7. Модели освещения

Составляющие освещения

Модель освещения (закрашивания) определяет, как свет от источника рассеивается по поверхности или отражается от нее.

Модели освещения:

1. Ахроматическая (монохромная) модель;
2. Цветовая модель.

В модели освещения, используемой в компьютерной графике, предполагается, что объекты сцены освещаются двумя типами источников света: точечным источником света и фоновым источником света.

Составляющие освещения

При взаимодействии с объектом часть света поглощается и превращается в тепло; часть – отражается и часть – проникает внутрь.

Объект видим в том случае, когда часть света отражается и попадает в глаз наблюдателя.

Если весь падающий свет поглощается – то это абсолютно черное тело.

Если весь свет проходит сквозь объект, то объект видим только за счет рефракции.

Составляющие освещения

Различают два типа отражения света:

1. Диффузное рассеивание – часть падающего на объект света слегка проникает внутрь поверхности и излучается обратно во всех направлениях равномерно. Рассеянный цвет сильно взаимодействует с материалом поверхности, поэтому его цвет зависит от природы материала, из которого сделана поверхность;
2. Зеркальное отражение – падающий свет прямо отражается от поверхности, не проникая вглубь. В первом приближении зеркально отраженный свет имеет тот же цвет, что и падающий. В более сложных моделях цвет зеркально отраженного света пробегает интервал бликов, что дает лучшее приближение металлических поверхностей.

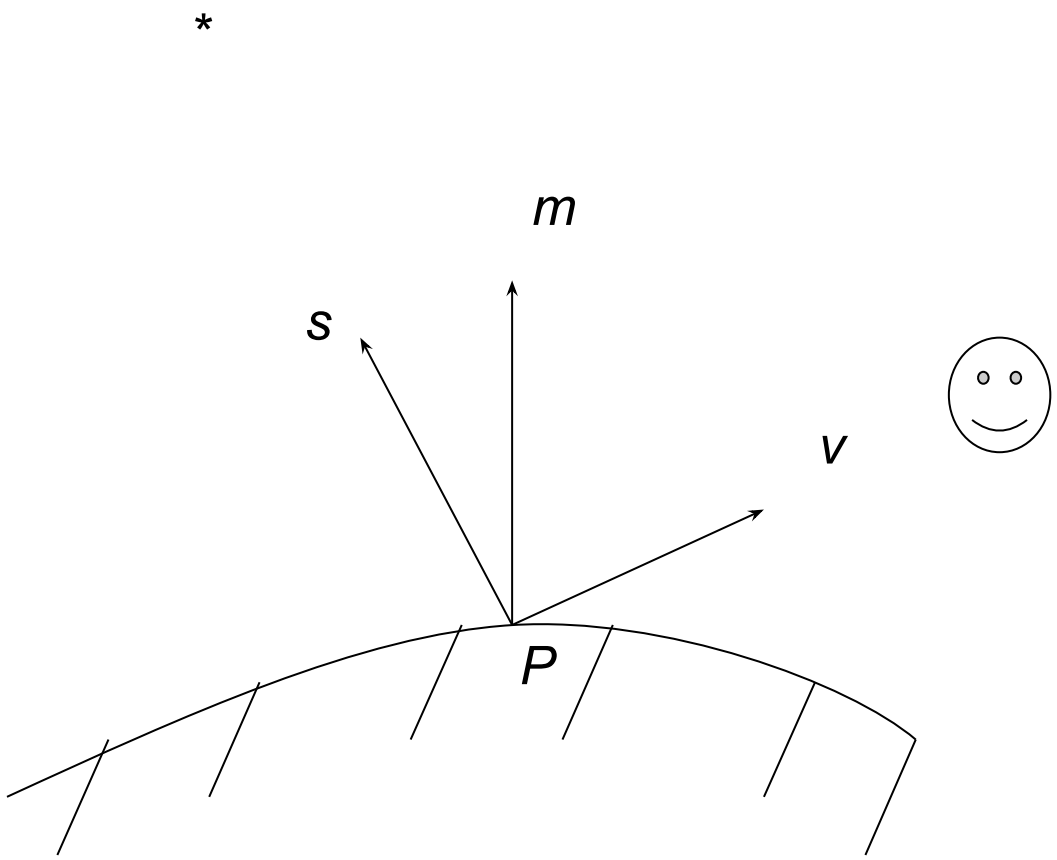
Составляющие освещения

P – точка на поверхности;

m – нормаль к поверхности в точке *P*;

s – вектор, указывающий направление от точки *P* к источнику света;

v – вектор, указывающий направление от точки *P* к глазу наблюдателя.



Составляющие освещения

Каждая грань объекта имеет две стороны: видимую и невидимую.

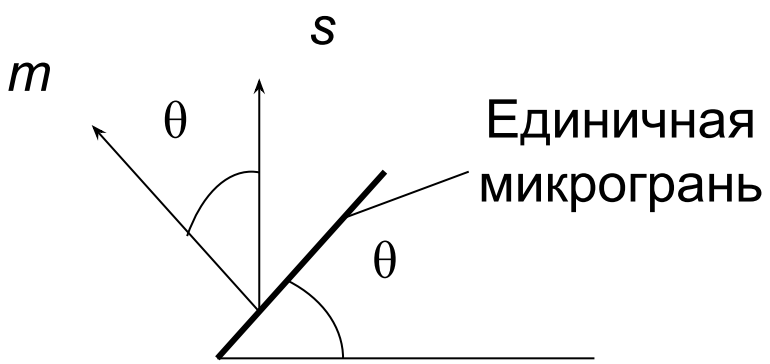
Для видимой стороны должно соблюдаться условие $v \cdot m > 0$ ($\cdot$ - операция скалярного умножения)

Диффузная составляющая отраженного света

Пусть I_S – интенсивность источника. Тогда интенсивность отраженного света будет $I_S \cos\Theta$. Из всего отраженного доля ρ_d будет приходиться на диффузную составляющую (ρ_d – коэффициент диффузного отражения).

Тогда диффузная компонента отраженного света будет равна $I_S \rho_d \cos\Theta$. Поскольку диффузное отражение равномерно во всех направлениях, то интенсивность диффузной компоненты, попадающей в глаз наблюдателя, не зависит от вектора.

Диффузная составляющая отраженного света



$$\cos\Theta = \frac{s \cdot m}{|s| \cdot |m|}$$

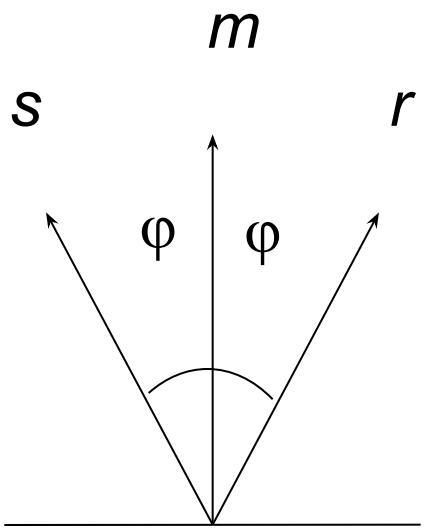
$$I_d = I_s \rho_d \frac{s \cdot m}{|s| \cdot |m|}$$

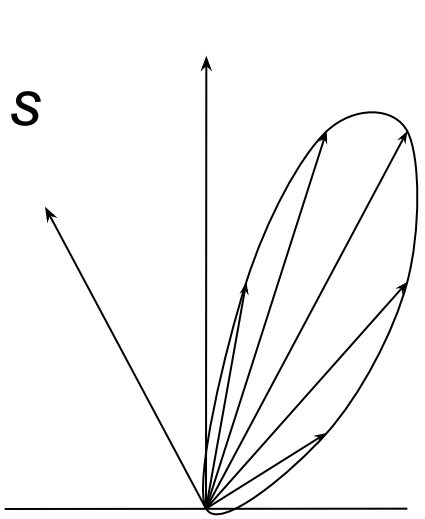
Закон Ламберта

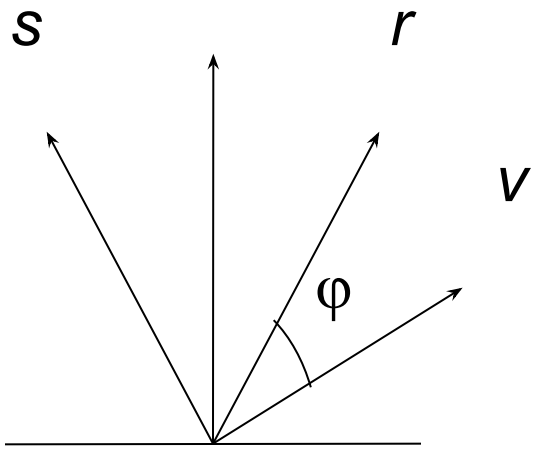
$$I_d = I_s \rho_d \max\left(\frac{s \cdot m}{|s| \cdot |m|}, 0\right)$$

Зеркальная составляющая отраженного света

Если поверхность идеально зеркальная, то отражение осуществляется по правилу: угол падения равен углу отражения. Однако в реальности это не так.







Зеркальная составляющая отраженного света

Модель Фонга

$$r = -s + 2\frac{s \cdot m}{|m|^2} m \qquad \cos\varphi = \frac{r \cdot v}{|r| \cdot |v|},$$

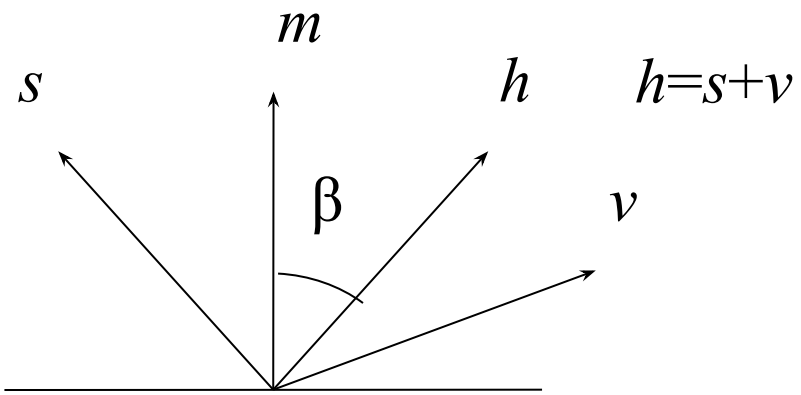
$$I_{sp} = I_s \rho_s \left(\frac{r \cdot v}{|r| \cdot |v|} \right)^{\Phi}$$

I_{sp} – интенсивность зеркальной составляющей, попадающей в глаз наблюдателя;

ρ_s – коэффициент зеркального отражения;

Ф – параметр, учитывающий неидеальную зеркальность (Ф = 1…200)

Зеркальная составляющая отраженного света



$$I_{sp} = I_s \rho_s \max\left(\left(\frac{h \cdot m}{|h| \cdot |m|}\right)^{\Phi}, 0\right)$$

Фоновая составляющая отраженного света

Если использовать только диффузную и зеркальную компоненты, то реалистичность полученного изображения оказывается не всегда удовлетворительной. Грани, которые не освещаются, будут глубоко черными, тени резкими и глубокими.

Для смягчения этого эффекта добавляют третью компоненту света – фоновый свет, источник которого считается не расположенным ни в каком определенном месте, свет от него распространяется во всех направлениях одинаково.

Этот источник характеризуется интенсивностью I_a, а каждая грань коэффициентом фонового отражения ρ_a.

Следовательно, в глаз наблюдателя, расположенного в любом месте, попадает отраженная часть фонового источника $I_a\rho_a$.

Монохромная модель освещения

$$I = I_s \rho_d \max\left(\frac{s \cdot m}{|s| \cdot |m|}, 0\right) + I_s \rho_s \max\left(\left(\frac{h \cdot m}{|h| \cdot |m|}\right)^{\Phi}, 0\right) + I_a \rho_a$$

$$I = I_{s1} \rho_d \max\left(\frac{s \cdot m}{|s| \cdot |m|}, 0\right) + I_{s2} \rho_s \max\left(\left(\frac{h \cdot m}{|h| \cdot |m|}\right)^{\Phi}, 0\right) + I_a \rho_a$$

В освещении участвуют три независимых источника – фоновый I_a и два точечных I_{s1}, I_{s2}. Точечные независимы, но совмещены в пространстве. Один из них имеет интенсивность I_{s1} и является источником, создающим диффузную составляющую, другой имеет интенсивность I_{s2} и является источником, создающим зеркальную составляющую.

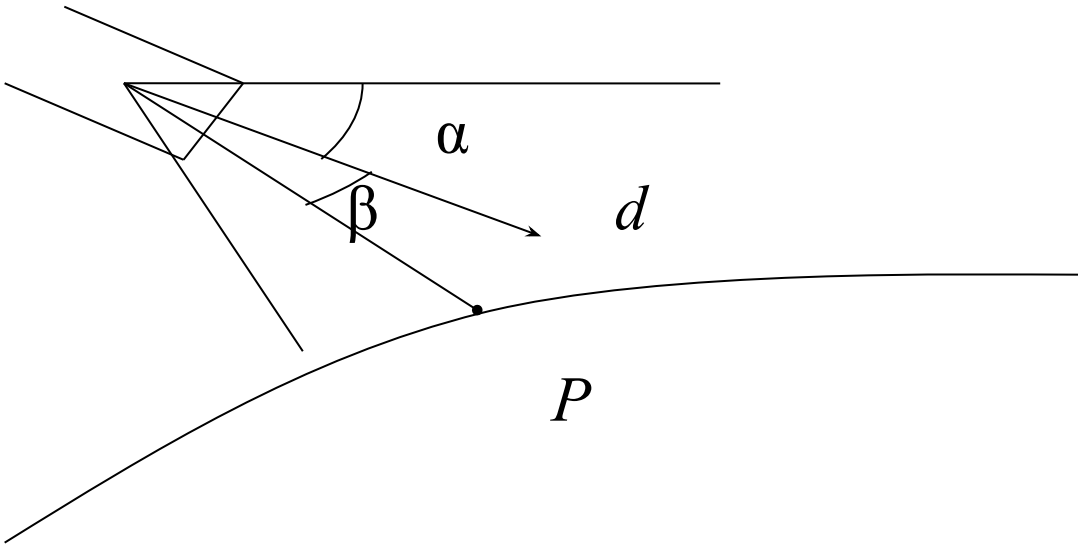
Цветовая модель освещения

R, G, B:

$$I = I_{s1}\rho_d \max\left(\frac{s \cdot m}{|s| \cdot |m|}, 0\right) + I_{s2}\rho_s \max\left(\left(\frac{h \cdot m}{|h| \cdot |m|}\right)^{\Phi}, 0\right) + I_a\rho_a$$

Каждый фоновый, диффузный и зеркальный источник представляет собой три независимых источника света, излучающие свет красного, зеленого и синего цвета.

Прожекторы



$$I = \cos^{\varepsilon} \beta$$

Ослабление света с расстоянием

$$K_{ослаб} = \frac{1}{K_1 + K_2 D + K_3 D^2}$$

K_1 – коэффициент постоянного ослабления

K_2 – коэффициент линейного ослабления

K_3 – коэффициент квадратичного ослабления

Параметры источника освещения

- Цвет фонового освещения (GL_AMBIENT)
- Цвет рассеянного освещения (GL_DIFFUSE)
- Цвет отраженного света (GL_SPECULAR)
- Расположение (GL_POSITION)
- Направление распространения света (GL_SPOT_DIRECTION)
- Концентрация светового луча (сфокусированность источника) (GL_SPOT_EXPONENT)
- Угол разброса световых лучей (GL_SPOT_CUTOFF)
- Коэффициент постоянного ослабления (GL_CONSTANT_ATTENUATION)
- Коэффициент линейного ослабления (GL_LINEAR_ATTENUATION)
- Коэффициент квадратичного ослабления (GL_QUADRATIC_ATTENUATION)

Свойства материала

- Фоновый цвет материала (GL_AMBIENT)
- Рассеянный цвет материала (GL_DIFFUSE)
- Фоновый и рассеянный цвет материала (GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE)
- Отраженный цвет материала (GL_SPECULAR)
- Коэффициент зеркального отражения (блеск) (GL_SHININESS)
- Излучаемый цвет материала (GL_EMISSION)
- Индексы фонового, рассеянного и отраженного цветов (GL_COLOR_INDEXES)

Цвет вершины

$$\text{цвет вершины} = \text{emission}_{\text{material}} + \text{ambient}_{\text{light}} \times \text{ambient}_{\text{material}} +$$

$$+ \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{k_{\text{constant}} + k_{\text{linear}} d + k_{\text{quadratic}} d^2} \right)_i \times \text{spotlight\_effect}_i \times [\text{ambient}_{\text{ligt}} \times \text{ambient}_{\text{material}} +$$

$$+ (\max\{L \cdot n, 0\}) \times \text{diffuse}_{\text{light}} \times \text{diffuse}_{\text{material}} +$$

$$+ (\max\{s \cdot n, 0\})^{\text{shininess}} \times \text{specular}_{\text{light}} \times \text{specular}_{\text{material}}]_i$$

spotlight_effect = 1, если источник – не прожектор; 0, если источник – прожектор, но вершина лежит вне его конуса; $(\max\{v \cdot d, 0\})^{\text{GL\_SPOT\_EXPONENT}}$, если источник – прожектор и вершина лежит в его конусе, v – единичный вектор из прожектора в вершину, d – вектор ориентации прожектора.

L – единичный вектор направления из вершины на источник; n – единичный вектор нормали; s – нормализованная сумма двух векторов: вектор направления из вершины на источник и вектор из вершины на точку наблюдения.

Пример

```
#include <GL/glut.h>
GLfloat diffuseMaterial[4] = { 0.5, 0.5, 0.5, 1.0 };
void init(void)
{
  GLfloat mat_specular[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };
  GLfloat light_position[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 0.0 };
  glClearColor (0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
  glShadeModel (GL_SMOOTH);
  glEnable(GL_DEPTH_TEST);
  glMaterialfv(GL_FRONT, GL_DIFFUSE, diffuseMaterial);
  glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SPECULAR, mat_specular);
  glMaterialf(GL_FRONT, GL_SHININESS, 25.0);
  glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, light_position);
  glEnable(GL_LIGHTING);
  glEnable(GL_LIGHT0);
  glColorMaterial(GL_FRONT, GL_DIFFUSE);
  glEnable(GL_COLOR_MATERIAL);
}
```

Пример

```
void display(void)
{
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
  glutSolidSphere(1.0, 20, 16);
  glFlush ();
}
void reshape (int w, int h)
{
  glViewport (0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
  glMatrixMode (GL_PROJECTION);
  glLoadIdentity();
  if (w <= h) glOrtho (-1.5, 1.5, -1.5*(GLfloat)h/(GLfloat)w,
    1.5*(GLfloat)h/(GLfloat)w, -10.0, 10.0);
  else
    glOrtho (-1.5*(GLfloat)w/(GLfloat)h,
      1.5*(GLfloat)w/(GLfloat)h, -1.5, 1.5, -10.0, 10.0);
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
  glLoadIdentity();
}
```

Пример

```
void mouse(int button, int state, int x, int y)
{
  switch (button) {
    case GLUT_LEFT_BUTTON:
      if (state == GLUT_DOWN) {
        diffuseMaterial[0] += 0.1;
        if (diffuseMaterial[0] > 1.0) diffuseMaterial[0] = 0.0;
        glColor4fv(diffuseMaterial);
        glutPostRedisplay();
      }
      break;
    case GLUT_MIDDLE_BUTTON:
      if (state == GLUT_DOWN) {
        diffuseMaterial[1] += 0.1;
        if (diffuseMaterial[1] > 1.0) diffuseMaterial[1] = 0.0;
        glColor4fv(diffuseMaterial);
        glutPostRedisplay();
      }
      break;
```

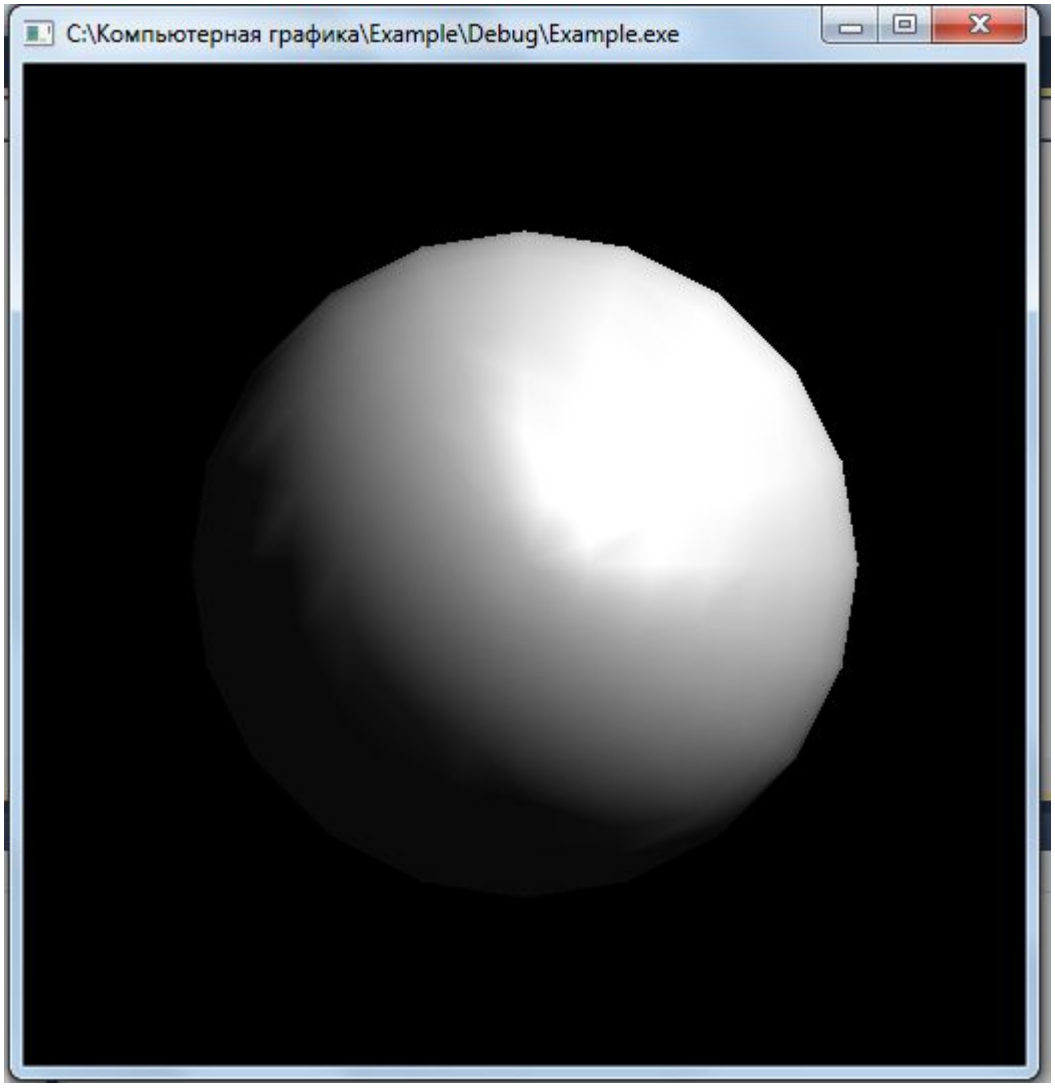
Пример

```
case GLUT_RIGHT_BUTTON:
        if (state == GLUT_DOWN) {
           diffuseMaterial[2] += 0.1;
           if (diffuseMaterial[2] > 1.0) diffuseMaterial[2] = 0.0;
           glColor4fv(diffuseMaterial);
           glutPostRedisplay();
        }
        break;
     default: break;
   }
}
void keyboard(unsigned char key, int x, int y)
{
   switch (key) {
      case 27:
         exit(0);
         break;
   }
}
```

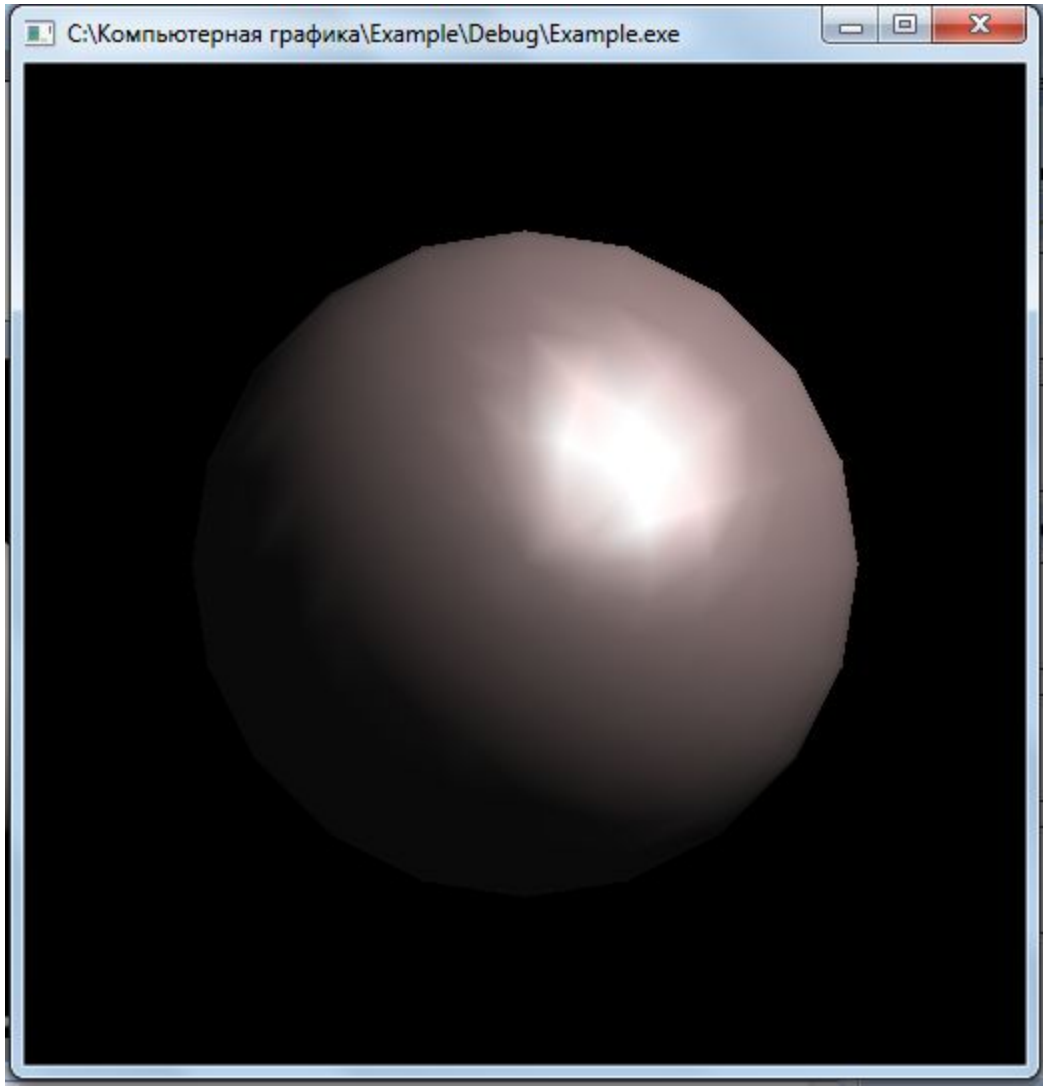
Пример

```
int main(int argc, char** argv)
{
   glutInit(&argc, argv);
   glutInitDisplayMode (GLUT_SINGLE | GLUT_RGB | GLUT_DEPTH);
   glutInitWindowSize (500, 500);
   glutInitWindowPosition (100, 100);
   glutCreateWindow (argv[0]);
   init ();
   glutDisplayFunc(display);
   glutReshapeFunc(reshape);
   glutMouseFunc(mouse);
   glutKeyboardFunc(keyboard);
   glutMainLoop();
   return 0;
}
```

Пример



Пример



Пример