

# Формирование реалистичного изображения бриллианта разной огранки с учетом оптических свойств материала

Саркисов Артём ИУ7-53Б

г. Москва 2020

# Цель проекта

Целью проекта является разработка программы для формирования реалистичного изображения бриллианта разной огранки, при различном освещении с учетом оптических свойств материала.



## Задачи

- провести анализ существующих алгоритмов построения трёхмерного изображения и выбрать из них подходящие для выполнения проекта;
- провести анализ существующих моделей освещения и выбрать из них подходящие для выполнения проекта;
- выбрать подходящий язык программирования для реализации поставленной задачи;
- реализовать интерфейс программного модуля.

# Алгоритм формирования реалистичного изображения бриллианта

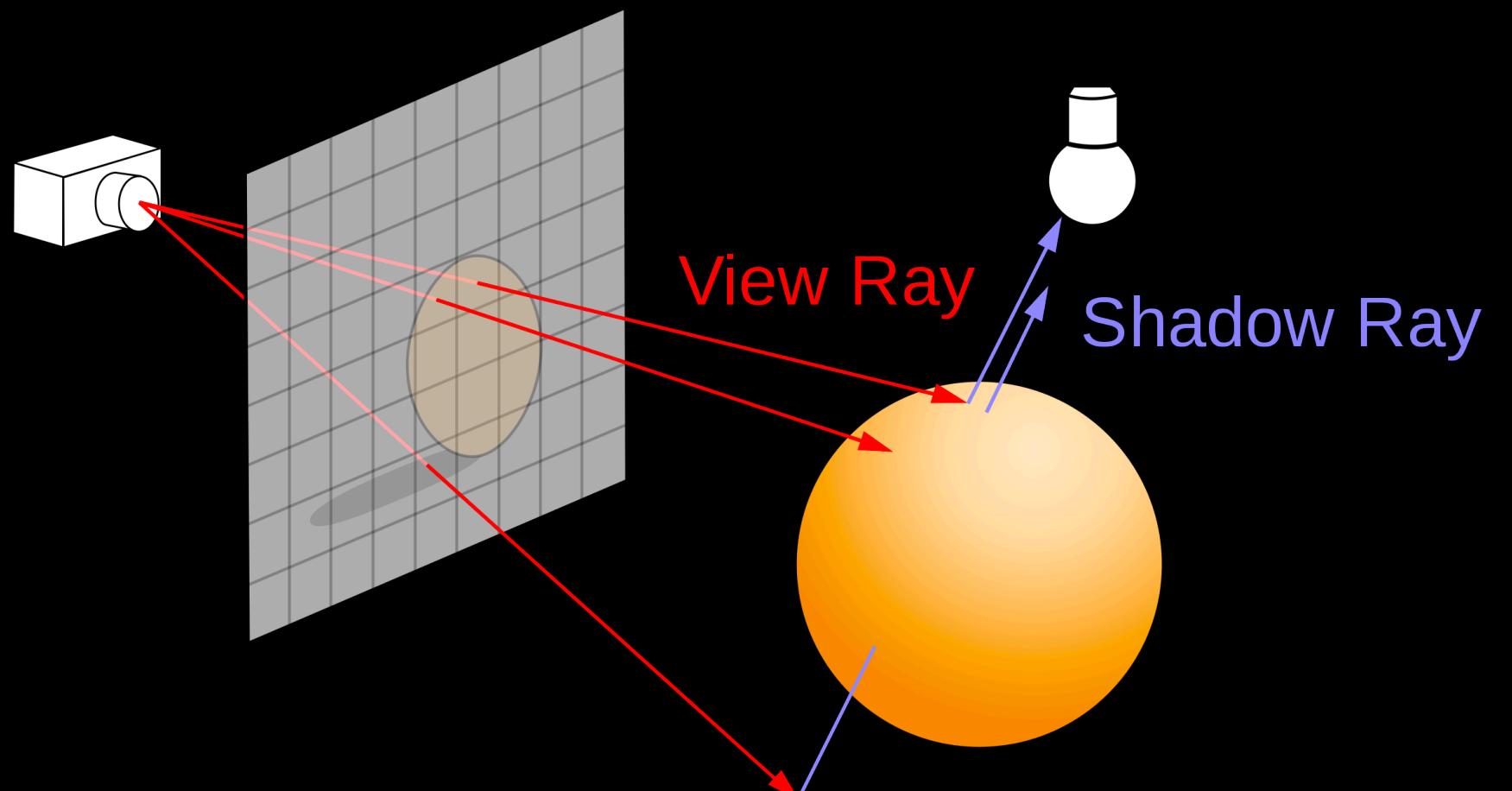
- Алгоритм обратной трассировки лучей;
- Отражение Френеля;
- Объемное поглощение;
- Рассеивание света;
- Модель освещения Уиттеда;
- Нахождение отражённого и преломлённого лучей;
- Расчёт интенсивностей.

# Алгоритм обратной трассировки лучей

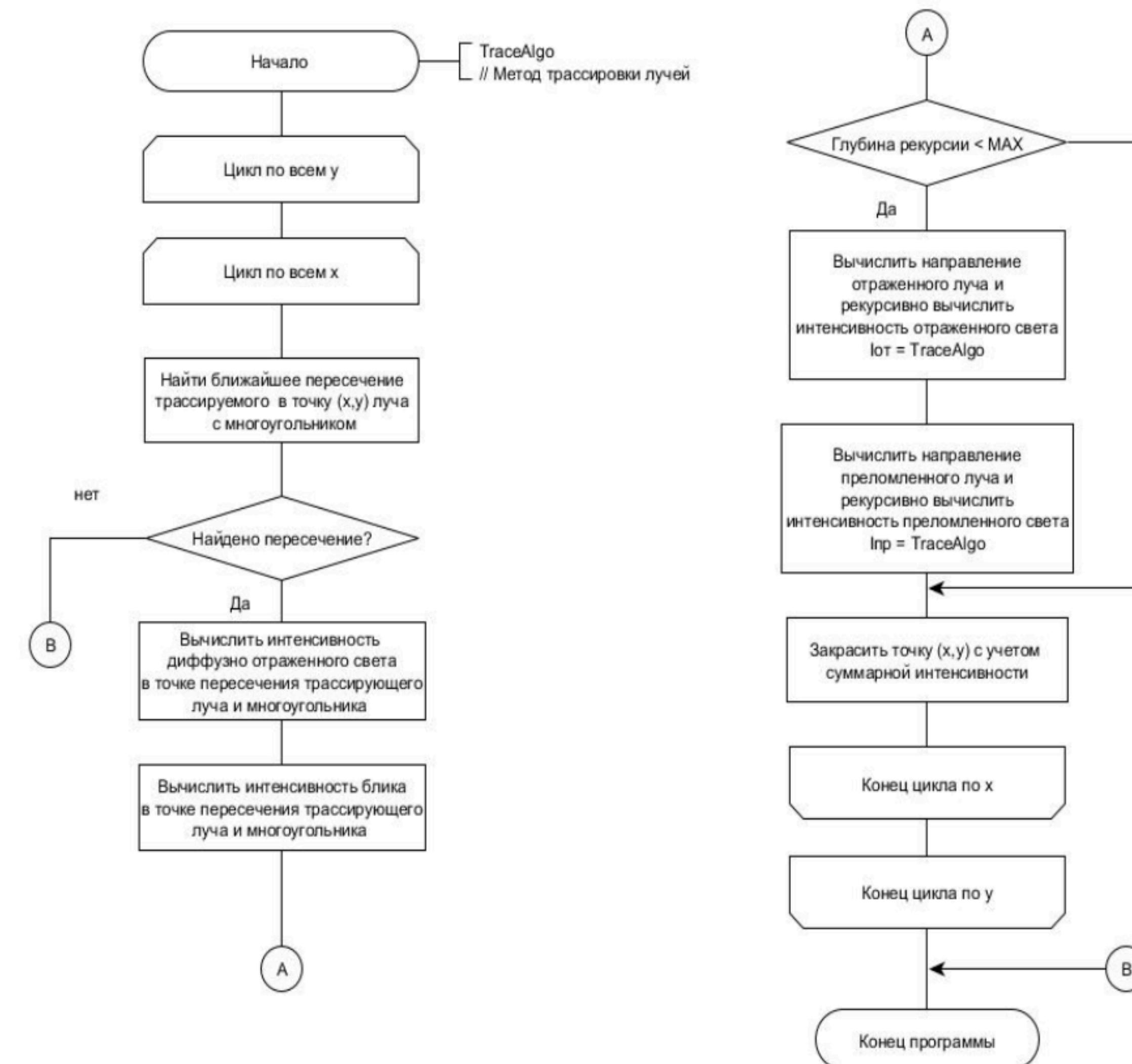
I. Определить первый луч (луч, выпущенный из камеры), найти точку пересечения этого луча с объектом.

II. Далее необходимо определить для каждого источника освещения, видна ли из него эта точка. Тогда в направлении каждого точечного источника света испускается теневой луч из точки пересечения первого луча и объекта. Это позволяет определить, освещается ли данная точка конкретным источником.

III. Далее, если материал объекта имеет отражающие свойства, из точки испускается отраженный луч и для него вся процедура трассировки рекурсивно повторяется. Аналогичные действия должны быть выполнены, если материал имеет преломляющие свойства.



# Схема алгоритма обратной трассировки лучей



# Отражение Френеля

Когда световая волна отражается от границы, коэффициент отражения (отношение отражающей энергии к падающей энергии) зависит не только от угла падения и электрических свойств отражающего материала, но и от поляризации падающей световой волны.

$R_{||}$  и  $R_{\perp}$  (называемые коэффициентами Френеля) соответствуют поляризациям, которые параллельны и перпендикулярны плоскости падения,  $n_1$  и  $n_2$  – показатели преломления сред, а  $\theta_i$  и  $\theta_t$  – углы падения и отражения. Если поляризацией пренебречь, отражение можно описать одним коэффициентом  $R$  (2):

$$\begin{cases} R_{||} = \left( \frac{n_2 \cos \theta_i - n_1 \cos \theta_t}{n_2 \cos \theta_i + n_1 \cos \theta_t} \right)^2 = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)} \\ R_{\perp} = \left( \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right)^2 = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)} \end{cases}$$

$$R = \frac{1}{2} (R_{||} + R_{\perp})$$

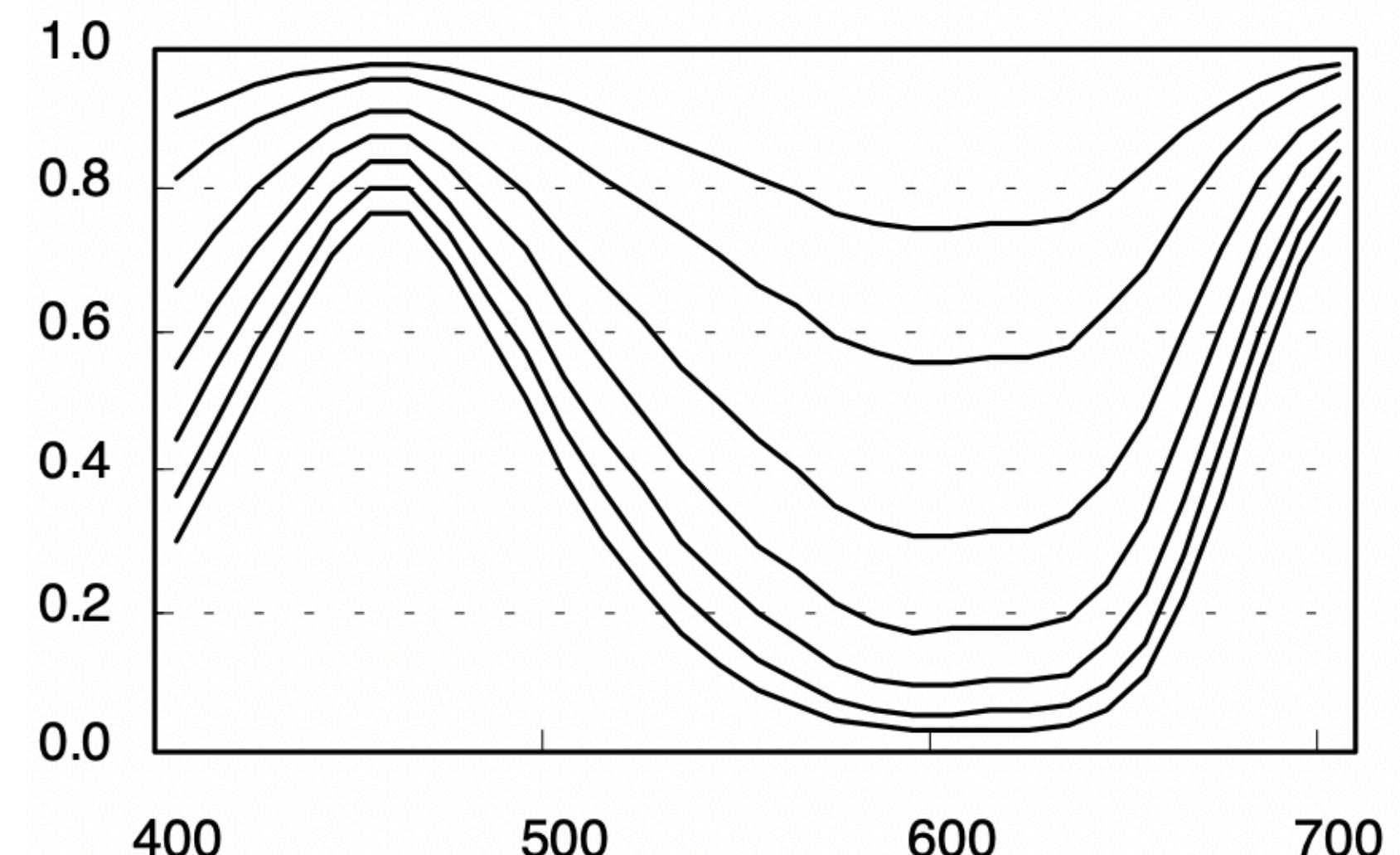
# Объёмное поглощение

Объемное поглощение формирует внешний вид цветных бриллиантов. Согласно закону Бугера–Ламбертиана, внутреннее пропускание света, движущегося от одной точки к другой внутри прозрачного материала можно описать формулой (->).

Где  $a(\lambda)$  – поглощающая способность материала, а  $l$  – длина светового пути. Согласно этому закону, увеличение  $l$  не только снижает интенсивность и углубляет цветовую насыщенность света, но также может изменять его оттенок. Это соотношение можно увидеть из спектральных кривых на рисунке (->)

По этой причине объемное поглощение может вызывать появление различных, но связанных цветов на цветных бриллиантах.

$$T_{\text{internal}}(\lambda) = 10^{-a(\lambda)l}$$



# Рассеивание света

Рассеивание света – это оптическое явление, при котором свет распадается на монохроматические компоненты и окрашивается в рассеивающих объектах, таких как бриллианты. Это вызвано зависимостью показателя преломления материала от длины волны.

Рассмотрим луч света, попадающий из воздуха в алмаз с показателем преломления  $n(\lambda)$  с углом падения  $\theta_i$ . Угол преломления  $\theta_r(\lambda)$  зависит от длины волны в соответствии с законом Снеллиуса ( $\rightarrow$ )

Основная идея составной спектральной модели состоит в том, чтобы разложить спектральную функцию на гладкую составляющую и набор пиков. Гладкий компонент можно представить в виде выборки, а шип – в виде его местоположения и веса (или высоты). Аналитически выражая эту идею, любую спектральную функцию  $S(\lambda)$  можно записать как ( $\rightarrow$ )

Одним из преимуществ этой модели является ее линейность в вычислительной мощности. При рендеринге изображений на основе спектра общая эффективность в значительной степени определяется эффективностью спектрального умножения, поскольку такое вычисление связано с каждым отражением и передачей.

$$\sin[\theta_r(\lambda)] = \frac{\sin(\theta_i)}{n(\lambda)}$$

$$\begin{aligned} S(\lambda) &= S_{\text{smooth}}(\lambda) + S_{\text{spiky}}(\lambda) \\ &= S_{\text{smooth}}(\lambda) + \sum_{m=1}^M w_m \delta(\lambda - l_m) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{smooth}}(l_m) \delta(\lambda - l_m) &= \frac{(l_m - \lambda_i)}{\Delta\lambda} S_{\text{smooth}}(\lambda_i) \\ &\quad + \frac{(\lambda_{i+1} - l_m)}{\Delta\lambda} S_{\text{smooth}}(\lambda_{i+1}) \end{aligned}$$

# Модель освещения Уиттеда

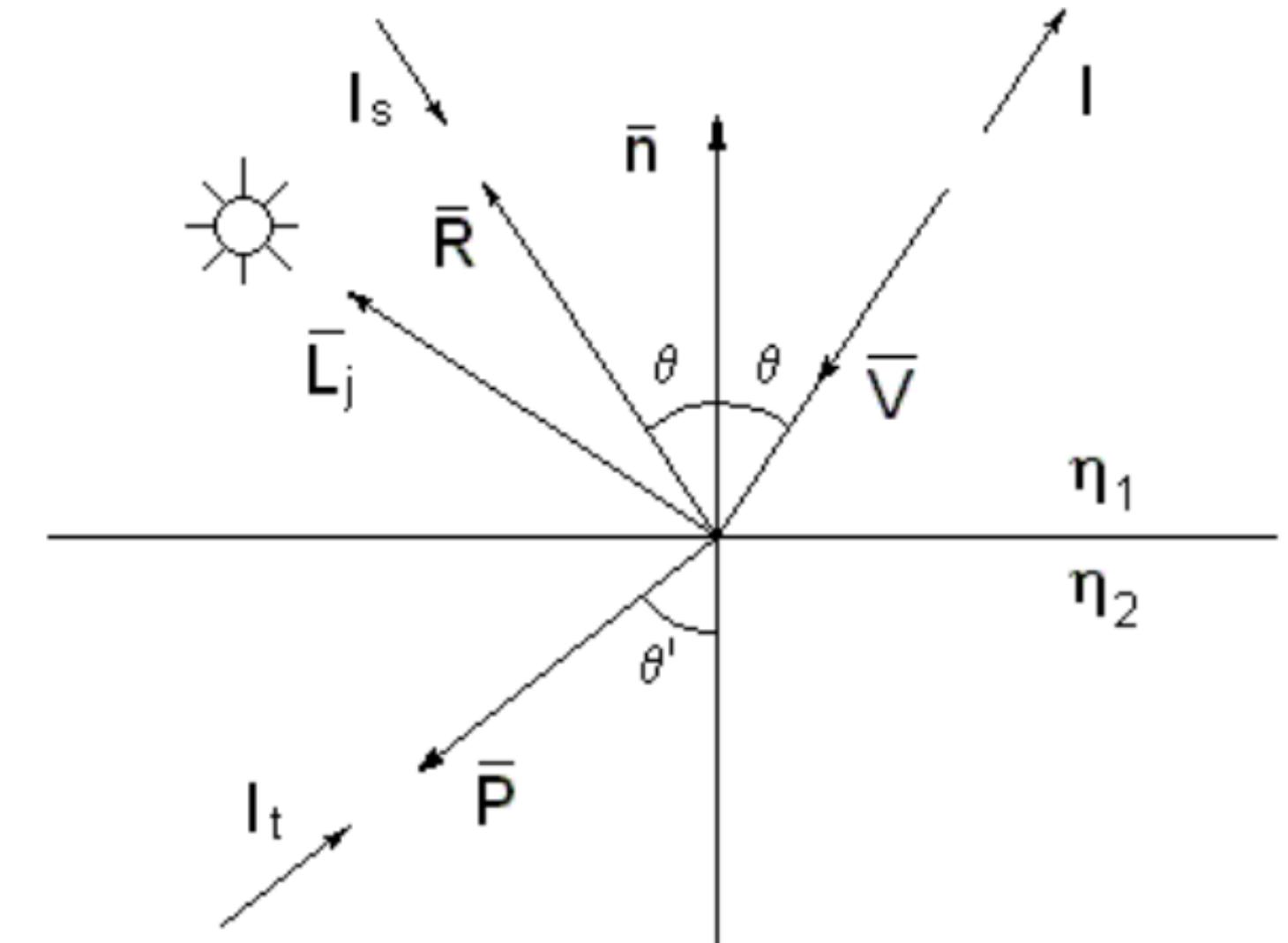
Модель освещения предназначена для того, чтобы рассчитать интенсивность отраженного к наблюдателю света в каждом пикселе изображения. Она может быть локальной или глобальной.

В первом случае во внимание принимается только свет, падающий от источника (источников), и ориентация поверхности.

Во втором учитывается также свет, отраженный от других объектов сцены или пропущенный сквозь них, как показано на рисунке (->), где  $V$  - направление взгляда,  $R$  - отраженный луч направления взгляда,  $P$  - преломленный луч направления взгляда,  $L$  - направление на источник освещения,  $n_1$ ,  $n_2$  - показатели преломления сред.

Согласно модели Уиттеда наблюдаемая интенсивность определяется суммарной интенсивностью (->)

Модель Уиттеда учитывает эффекты преломления и отражения, зеркальности.



$$I = k_a I_a C + k_d I_d C + k_s I_s + k_r I_r + k_t I_t,$$

где

$k_a$  - коэффициент рассеянного отражения;

$k_d$  - коэффициент диффузного отражения;

$k_s$  - коэффициент зеркальности;

$k_r$  - коэффициент отражения;

$k_t$  - коэффициент преломления;

$I_a$  - интенсивность фонового освещения;

$I_d$  - интенсивность, учитываемая для диффузного рассеивания;

$I_s$  - интенсивность, учитываемая для зеркальности;

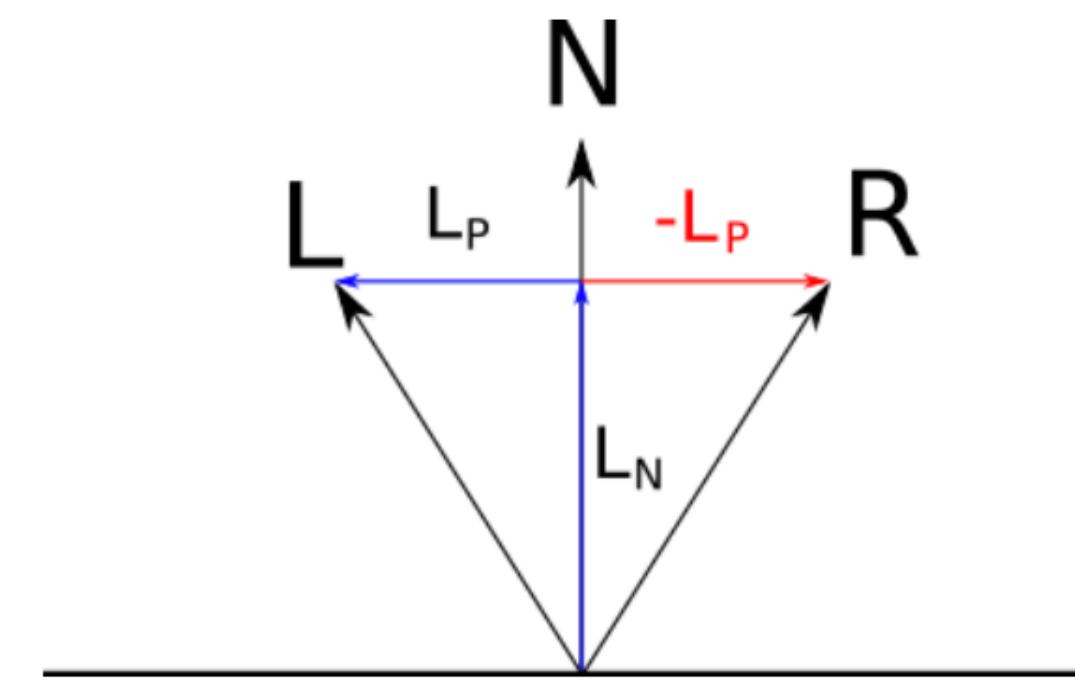
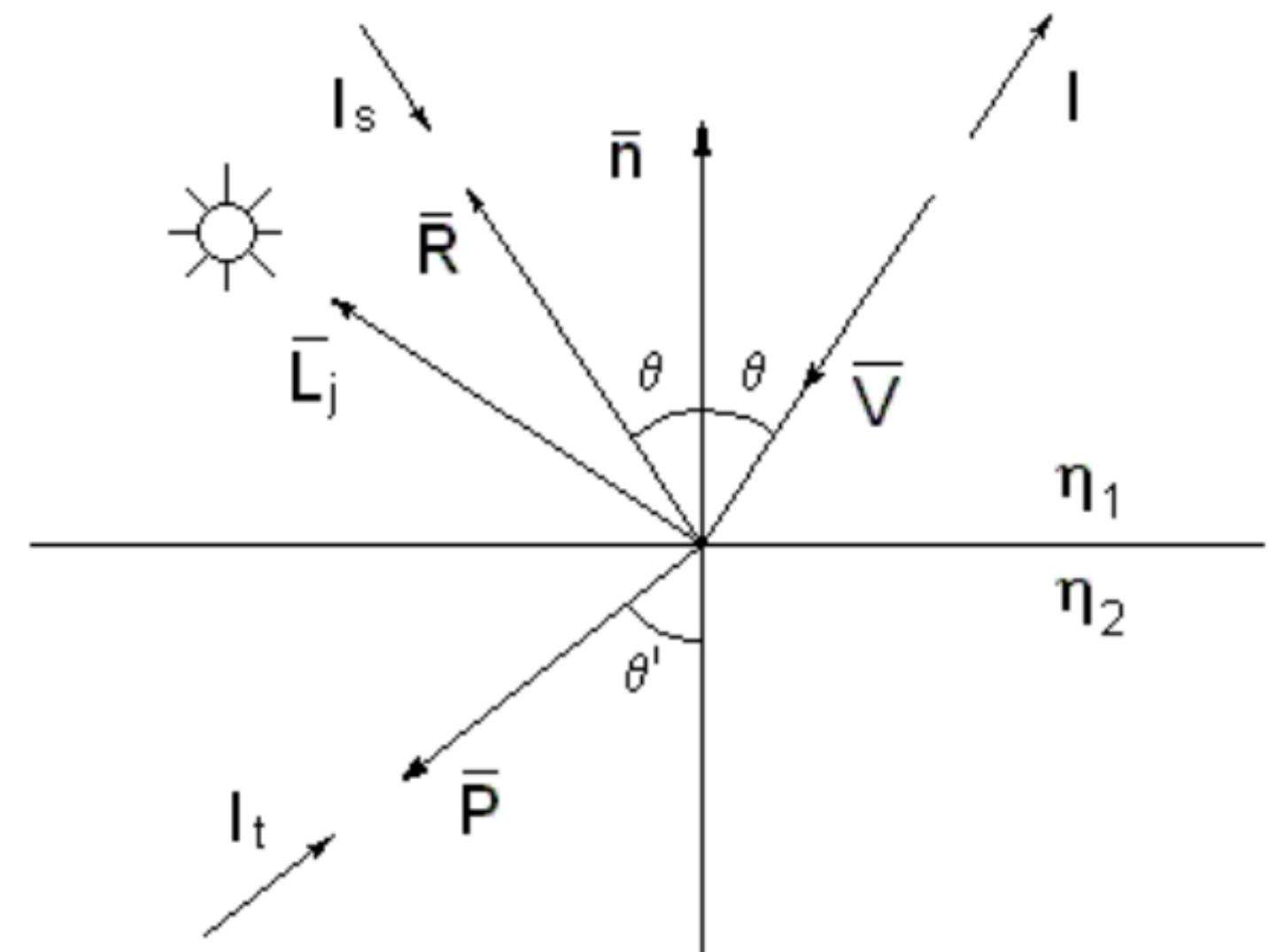
$I_r$  - интенсивность излучения, приходящего по отраженному лучу;

# Нахождение отражённого луча

Для нахождения направлений преломлённого и отражённого лучей достаточно знать направление падающего луча  $L$  и нормали к поверхности  $N$  в точке падения луча. Направление падающего луча и нормали к поверхности на данном этапе известны.  $L$  раскладывается на два вектора  $L_p$  и  $L_n$ , где  $L_n$  параллелен  $N$ , а  $L_p$  перпендикулярен, как изображено на рисунке (->).

$L_n$  – проекция  $L$  на  $N$  по свойствам скалярного произведения и исходя из того, что  $|N| = 1$ , длина этой проекции равна  $(N, L)$ , поэтому  $L_n = N(N, L)$ . Отсюда  $L_p = L - L_n = L - N(N, L)$ .

Очевидно, что  $R = L_n - L_p$ . Подставим полученные ранее выражения и упростим, получим:  $R = 2N(N, L) - L$  – Направление отраженного луча.



# Нахождение преломлённого луча

Преломленный луч Р можно рассчитать из закона преломления. Он звучит следующим образом – луч падающий, луч преломленный и нормаль к поверхности в точке преломления лежат в одной плоскости. Углы падения и преломления при этом связаны следующим соотношением, называемым законом Снеллиуса (->)

$$\eta_i \sin \theta_i = \eta_t \sin \theta_t$$

$\eta_i$  — показатель преломления среды, из которой свет падает на границу раздела двух сред;

$\theta_i$  — угол падения света — угол между падающим на поверхность лучом и нормалью к поверхности;

$\eta_t$  — показатель преломления среды, в которую свет попадает, пройдя границу раздела двух сред;

$\theta_t$  — угол преломления света — угол между прошедшим через поверхность лучом и нормалью к поверхности.

Можно получить:

$$\vec{P} = \frac{n_1}{n_2} * \vec{L} + \left( \frac{n_1}{n_2} * \cos(\theta_i) - \sqrt{1 - \sin^2(\theta_t)} \right) * \vec{N}$$

$$\text{При этом } \sin^2(\theta_t) = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 * \sin^2 (\theta_i)$$

Где  $\theta_i$  – угол падения,  $\theta_t$  – угол преломления,  $n_2$  и  $n_1$  – абсолютные показатели преломления двух сред.

# Расчёт интенсивностей

Общая интенсивность цвета в определённой точке – это совокупность интенсивности света, диффузно отражающегося в точке поверхности и интенсивность света, отраженного зеркально.

Общую интенсивность можно определить по формуле (->)

$$I_r = k_a \sum I_{ia} + k_d \sum I_i * (\vec{n}, \vec{L}_i) + k_s \sum I_i * (\vec{S}, \vec{R}_i)^N + k_r I_r + k_t I_t,$$

где

$I_r$  и  $I_t$  – интенсивности, принесенные составляющими оттравсированных отраженного и преломленного лучей,  $I_{ia}$  - составляющие рассеянного освещения от i-го источника,

$k_a$  - коэффициент рассеянного отражения,

$k_d$  - коэффициент диффузного отражения,

$k_s$  - коэффициент зеркальности,

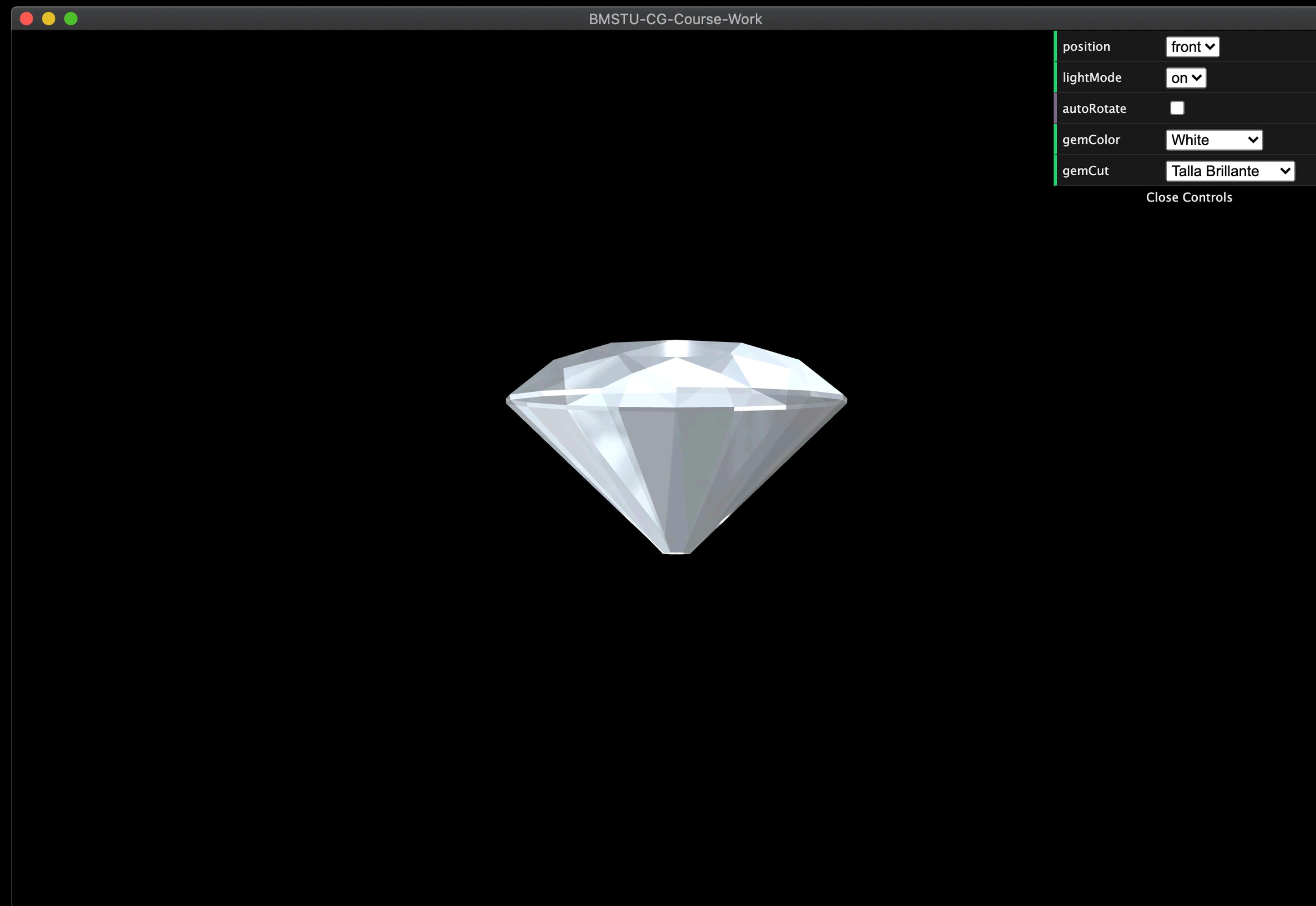
$k_r$  - коэффициент отражения,

$k_t$  - коэффициент преломления.

# Описание основных модулей программы

Модуль	Функционал
main	Точка входа в программу и сборка всей сцены
gem_models	Описание модели бриллиантов разной огранки, как объектов сцены (координаты объекта)
gem_material	Описание модели бриллианта с точки зрения оптических свойств материала
ray_tracer	Описание алгоритма обратной трассировки лучей
light	Описание модели освещения
rotation	Описание модуля поворота объекта на сцене
gui	Описание модуля интерфейса

# Пользовательский интерфейс



# Описание пользовательского интерфейса

Position — параметр, отвечающий за позицию камеры;

Light Mode — параметр, отвечающий за присутствии света на сцене;

Auto Rotate — параметре, отвечающий за циклический поворот объекта вокруг своей оси;

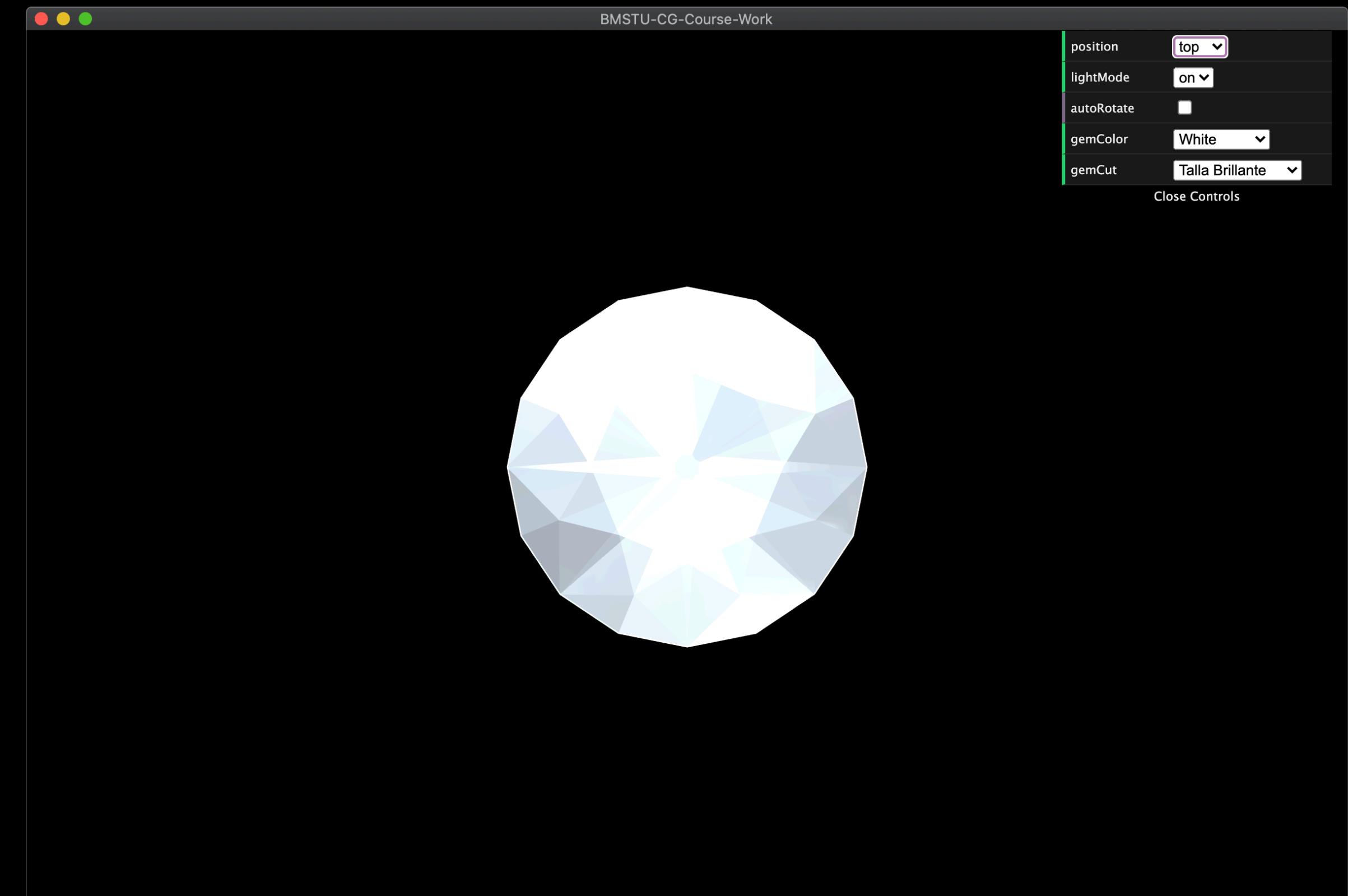
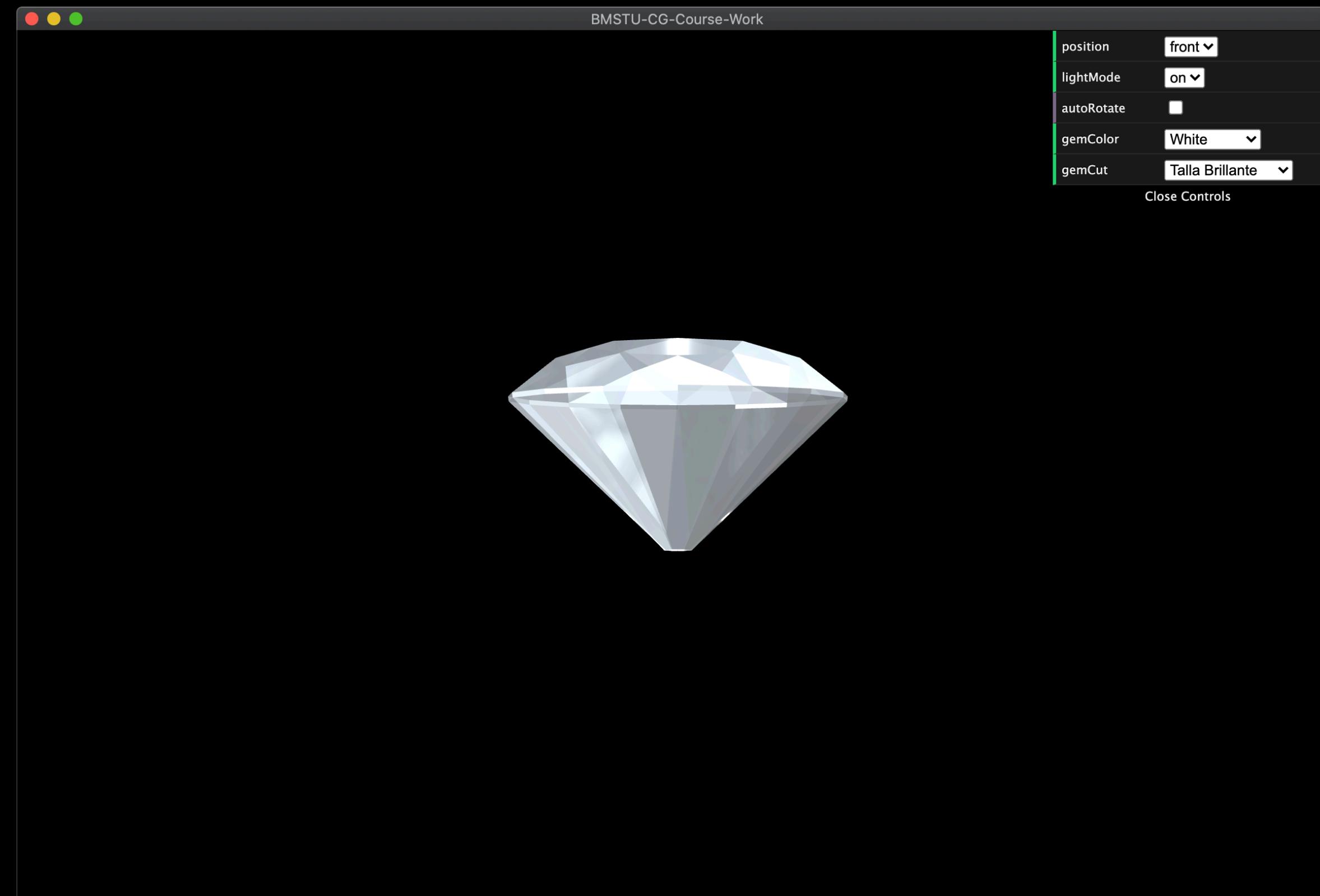
Gem Color — параметр, отвечающий за цвет бриллианта на сцене;

Gem Cut — параметр, отвечающий за огранку бриллианта на сцене;

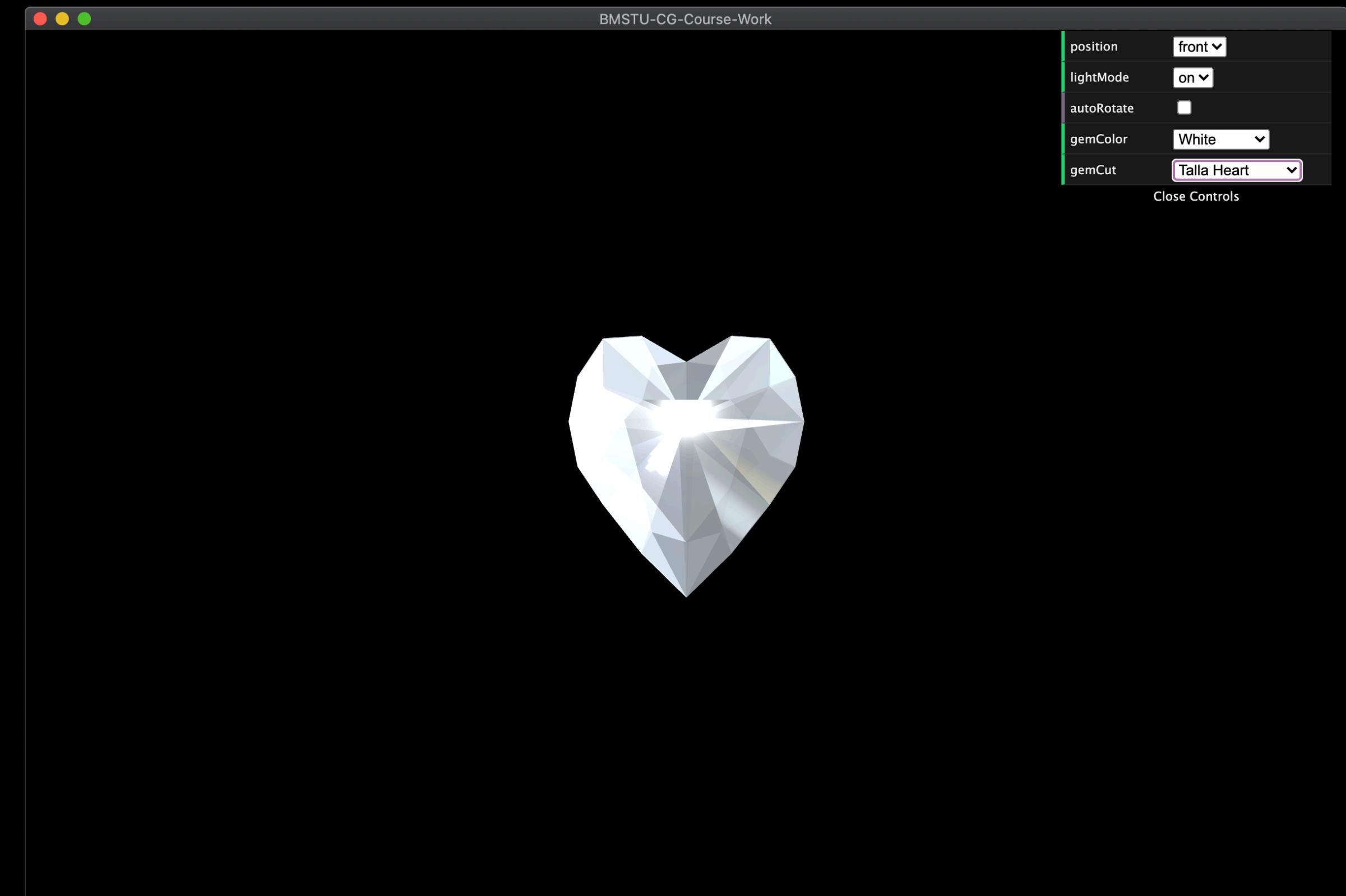
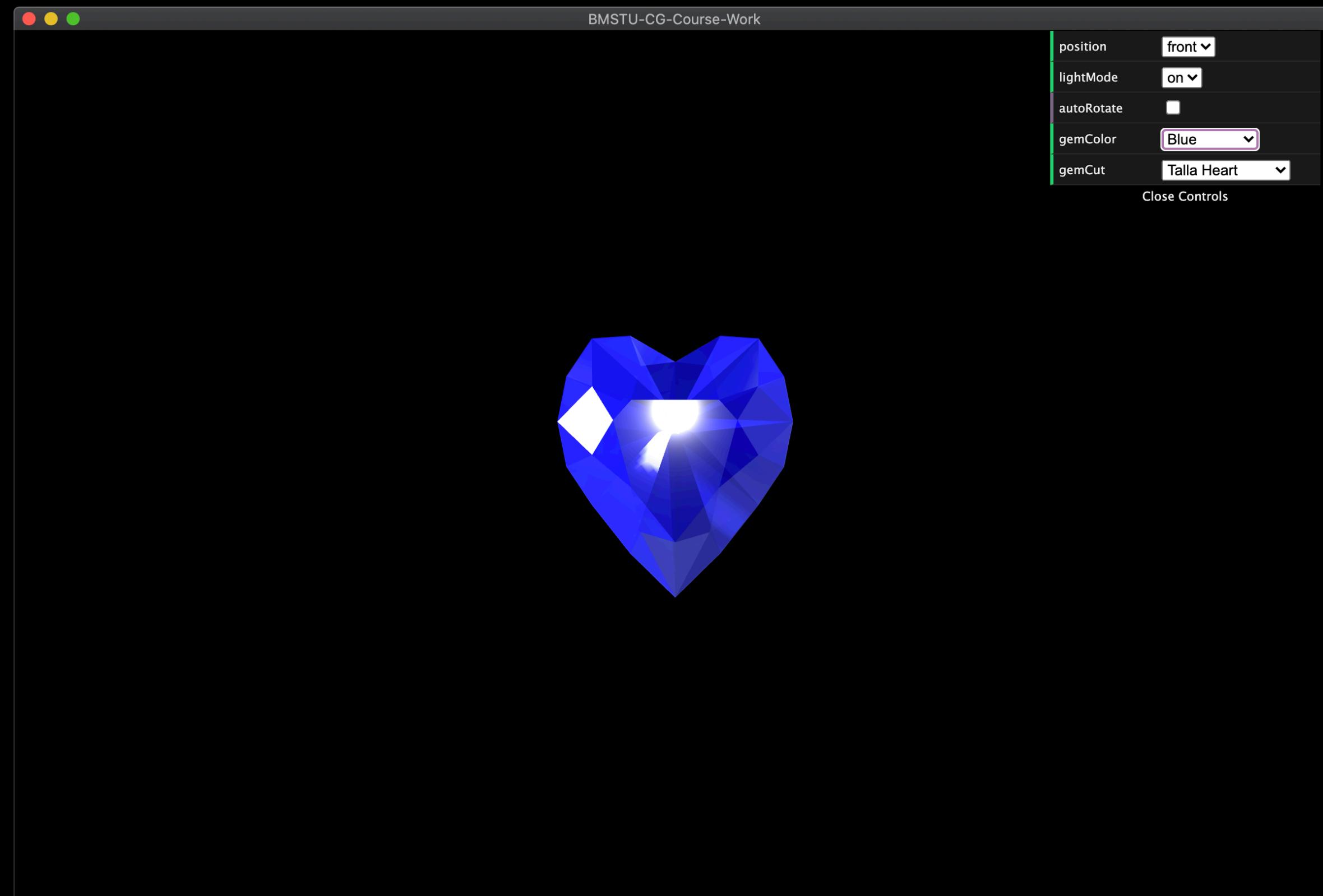
Close Controls — кнопка для того, чтобы скрыть панель управления.



# Демонстрация работы программы



# Демонстрация работы программы



# Демонстрация работы программы

