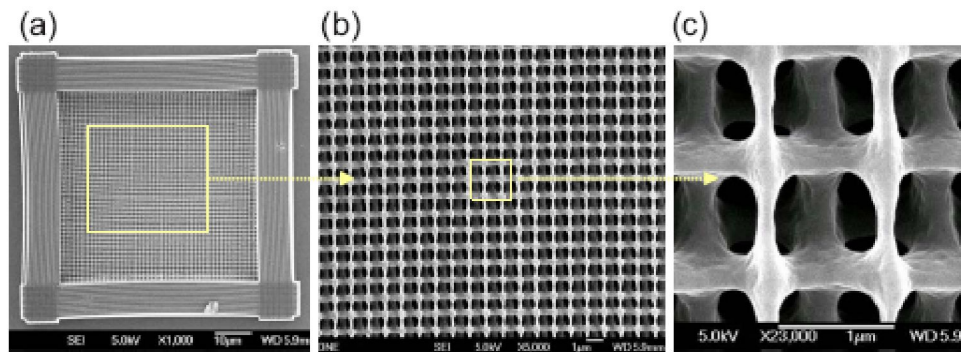


Регулярный лес нанопроволок Si

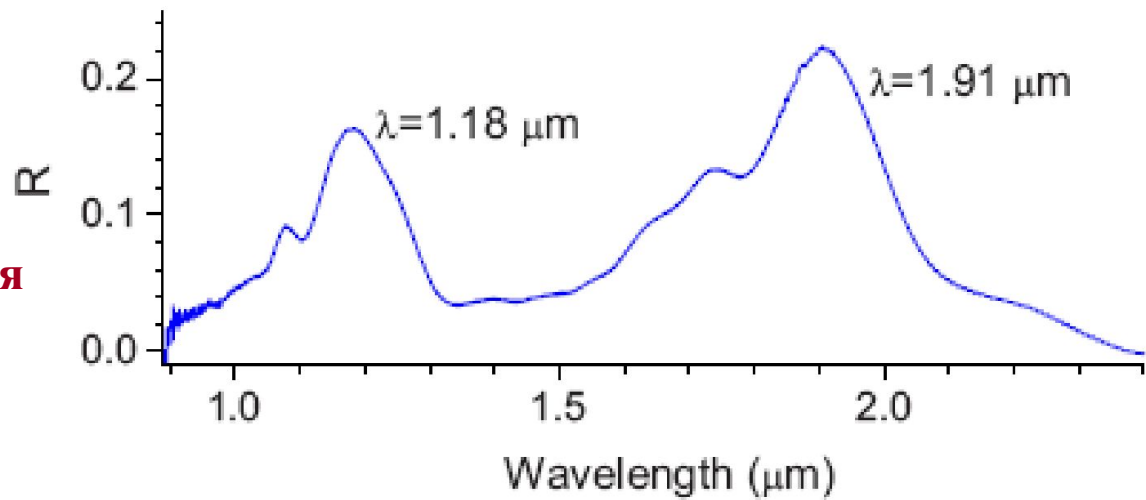


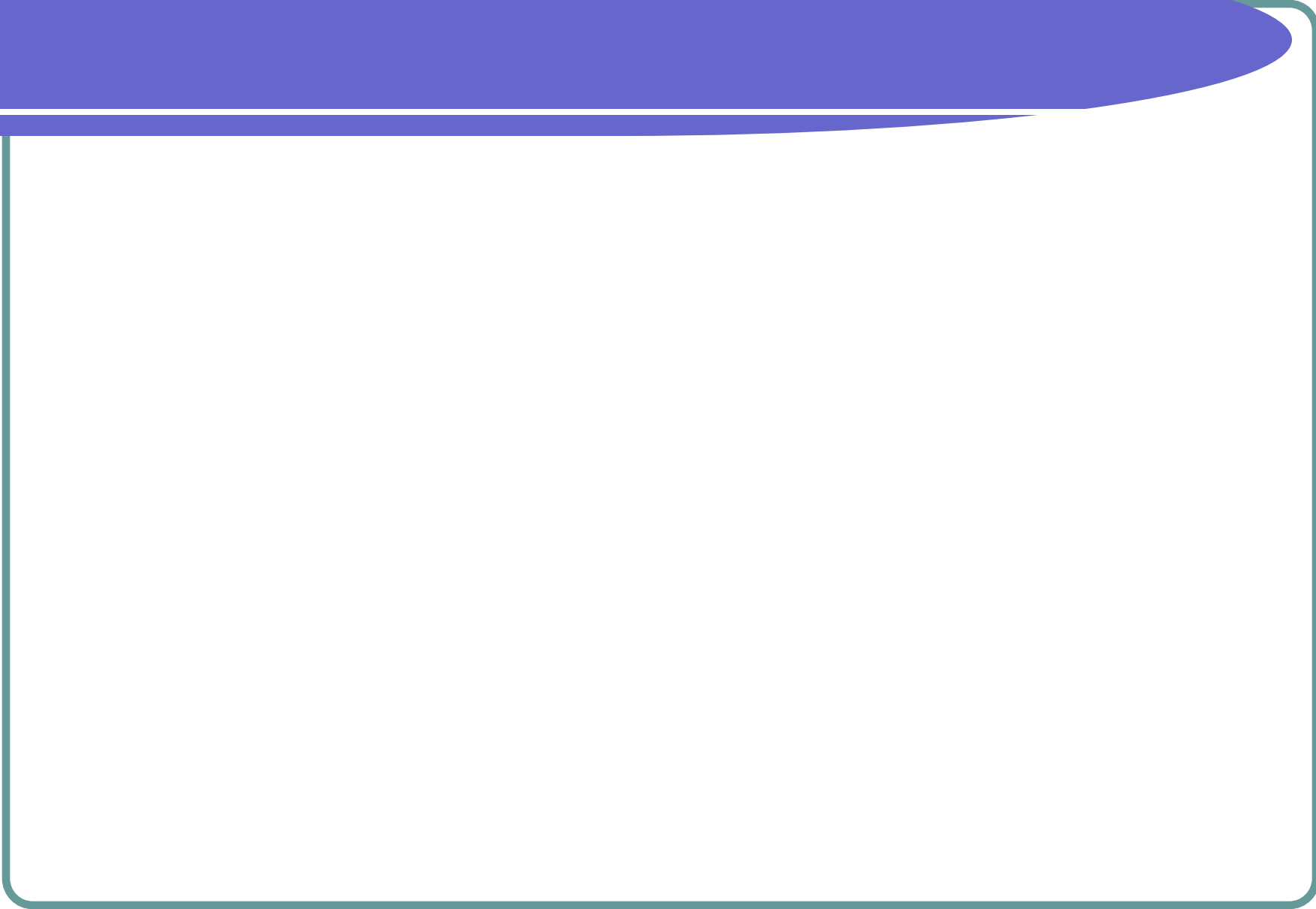
**Решетки наноструктур
для нанофотоники**

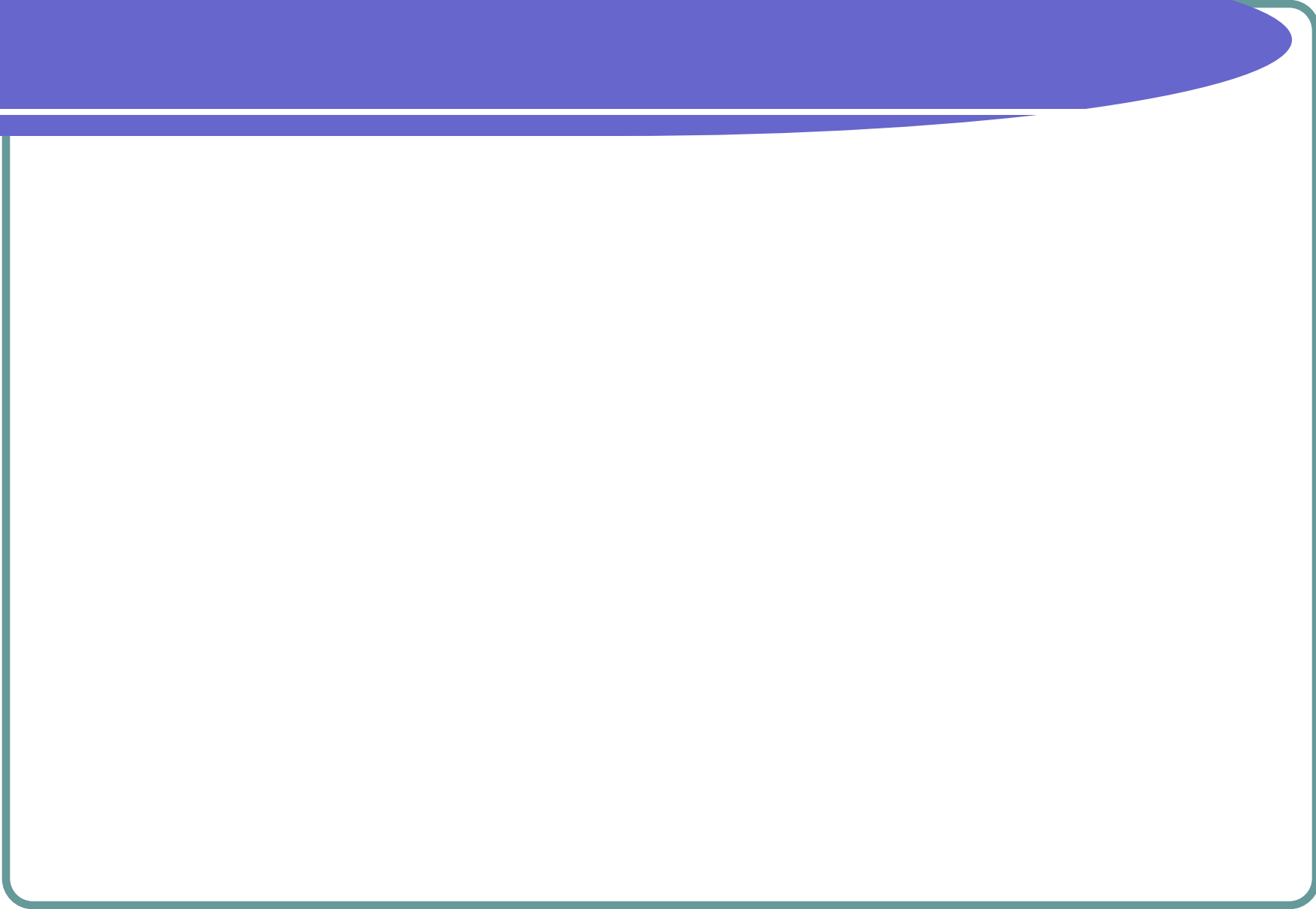


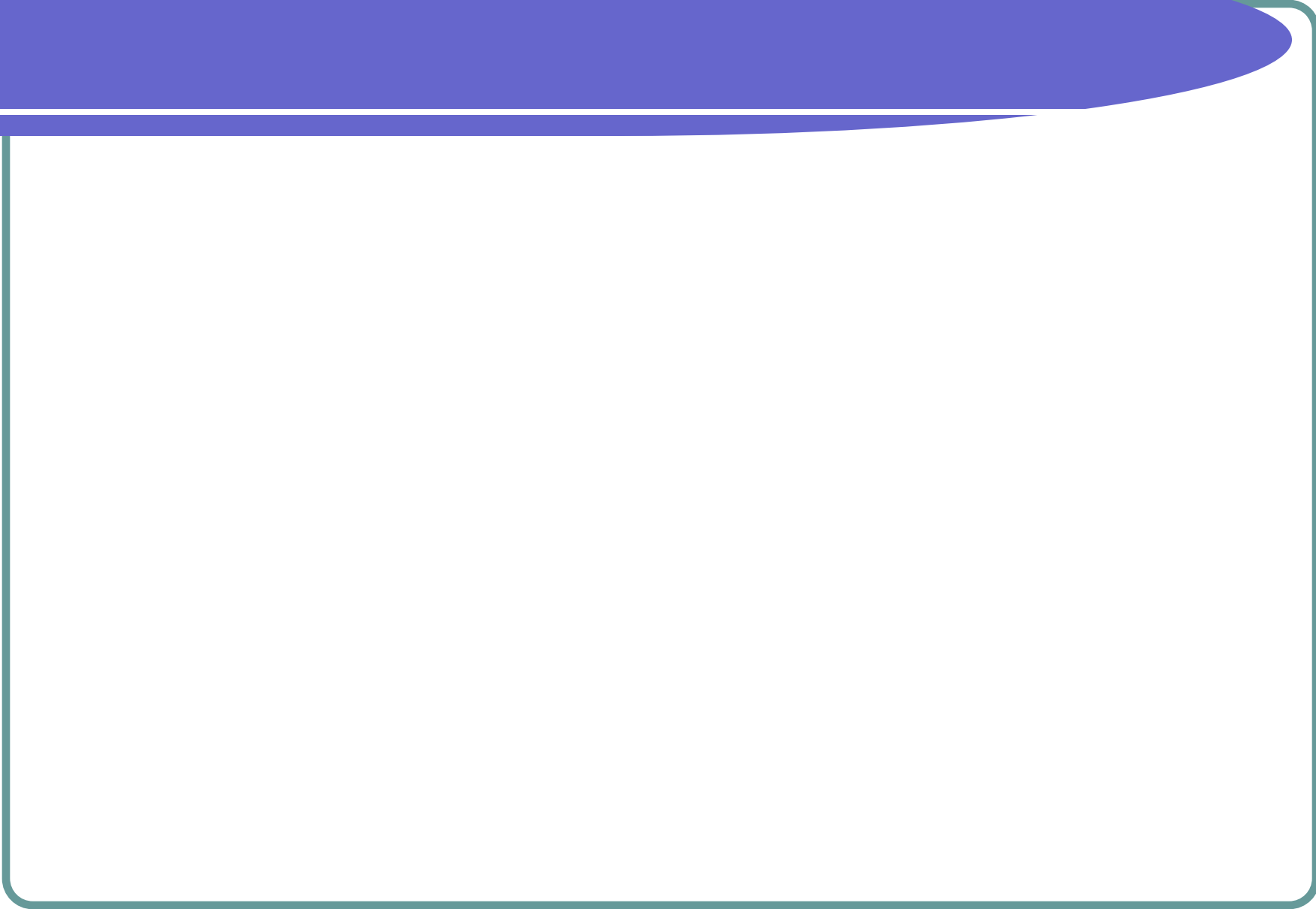


**Спектр отражения
«древенчатой»
наноструктуры**

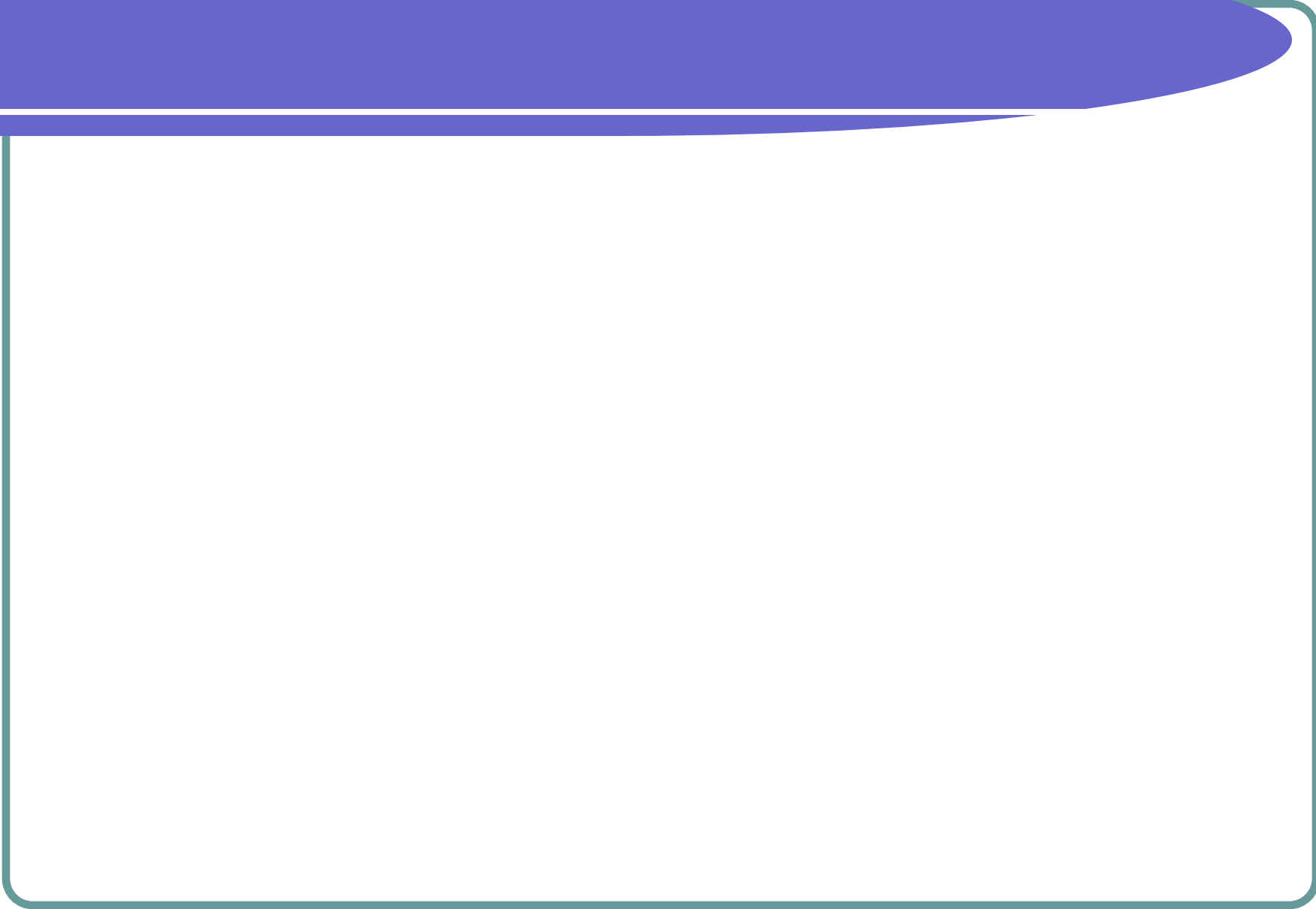


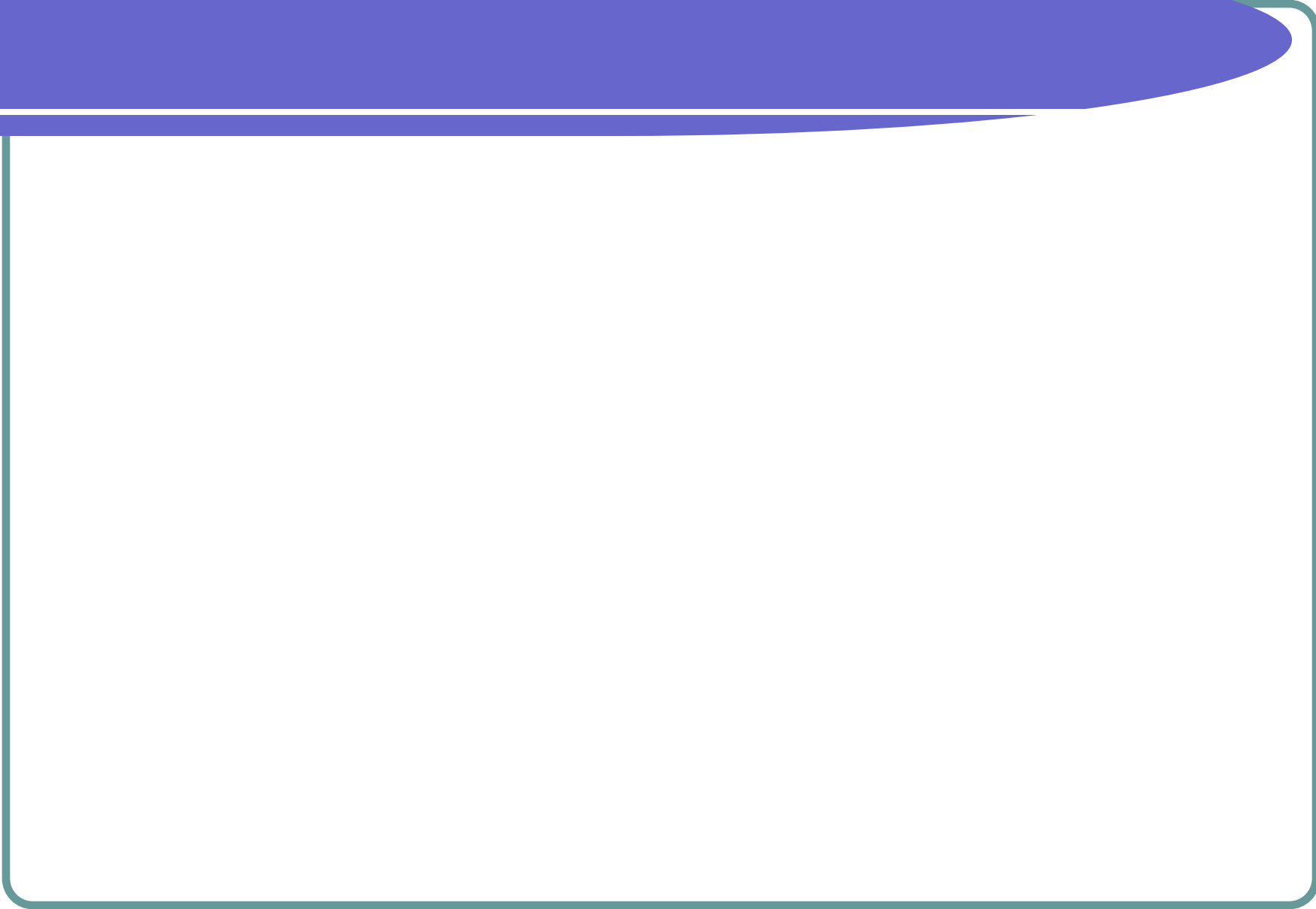


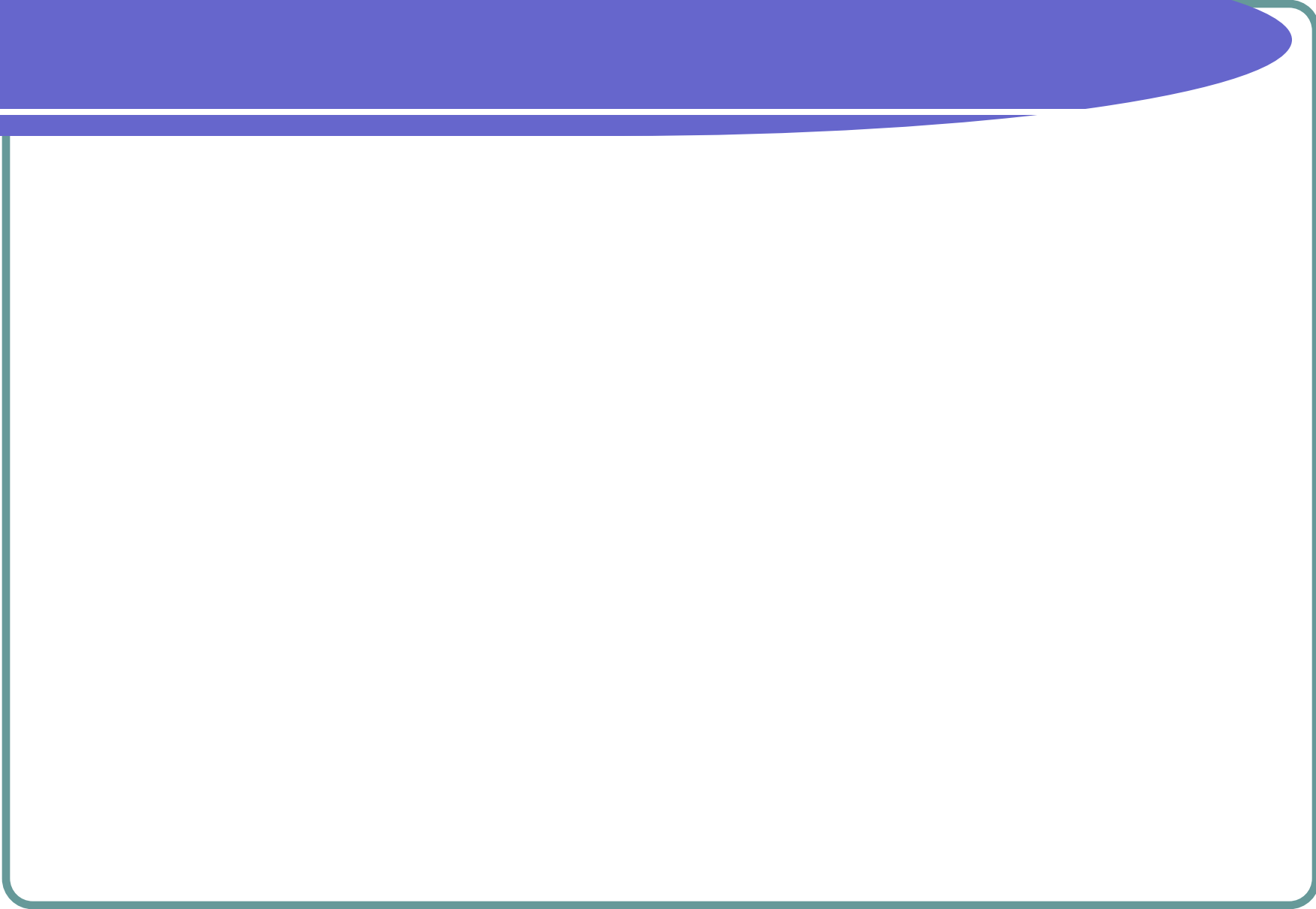


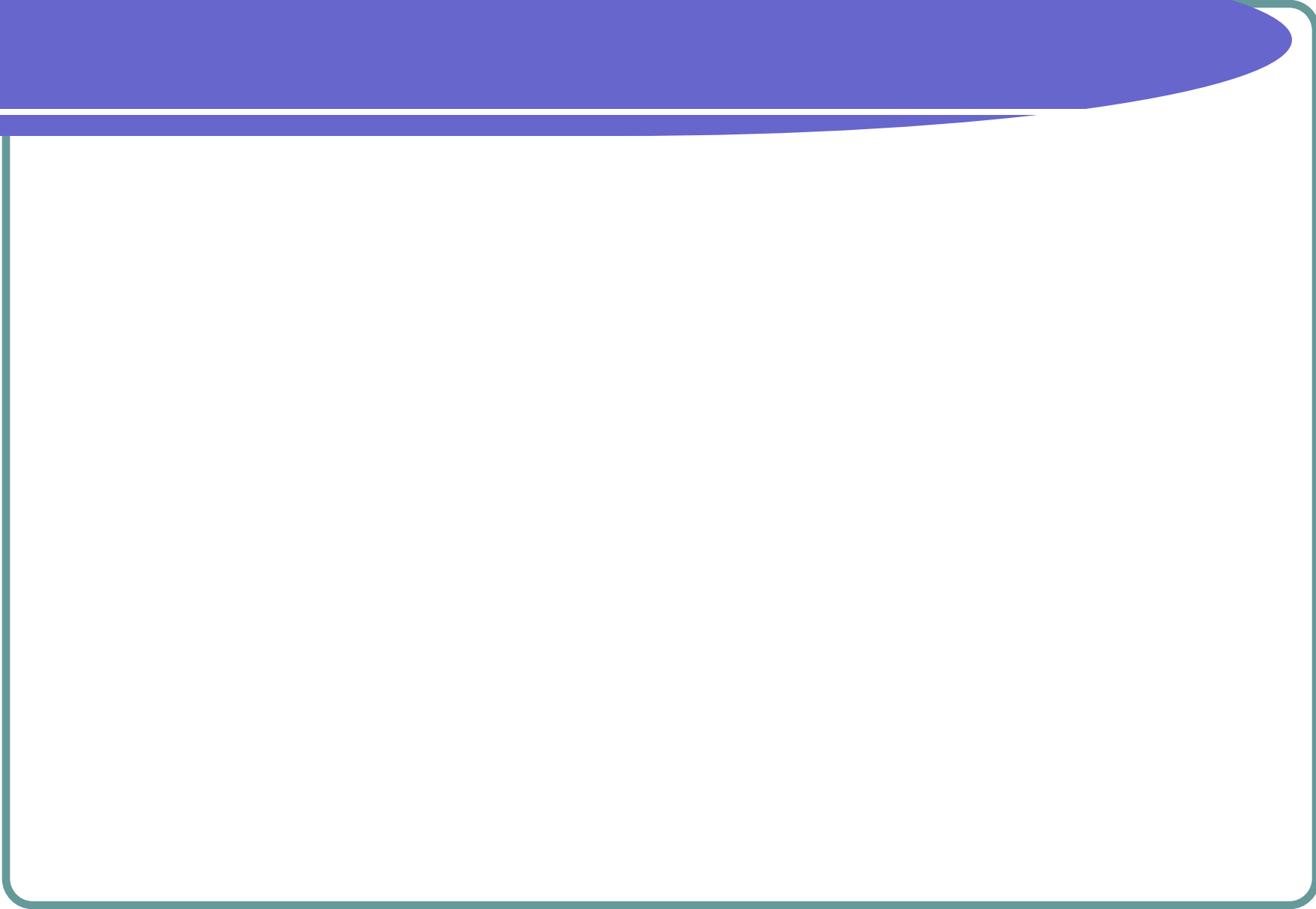


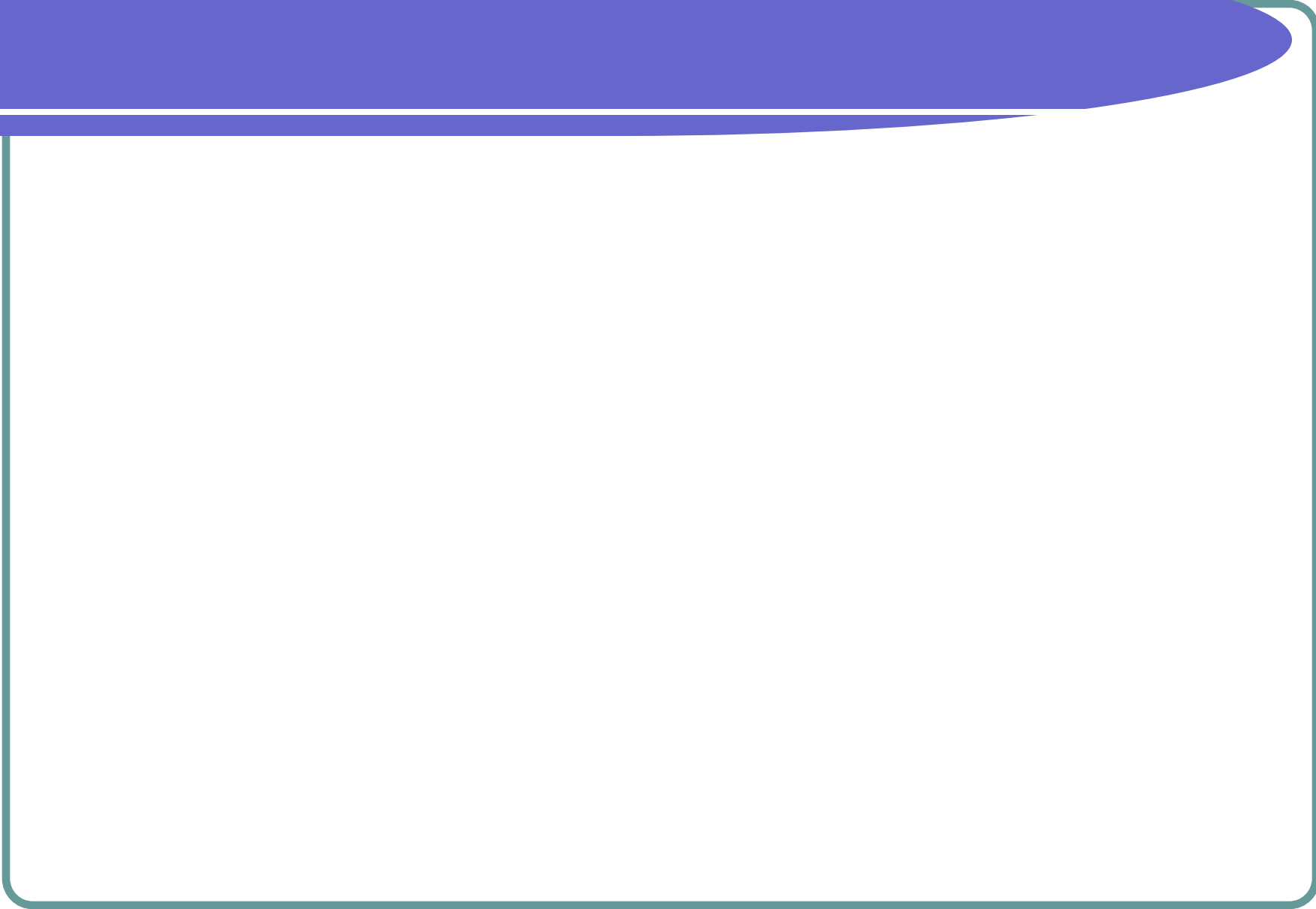


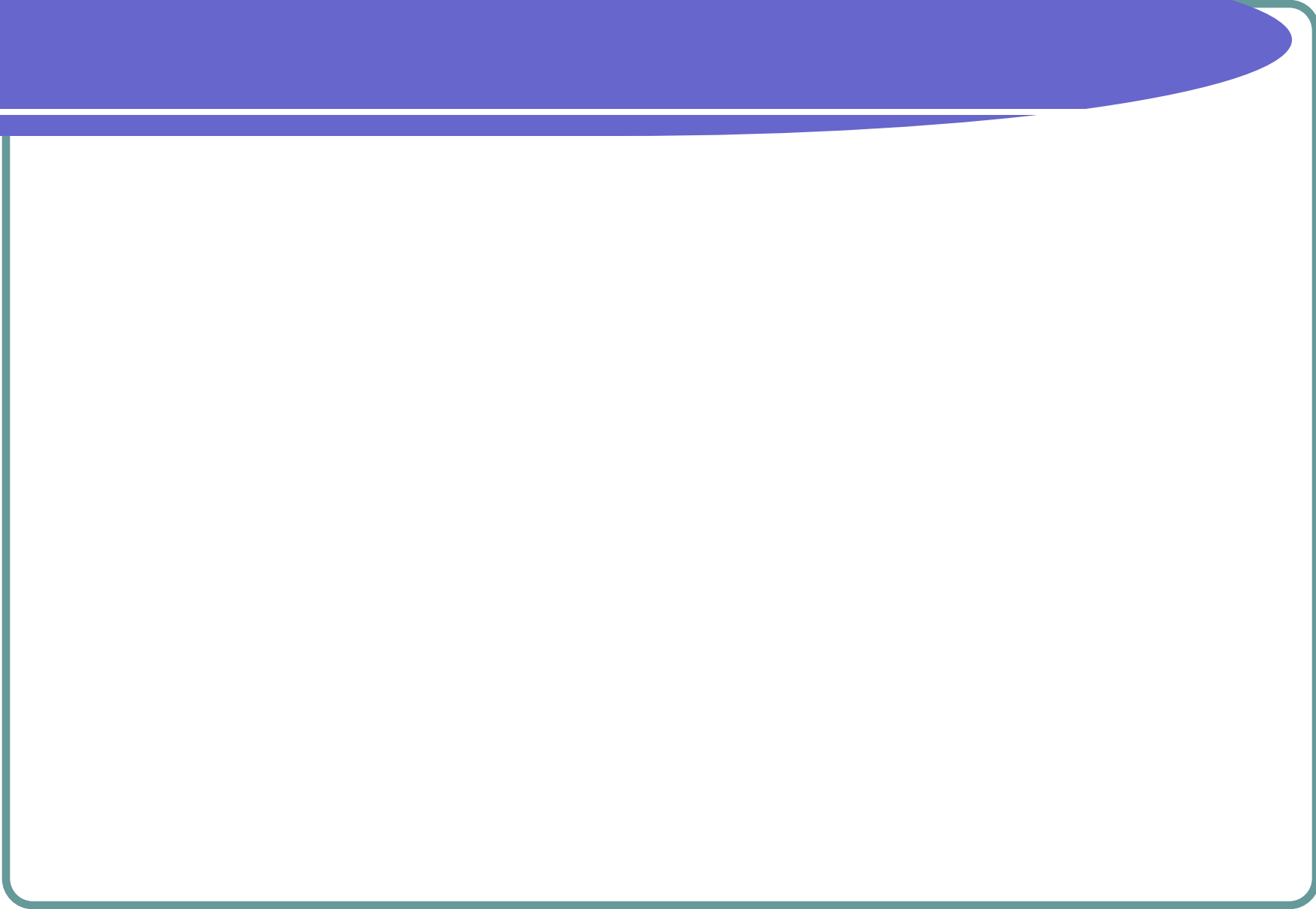


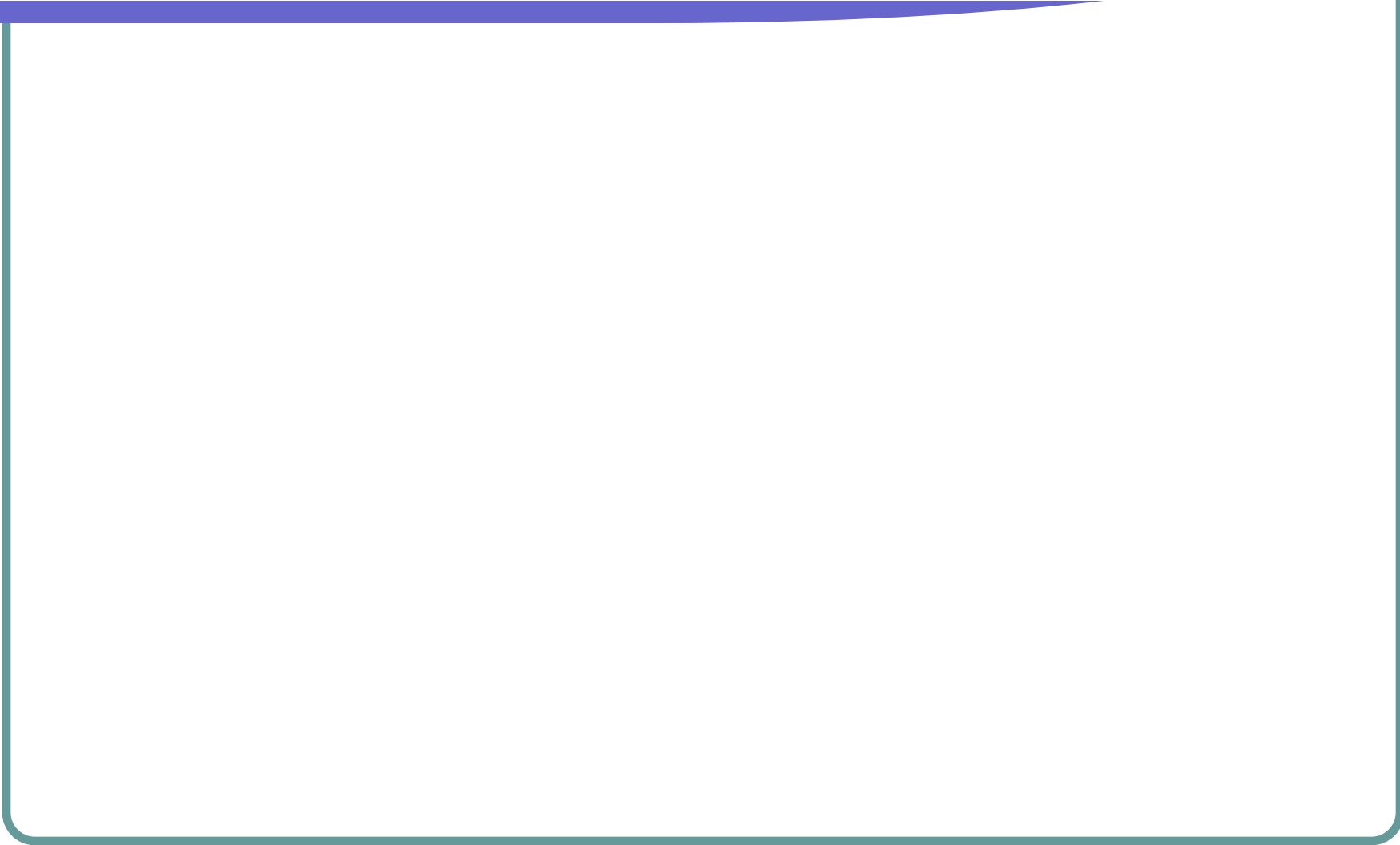








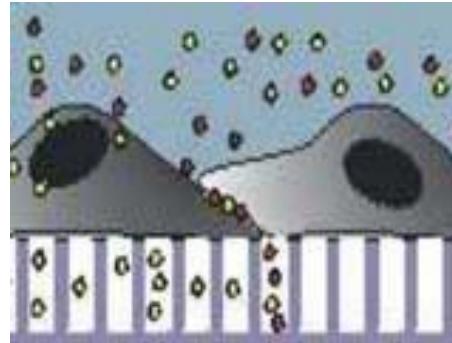






Nano-wire

s



Nano-biotechnolog

y

