

МБОУ «Башкирский лицей №2» городского округа  
город Уфа Республики Башкортостан

**Расчет угла отклонения света при гравитационном линзировании  
черной дырой**

*Научно – исследовательская работа*

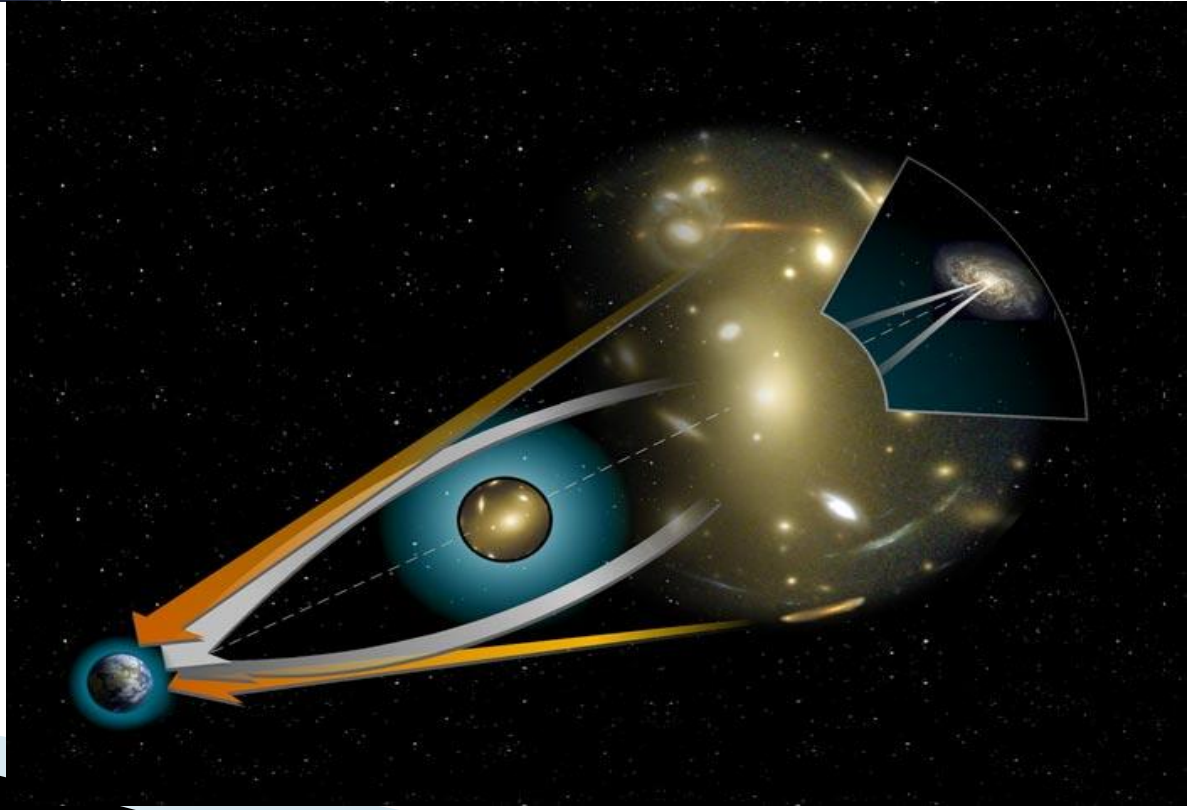
**Выполнил:** Юлдашев Радмир,  
обучающийся 10 класса

**Руководитель:** Таюпов М.М.,  
учитель физики и астрономии

Уфа – 2018



2010



- ▣ **Актуальность** этой работы заключается в том, что мы без каких-либо специальных математических умений, попытаемся с помощью ИТ, упростить такого рода расчеты, чтобы их смог осуществить любой обучающийся старших классов.
- ▣ **Целью** данной работы было повторение, с помощью среды программирования Wolfram Mathematica, расчетов итальянского ученого Бозза для угла отклонения света при гравитационном линзировании, в котором луч света, попавший в поле ее тяготения, прежде чем вырваться из него совершит несколько оборотов.
- ▣ Для достижения цели нами были поставлены следующие **задачи**:
  - ▣ 1. Изучение литературы по данной тематике
  - ▣ 2. Изучение языка программирования Wolfram Mathematica
  - ▣ 3. Повторение расчетов итальянского ученого Бозза для угла отклонения света при гравитационном линзировании с помощью данного ПО.
  - ▣ 4. Сделать выводы

# Черная дыра Шварцшильда

$$ds^2 = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 + \frac{2M}{r} dt dx + \frac{2M}{r} dt dy + \frac{2M}{r} dt dz - \frac{2M}{r} dx dy - \frac{2M}{r} dx dz - \frac{2M}{r} dy dz + \frac{2M}{r} dx^2 + \frac{2M}{r} dy^2 + \frac{2M}{r} dz^2$$

-метрика Шварцшильда

$$\alpha(x_0) = -a \log \left( \frac{x_0}{x_m} - 1 \right) + b + O(x_0 - x_m).$$

-угол отклонения

lab 4.nb

```
Get["GenRel.m"]
```

```
GenRel functions are: IMetric, Christoffel, ChristoffelCmp, RiemannCmp,
  Riemann, Ricci, SCurvature, EinsteinTensor, SqRicci, SqRiemann.
```

```
Enter 'helpGenRel' for this list of functions
```

```
coord = {t, r, w}
```

```
{t, r, w}
```

```
metric = {{1, 1, r^2}, {0, r^2, 1/r}, {Sin[r]^2, 1, r^2*Sin[r]^2}}
```

```
{{{1, 1, r^2}, {0, r^2, 1/r}, {Sin[r]^2, 1, r^2 Sin[r]^2}}
```

```
g11 = 1
```

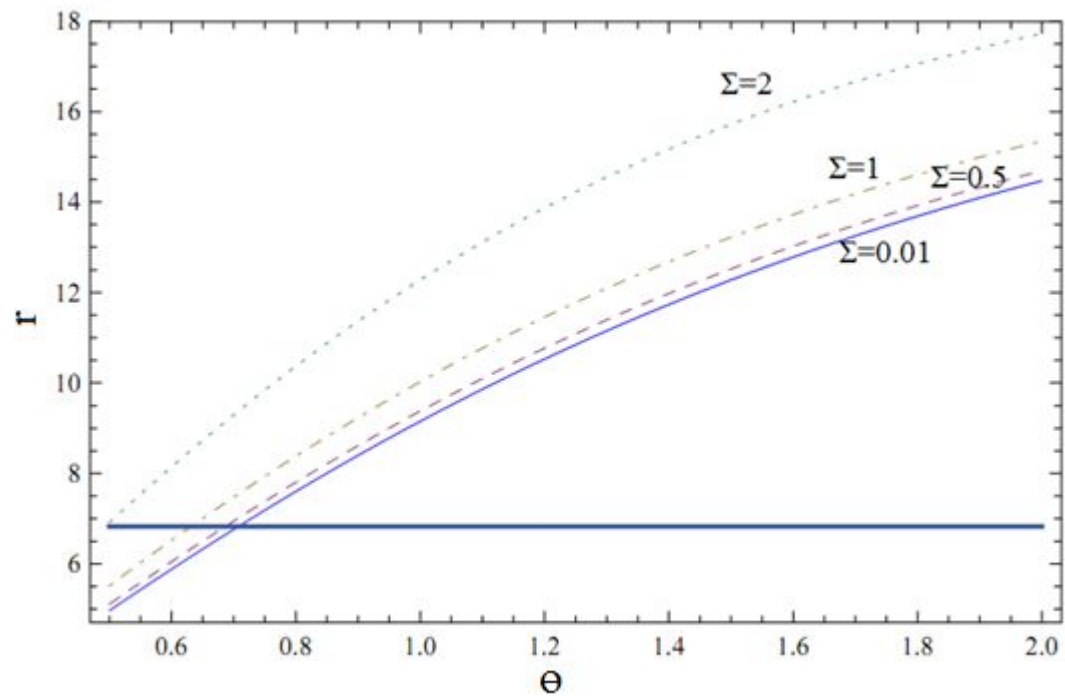
```
1
```

```
g12 = 1
```

```
1
```

```
g13 = r^2
```

```
r^2
```



# Выводы

- Полученные результаты говорят о том, что с помощью данного ПО нам удалось намного упростить процесс решения задач гравитационного линзирования. Все результаты вычислений с помощью математического моделирования совпали с теми результатами, которые получил Бозза.
- Эти результаты можно использовать в ходе углубленного изучения обучающимися таких учебных предметов как «Астрономия», «Физика» и «Информатика».

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!!!**