

## Комплекс программ для исследования рассеяния света на бриллиантах круглой формы

Попов А.А.,

progpaa@gmail.com, svit\_se@rambler.ru

К настоящему времени не существует теории рассеяния света на бриллиантах различной формы. Как правило, к имеющимся формам бриллиантов ювелиры пришли экспериментальным путем. Причем эти эксперименты продолжались сотни лет. И только в начале двадцатого века, а точнее в 1919 году Марсель Толковский [1] проанализировал ход отдельного луча в бриллианте круглой формы и нашел условие, когда луч после нескольких полных внутренних отражений выходит из короны бриллианта.

С появлением вычислительных машин стало возможным провести исследование рассеяние света на кристаллах более детально. Автором данного комплекса программ еще в конце 80-х годов прошлого века предложен вычислительный метод для описания рассеяния света на атмосферных гексагональных кристаллах [2, 3]. В его основе лежат два известных метода: метод геометрической оптики и метод физической оптики. С помощью первого строится ход лучей внутри кристалла. Причем предложена система алгоритмов, в рамках которой все лучи объединяются в пучки параллельных лучей. Для каждого пучка известны величина электромагнитного поля в его сечении, направление выхода пучка из кристалла, а также координаты его многоугольного сечения. В итоге можно провести интегрирование полей по сечению каждого пучка, т.е. пересчитать поля из ближней зоны в дальнюю зону в рамках формализма физической оптики.

Световые пучки проще образовать из части фронта плоской волны, вырезанной кристаллом, а не от отдельных лучей. Часть фронта распределяется по граням кристалла, т.е. делится на пучки параллельных лучей. Каждый пучок частично проходит в кристалл и частично отражается от его грани. Преломленные пучки проходят через объем кристалла и делятся на его ребрах и вершинах. При каждом новом взаимодействии пучков с внутренней границей раздела происходит их дальнейшее дробление. В конечном счете, оптическая задача сводится к рассмотрению рассеяния совокупности пучков параллельных лучей, вышедших из кристалла.

Предложенный метод разрабатывался безотносительно формы кристалла. Достаточно только задать для него граничные условия. При использовании геометрической оптики под граничными условиями здесь следует понимать уравнения плоскостей, на которых лежат грани, а также номера вершин кристалла, принадлежащих граням. Данные вершины образуют ребра граней. Нахождение параметров граней требует разработки неочевидных алгоритмов, поэтому геометрическая задача представляет самостоятельный интерес и выделена в отдельную программу.

В итоге комплекс программ содержит две программы: GeomCrys и OptCrys. С помощью первой программы GeomCrys определяются геометрические параметры кристалла для оптической задачи. С помощью второй программы OptCrys решается оптическая задача.

### Работа с программой GeomCrys.

Программа GeomCrys загружается с помощью командной строки: "java GeomCrys", которая расположена в пакетном файле GeomCrys.bat. Класс GeomCrys является базовым классом и работает совместно с классами: CommlInput, CaratCalc, FormDateMod и FinalFrame.

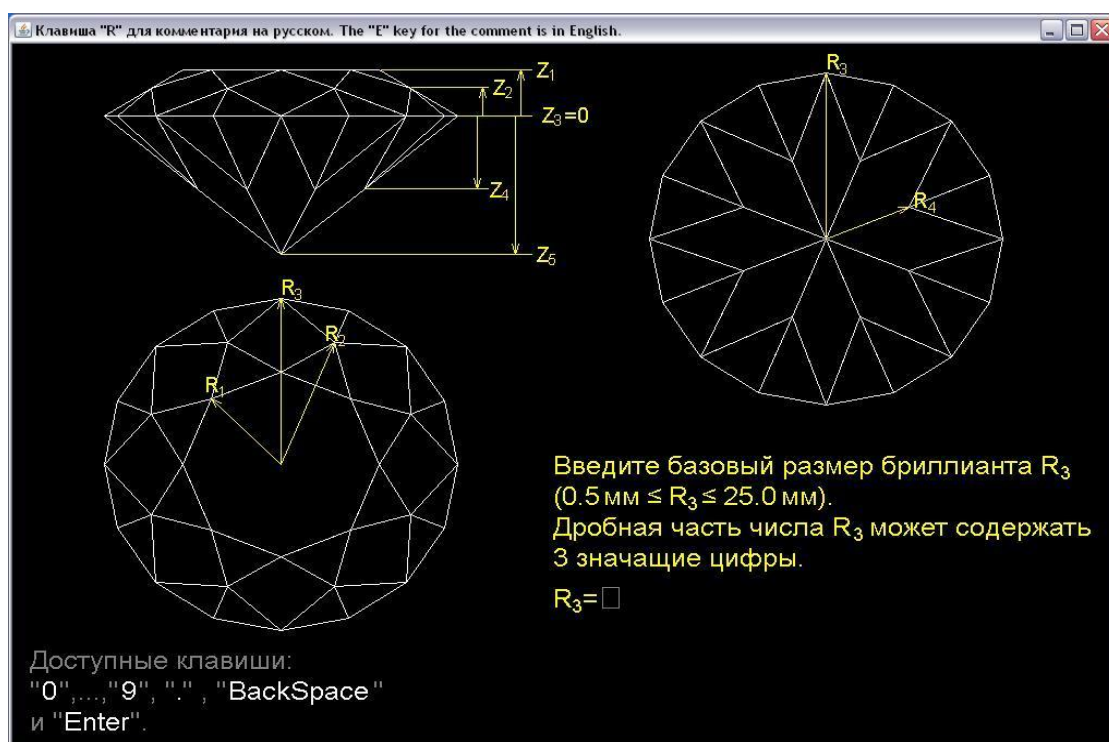


Рис.1. Окно после загрузки программы.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты работы класса CommlInput, который обеспечивает графический ввод значений пара-

метра  $R_3$ . На этих рисунках выведены проекции бриллианта круглой формы: левое верхнее изображение – вид сбоку, левое нижнее изображение – вид сверху, правое верхнее изображение – вид снизу. Нетрудно убедиться, что бриллиант круглой форму можно задать 6 размерами:  $Z_1, Z_2, Z_4, Z_5, R_1, R_3$ . Значение  $Z_3=0$ . Оставшиеся размеры  $R_2$  и  $R_4$  не являются свободными, а зависят от первых 6 таким образом, чтобы получились четырехугольные грани.

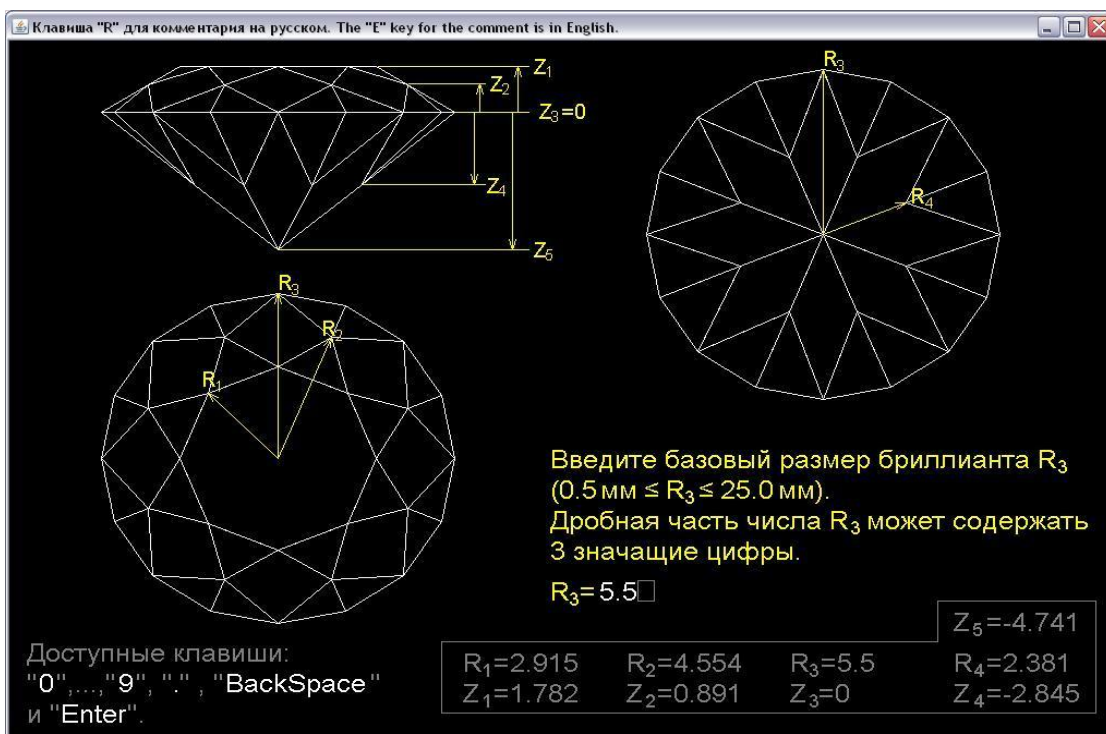


Рис.2. Окно при вводе базового размера.

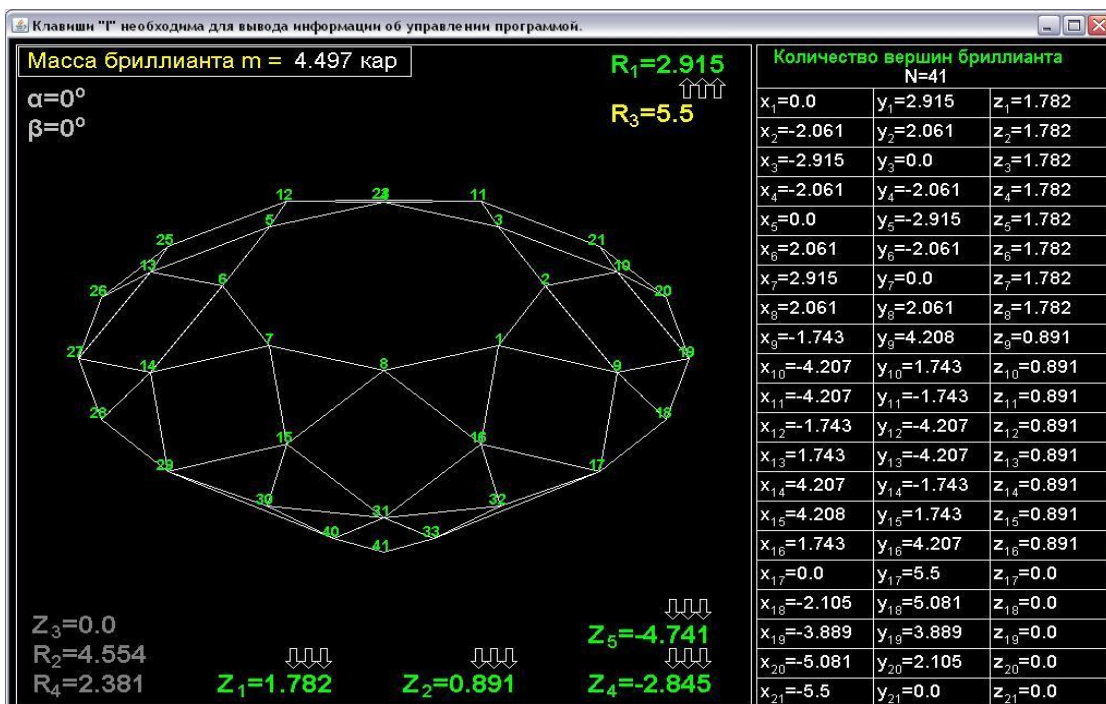


Рис.3. Переход к данной странице после нажатия клавиши "Enter".

Для круглой формы бриллианта верхняя его часть, называемая короной, содержит 33 грани. Причем в короне горизонтальная грань является правильным восьмиугольником. Нижняя часть бриллианта, называемая павильоном, содержит 24 грани. Величина  $R_3$  – это максимальный радиус в короне бриллианта и в его павильоне. Данная величина может быть введена с точностью до 0.001 мм, т.е. с точностью до 1 мкм. При вводе  $R_3$  сразу вычисляются остальные размеры бриллианта согласно пропорциям для, так называемой, идеальной формы [1].

После нажатия клавиши “Enter” программа вызывает следующую страницу (рис.3). На ней справа представлены координаты 21 вершины из таблицы, содержащей 41 вершину бриллианта. К остальным вершинам можно перейти после нажатия клавиши “PgDn”.

На данной странице производятся основные действия с программой, которые подробно представлены в выведенном комментарии (Рис. 4). Для этой страницы базовый класс использует классы FormDateMod и CaratCalc.

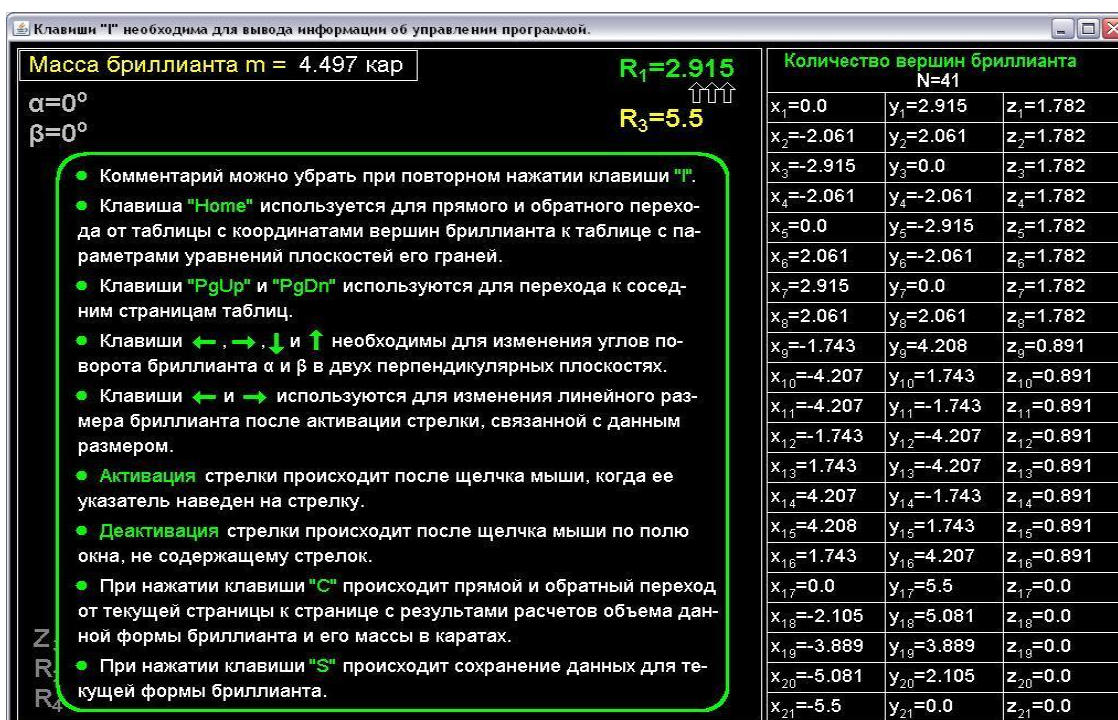


Рис.4. Вывод инструкции управления программой после нажатия клавиши “I”.

В классе FormDateMod реализована система алгоритмов для нахождения плоскостей, на которых лежат грани, и номеров вершин, принадлежащих каждой грани. На рисунке 5 справа приведена таблица для первых 13 граней из 57. Остальные уравнения плоскостей выводятся на экран после нажатия клавиши “PgDn”.



На этой странице в верхней строке выведена масса бриллианта в каратах. С помощью класса CaratCalc для текущей формы бриллианта в реальном времени вычисляется ее объем (Рис. 6).

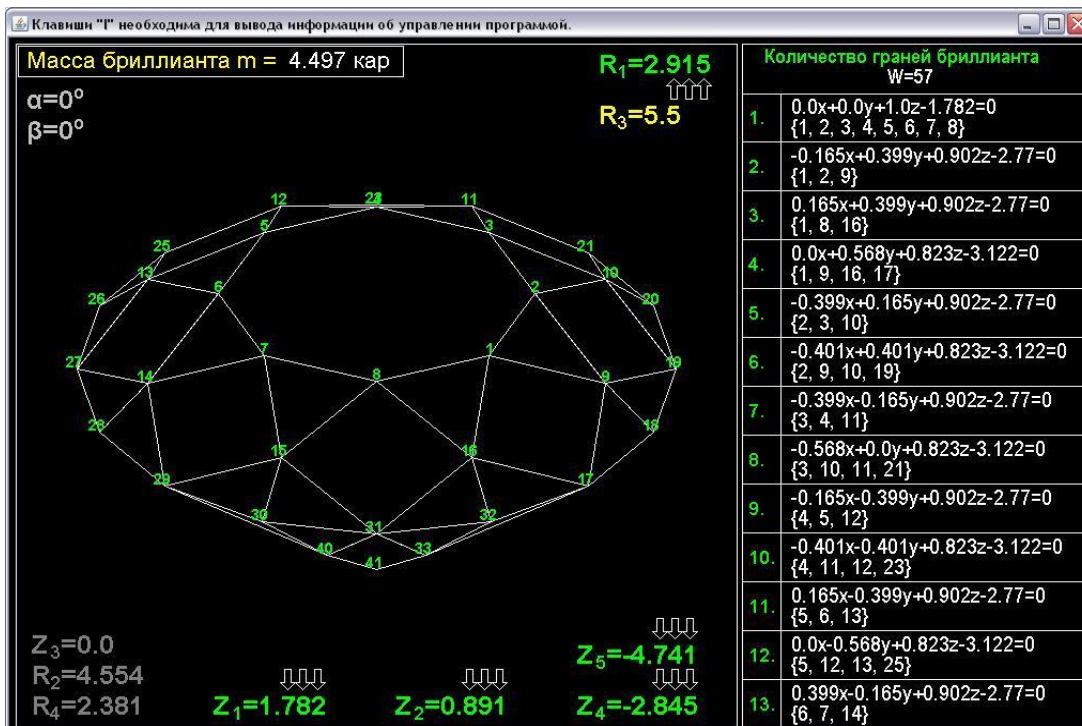


Рис.5. Замена таблицы с координатами вершин на таблицу с уравнениями плоскостей грани после нажатия клавиши "Home".

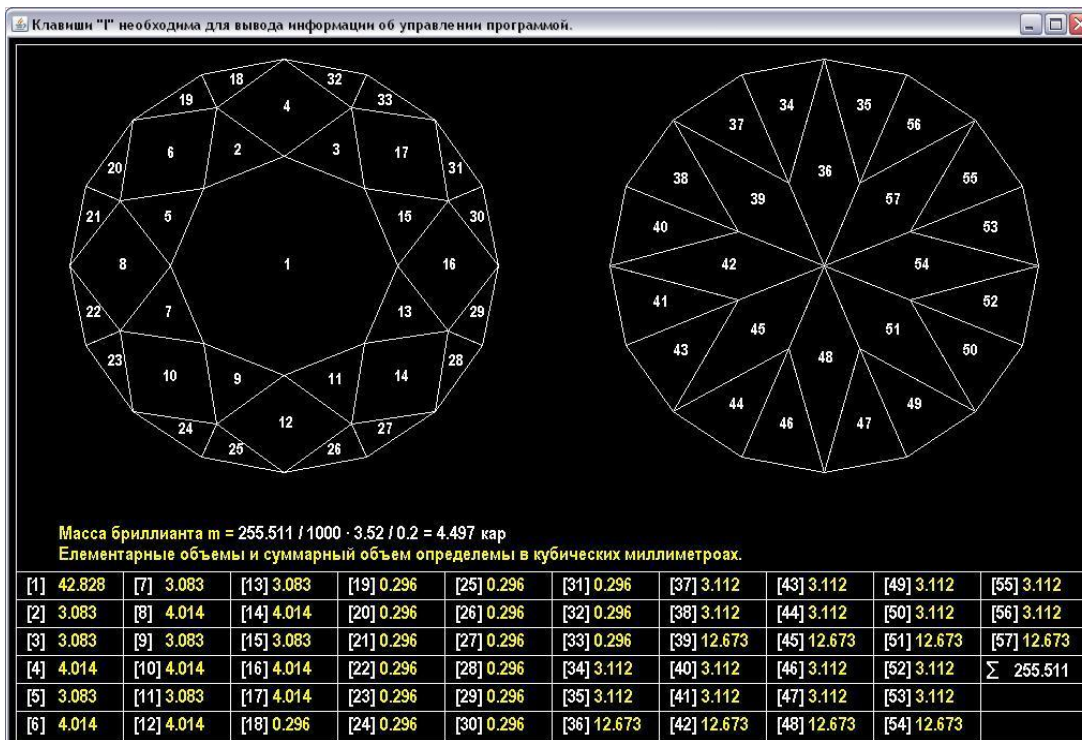


Рис.6. Области интегрирования для вычисления объема бриллианта.

Представленные на рисунке 6 области являются проекциями граней бриллианта на координатную плоскость  $z=0$ . В итоге тройной

интеграл распадается на сумму 57 тройных интегралов. Каждый из 33 объемов для короны бриллианта ограничен сверху известной плоскостью грани, а снизу плоскостью  $z=0$ . Оставшиеся объемы для павильона бриллианта ограничены снизу соответствующими плоскостями граней, а сверху плоскостью  $z=0$ . Результаты вычислений объемов в кубических миллиметрах приведены в таблице (Рис.6).

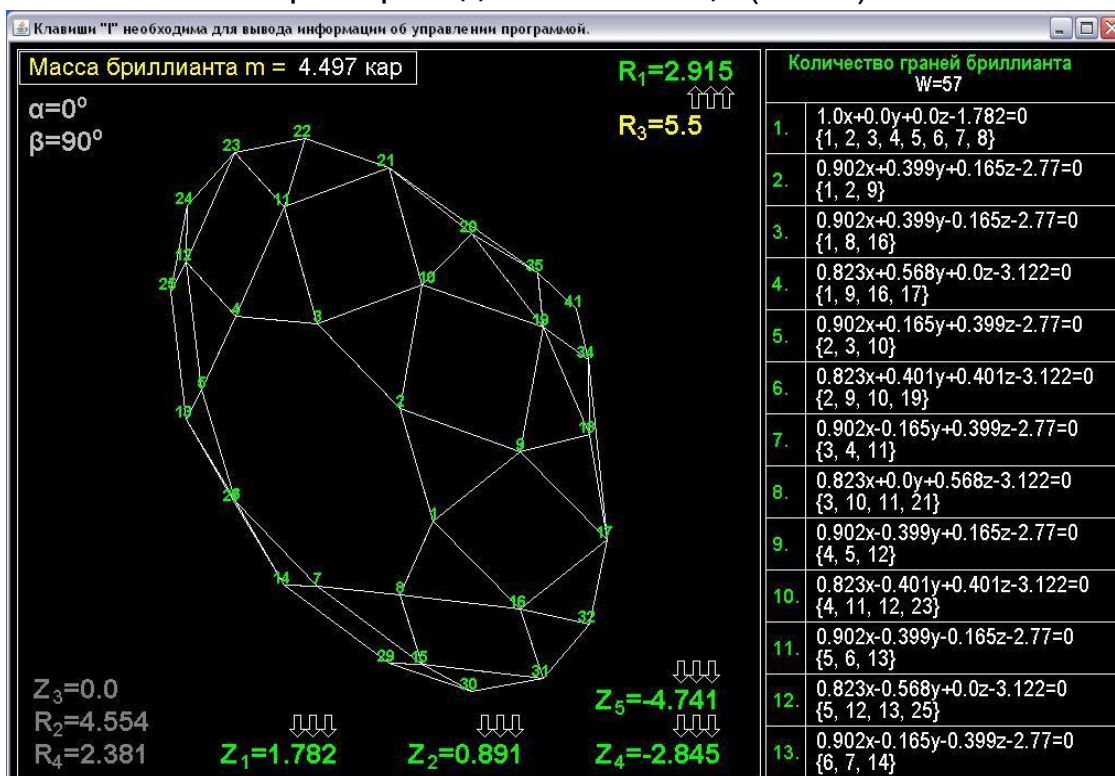


Рис.7. После каждого нажатия клавиши "Up" угол поворота  $\beta$  увеличивается на 1 градус.

В верхней строке над таблицей (Рис.6) приведено вычисление массы бриллианта при известном его объеме. Значение  $3.52 \text{ г/см}^3$  – плотность алмаза, коэффициент  $0.2 \text{ г}$  соответствует 1 карату. Коэффициент 1000 переводит кубические миллиметры в кубические сантиметры.

На рисунке 7 показано промежуточное положение бриллианта при его вращении, с помощью которого просматриваются первоначально его невидимые грани и вершины. В данном случае произведено изменение угла  $\beta$  до  $90^\circ$  путем многократного нажатия клавиши "Up". Каждое нажатие этой клавиши увеличивает угол  $\beta$  на  $1^\circ$ .

Нажатие клавиши "S" выводит простое меню для сохранения данных (Рис. 8). После щелчка мыши по левому прямоугольнику данные сохраняются в двоичном файле вида  $vg\_**.dat$ , предыдущее окно делается невидимым и с помощью класса FinalFrame выводится новое окно (Рис.9). В базовом классе GeomCrys автоматически опреде-





6, 8, 10, 12, 14, 16, 17 параллельны соответственно граням павильона бриллианта с номерами 48, 51, 54, 57, 36, 39, 42, 45.

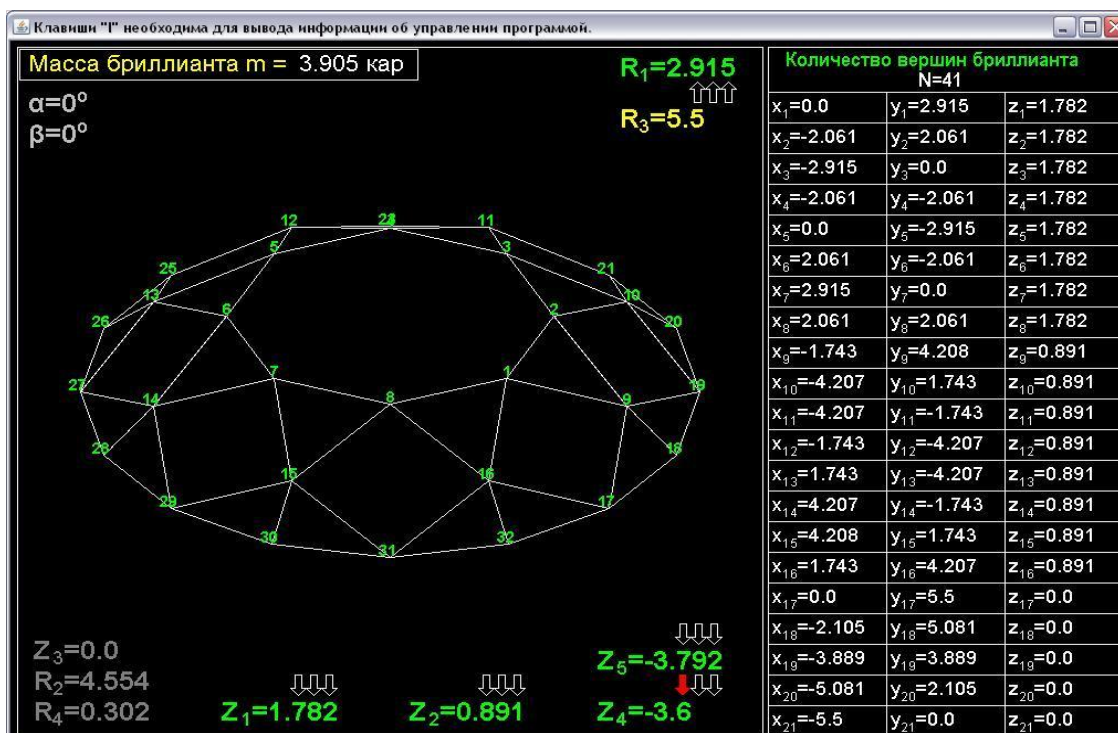


Рис.10. Уменьшение высоты павильона бриллианта.

При размере  $Z_4 = -3.6$  четырехугольные грани павильона бриллианта становятся длинными и узкими.

### Работа с программой OptCrys.

Загрузка этой программа происходит с помощью командной строки: "java OptCrys", которая расположена в пакетном файле OptCrys.bat. Программа OptCrys использует 4 вспомогательных класса: классы Complex и Dim\_Vect аналогичны структурам языка Си и объединяют 2 и 3 вещественных числа, соответственно; в классе CoOpFu реализованы операции с комплексными числами, класс rtrf необходим для вычисления коэффициентов Френеля. Дополнительно о классах можно сказать следующее: класс Complex служит для описания комплексного числа, а класс Dim\_Vect необходим для задания вектора или точки в трехмерном пространстве.

На рисунке 11 представлено начальное окно программы после ее загрузки. При угле  $\beta = 180^\circ$  первичная плоская волна падает нормально на восьмиугольную грань бриллианта. Параметры в зеленых рамках могут быть изменены: углы с шагом в  $1^\circ$ , реальная часть комплексного показателя преломления с шагом 0.01, мнимая часть ком-



плексного показателя на порядок от  $0 \sim 10^{-10}$  до  $10^{-4}$ . При угле  $\beta=180^\circ$  видны только 33 грани короны бриллианта. Сумма их проекций образуют геометрическую тень. В итоге образуются 33 отраженных пучка и 33 преломленных пучка. Лучи в пределах каждого пучка взаимодействуют с одной гранью, поэтому их отражение и преломление описываются одним коэффициентом отражения и одним коэффициентом передачи.

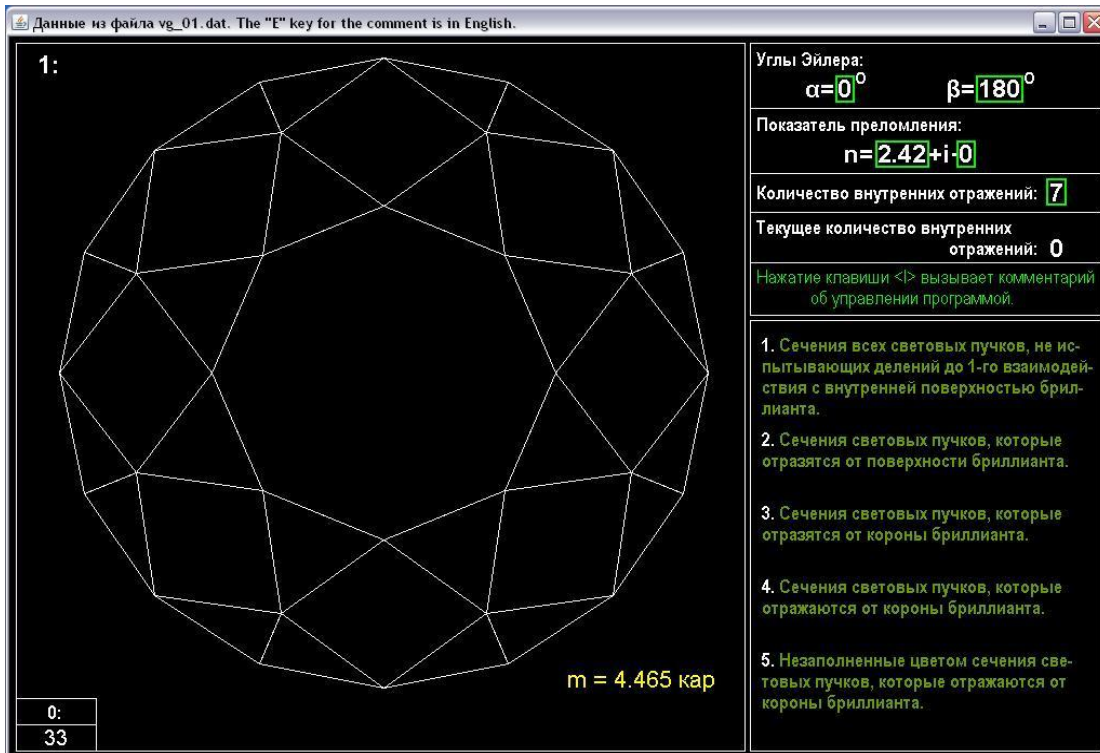


Рис.11. Исходное окно программы OptCrys после ее загрузки.

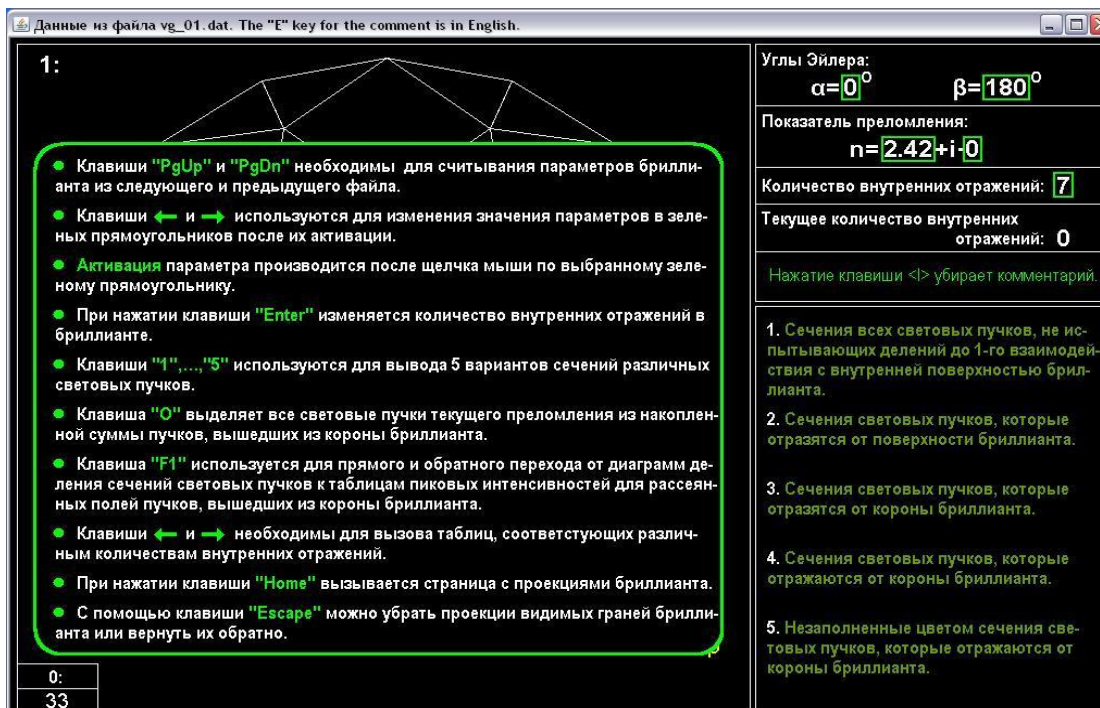


Рис.12. Вывод инструкции управления программой после нажатия клавиши "1".

На рисунке 12 приведена подробная информация о клавишах, с помощью которых производится управление программой.

При первом нажатии клавиши “Enter” 33 пучка после одного прохождения через объем бриллианта делятся на 128 пучков, после двух прохождений при повторном нажатии клавиши “Enter” – на 416, после трех – на 528 (Рис. 13). Образующиеся при делении световые пучки расщепляются на отраженные и преломленные пучки. По умолчанию вариант, представленный на рисунке 13, соответствует нажатой клавише с цифрой 1 основной клавиатуры. Цифра “1” выведена в левом верхнем углу окна.

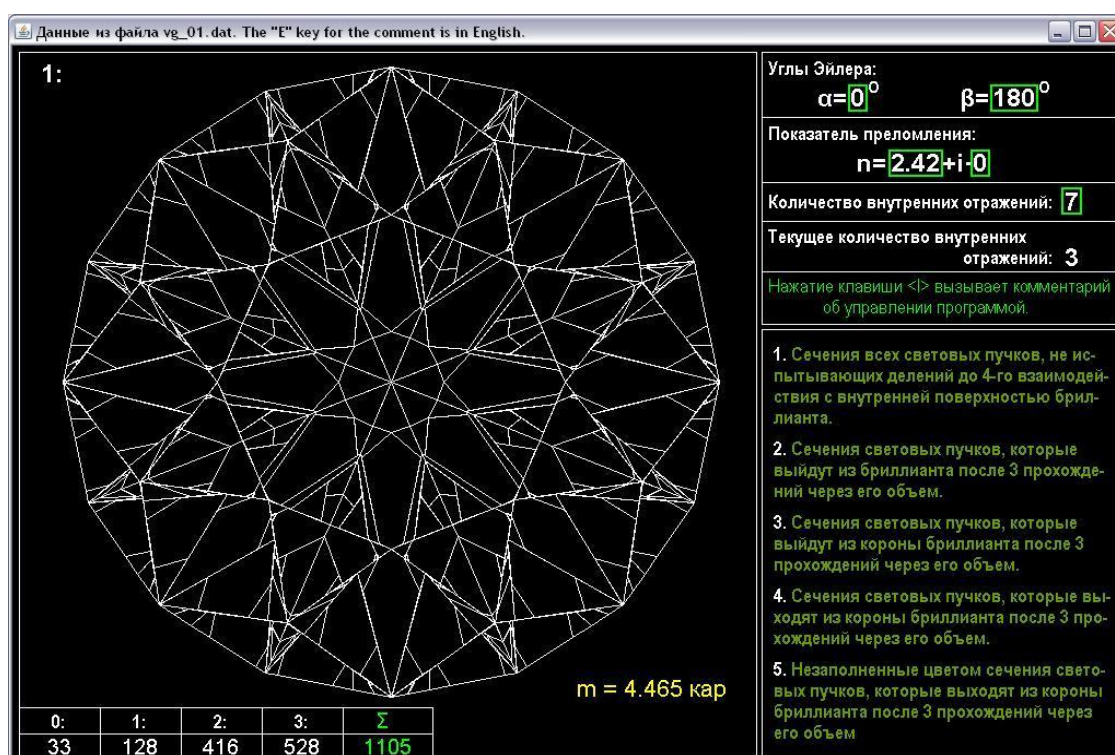


Рис.13. Сечение световых пучков, образующихся после 3-х делений в результате 3-х нажатий клавиши Enter.

Заметим, что из большей части световых пучков, полученных при 3-м взаимодействии с внутренней поверхностью бриллианта, образуются пучки, выходящие из короны бриллианта (Рис. 14). Их количество равно 424.

Если после деления все световые пучки в виде их сечений можно собрать на месте геометрической тени и непрерывно заполнить ее, то сечения вышедших пучков накладываются друг на друга (Рис. 15). На рисунке темно-синим цветом выведены пучки, отраженные от бриллианта, а синим цветом пучки, вышедшие из его короны. Наложение сечений частично нарушает симметрию диаграммы вышедших пучков. На рисунке 16 представлена диаграмма контуров сечений вышедших световых пучков, полученная после нажатия клавиши “5”. Не-



трудно убедиться, что симметрия сохраняется, но данная диаграмма в сравнении с диаграммой, представленной на рисунке 15, менее информативна.

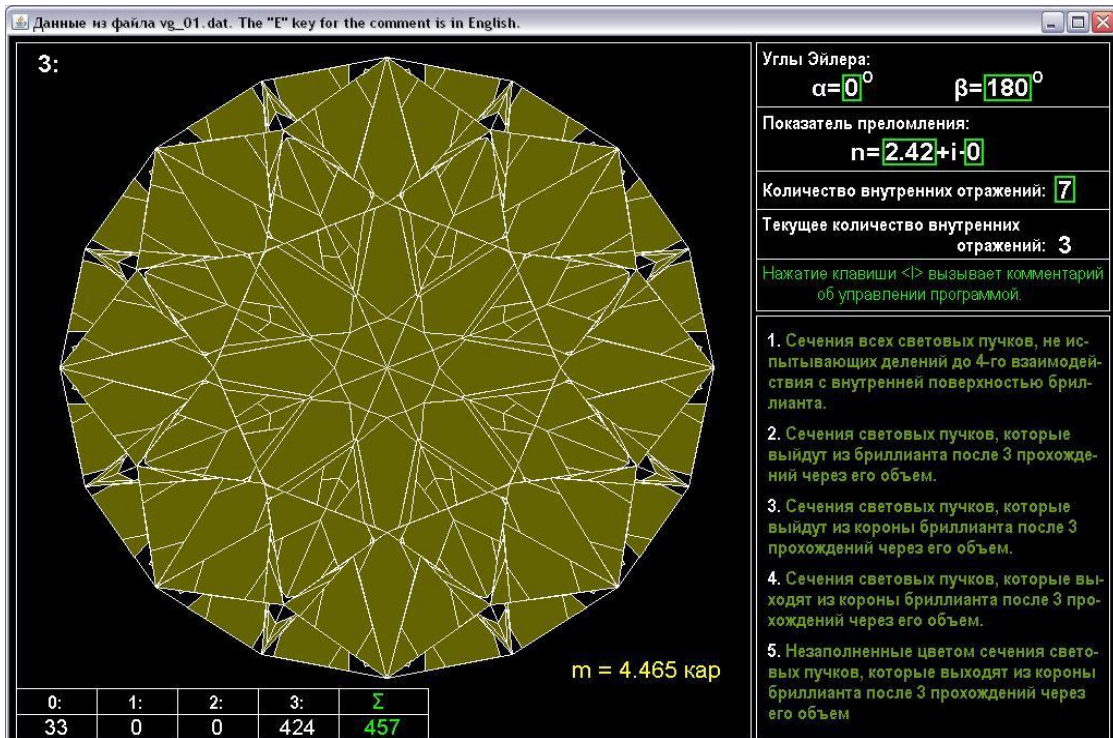


Рис.14. Сечения световых пучков, которые выйдут из короны бриллианта после одного преломления, двух отражений и еще одного преломления.

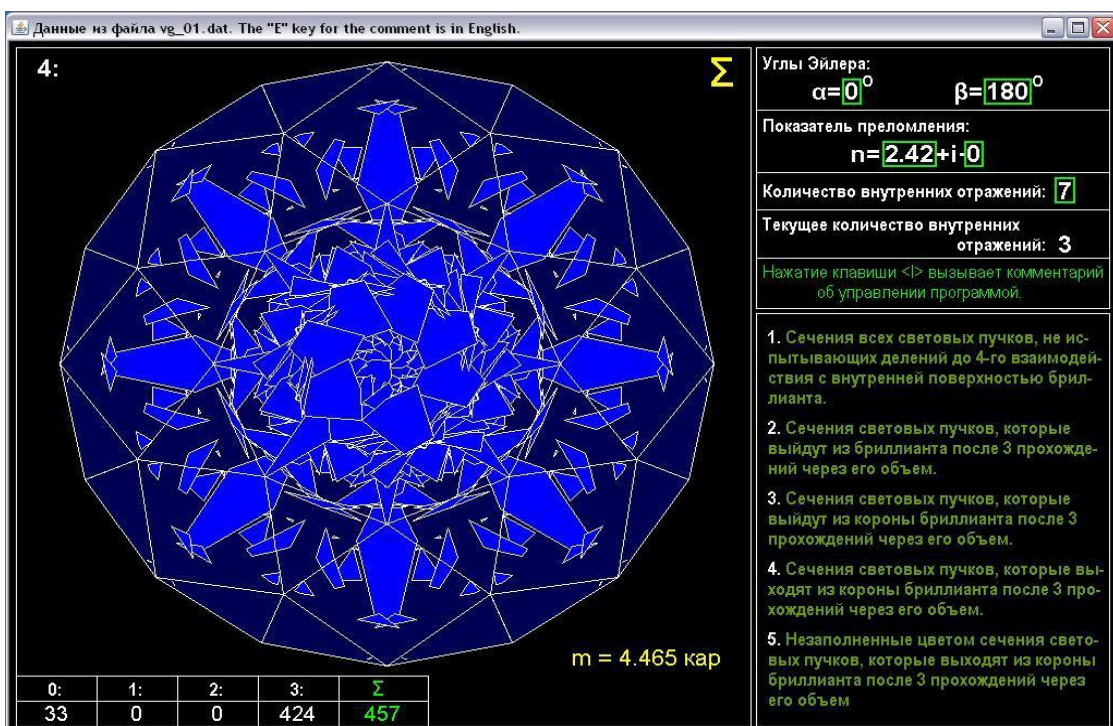


Рис.15. Сечения отраженных и вышедших из короны бриллианта световых пучков после 3-х делений и 3-х взаимодействий с его гранями.

Каждый световой пучок в дальней зоне преобразуется в сферическую волну. Для видимой части оптического диапазона дальней зоной можно считать и 1 метр и даже 10 см, т.к. эти расстояния в тысячи раз больше длины волны. Каждая сферическая волна имеет амплитудный множитель, описывающий степень локализации интенсивности поля вблизи направления выхода пучка из грани бриллианта. Степенью локализации может служить ширина основного лепестка диаграммы рассеяния пучка на уровне половинной пиковой интенсивности. Например, если радиус описанной окружности вокруг правильного восьмиугольного сечения пучка  $R=3\text{мм}$ , то при длине волны  $\lambda=0.55\text{ мкм}$  ширина лепестка  $\Delta\theta\sim 0.0057^\circ$ , если  $R=0.3\text{мм}$ , то  $\Delta\theta\sim 0.057^\circ$ , и  $\Delta\theta\sim 0.57^\circ$  при  $R=0.03\text{мм}$ . Таким образом, переносимая световым пучком интенсивность локализуется около направления его выхода из кристалла, а в самом направлении интенсивность достигает своего пикового значения [2,3].

Пучковая концепция дает простое объяснение игры света в бриллианте. При изменении угла зрения светятся разные участки бриллианта потому, что при разных углах наблюдения вклад в общую интенсивность дают разные пучки, которые выходят из разных частей его объема и под разными углами.

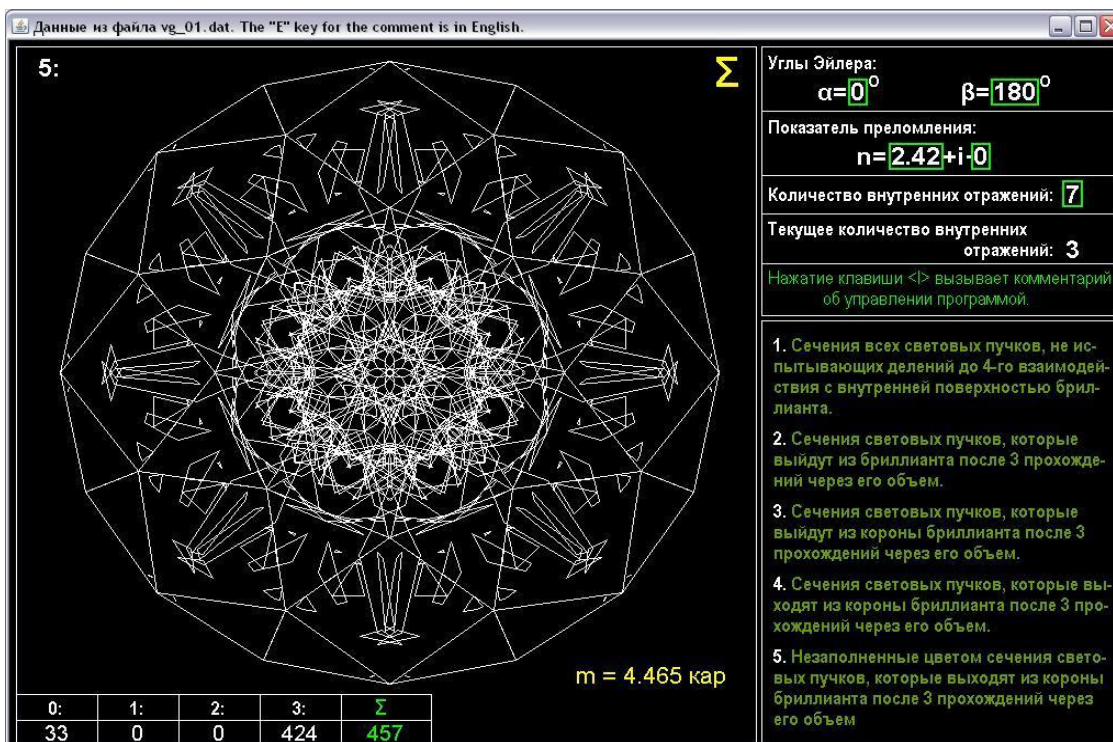


Рис.16. Проверка симметричности диаграммы световых сечений пучков, вышедших из короны бриллианта.

После 6-го деления образуется 2400 пучков (Рис. 17). Их сечения вписываются в геометрическую тень на месте сечений 1712 пучков, не



пересекая их границы, а образуя новые.

На рисунке 18 представлены сечения всех световых пучков, вышедших из короны бриллианта, до текущего 6-го взаимодействия с внутренней границей раздела. К имеющимся 424 сечениям добавлено еще 160 и 1168 сечений (Рис.18). В итоге сечения почти полностью заполняют корону бриллианта.

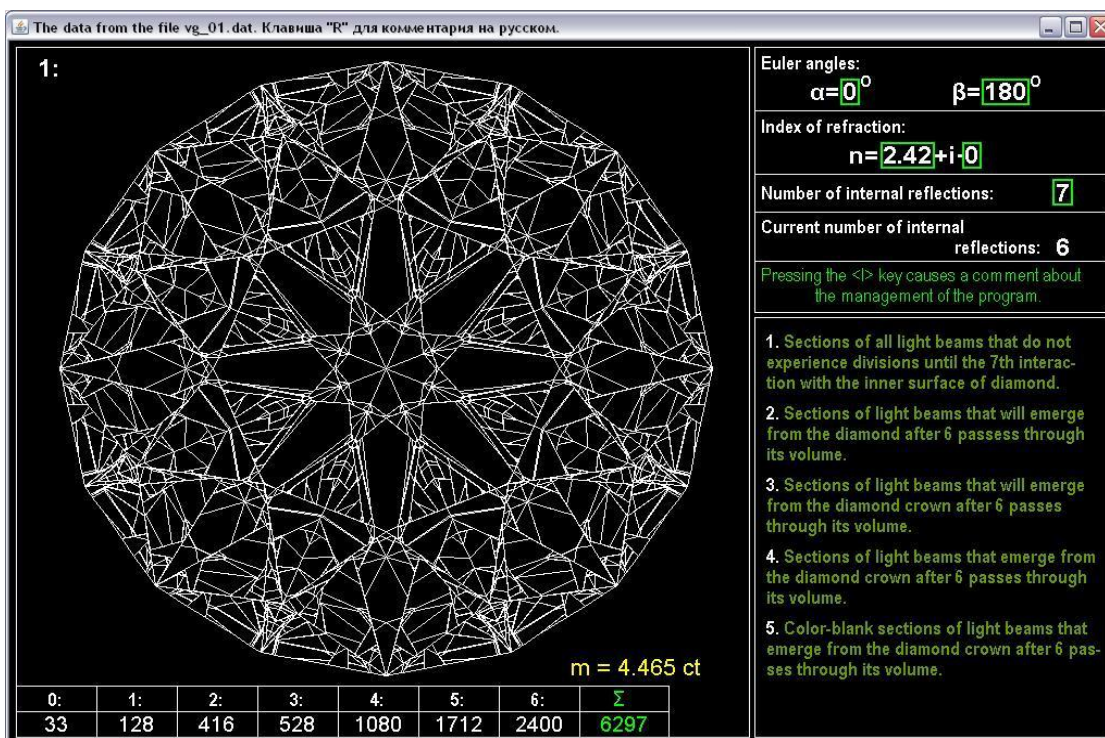


Рис.17. Сечения световых пучков, образующихся после 6-и делений в результате 6-и нажатий клавиши Enter.

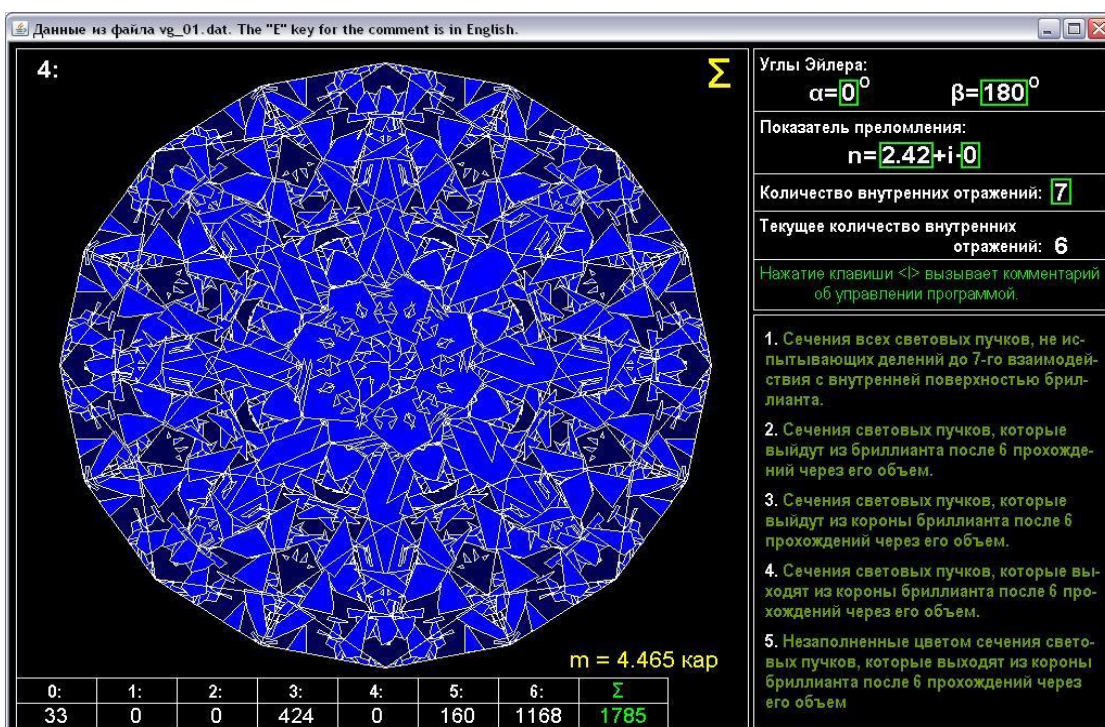


Рис.18. Сечения отраженных и вышедших из короны бриллианта световых пучков после 6-и делений и 6-и взаимодействий с границами разделов.

Программа допускает анализ образующихся сечений вышедших пучков при каждом взаимодействии с границей раздела отдельно от накопленной суммы (Рис.19). Для этого необходимо нажать клавишу "О". Перечеркнутый знак суммы в верхней части окна означает, что рассматриваются сечения вышедших световых пучков только при текущем взаимодействии с границей раздела. Количество таких пучков в данном случае равно 72. При повторном нажатии клавиши "О" программа переходит в режим суммирования вышедших световых пучков. В этом случае к представленной на рисунке 18 диаграмме добавится еще 72 пучка.

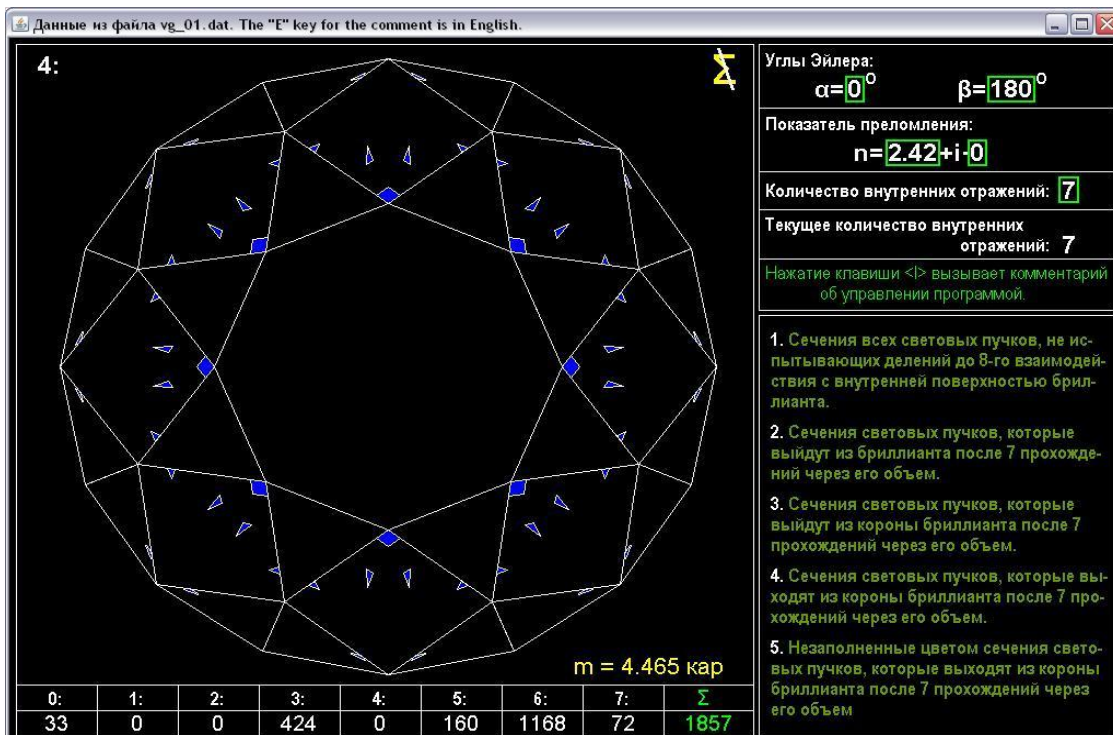


Рис.19. Иллюстрация возможности выделения из общей суммы световых пучков при текущем преломлении на гранях бриллианта.

Введем безразмерную характеристику для каждого  $j$ -го светового пучка:

$$g_j = \frac{k^2}{\pi} \cdot \left( \frac{1 + \cos \vartheta}{2} \right)^2 \cdot |I_j(\vartheta, \varphi)|^2 D_j \cdot e^{-2k\chi R_j} / S \quad (1)$$

Здесь величина  $D_j$  определена следующей формулой:

$$D_j = \frac{|a_{11,j}|^2 + |a_{12,j}|^2 + |a_{21,j}|^2 + |a_{22,j}|^2}{2}$$

В ней  $a_{11,j}$ ,  $a_{12,j}$ ,  $a_{21,j}$ ,  $a_{22,j}$  выражаются через комбинации коэффициентов Френеля и тригонометрические функции углов поворота

составляющих электромагнитных полей. Такой поворот обеспечивает преобразование составляющих полей так, чтобы одна из них лежала в плоскости падения пучка, другая была ей перпендикулярна.

Экспоненциальный множитель, как правило, близок к 1, но может и отличаться от нее при относительно больших значениях мнимой части  $\chi$  комплексного показателя преломления  $\tilde{n} = n + i\chi$ . Величина  $k = 2\pi/\lambda$  является волновым числом, а  $\lambda$  – длиной волны. Световые лучи, ограничивающие пучок, внутри объема проходят различные пути, поэтому плоскости равных фаз и равных амплитуд не совпадают. Однако показатель экспоненты в плоскости равных фаз изменяется по линейному закону. В итоге  $R$  – некоторое среднее значение пути в кристалле для всех лучей, принадлежащих  $j$ -у пучку.

Функция  $I_j(\vartheta, \varphi)$  определяет диаграмму рассеяния  $j$ -го светового пучка и является интегралом Фраунгофера фазовой функции по его сечению.

$$I_j(\vartheta, \varphi) = \iint_{S_j} e^{-ik \sin \vartheta \cos \varphi \cdot x - ik \sin \vartheta \sin \varphi \cdot y} dx dy \quad (2)$$

Для сечений световых пучков, представленных на рисунках 15, 18 и 19 необходимо найти проекции на плоскости, перпендикулярные направлениям их распространения. Величина  $S_j$  является такой проекцией.

В выражении (2)  $\vartheta$  и  $\varphi$  - углы локальной сферической системы координат, связанной с направлением распространения  $j$ -го пучка. Угол  $\vartheta$  отсчитывается от направления распространения светового пучка, а  $\varphi$  является азимутальным углом. Координаты  $x$  и  $y$  связаны с сечением пучка, по которому проводится интегрирование.

Интеграл (2) по многоугольному сечению может быть найден в аналитическом виде. Однако в данном случае для сравнительного анализа различных вариантов круглой формы бриллианта интерес представляет исследование суммы пиковых интенсивностей всех световых пучков, вышедших из его короны.

Введем обозначение:  $g_j|_{\vartheta=0} = G_j$ . Тогда пиковая интенсивность  $j$ -го светового пучка определяется следующей формулой:

$$G_j = \frac{k^2}{\pi \cdot S} \cdot S_j^2 \cdot D_j \cdot e^{-2k\chi R_j} \quad (3)$$

Здесь и в формуле (1) величина  $S$  определяет площадь геометрической тени. Если световой пучок распространяется в обратном



направлении, то формула (3) автоматически переходит в фактор эффективности обратного рассеяния. Во всех остальных случаях это просто удобная для анализа безразмерная величина.

Данные из файла vg\_01.dat. The "E" key for the comment is in English.

Таблица: Распределение нормированных пиковых интенсивностей по углам и месту выхода световых пучков из короны бриллианта.

| $(x_0, y_0)$ $\theta^\circ$ | [0, 10)                   | [10, 20) | [20, 30) | [30, 40) | [40, 50) | [50, 60)                  | [60, 70)                  | [70, 80) | [80, 90)                   | $\geq 90$ | $\sum_i$                   |
|-----------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------------|----------|----------------------------|-----------|----------------------------|
| $<0.05R_3$                  | $5.221 \cdot 10^7$<br>{1} |          |          |          |          |                           |                           |          |                            |           | $5.221 \cdot 10^7$<br>{1}  |
| [0.05, 0.15) $R_3$          |                           |          |          |          |          |                           |                           |          |                            |           |                            |
| [0.15, 0.25) $R_3$          |                           |          |          |          |          |                           |                           |          |                            |           |                            |
| [0.25, 0.35) $R_3$          |                           |          |          |          |          |                           |                           |          |                            |           |                            |
| [0.35, 0.45) $R_3$          |                           |          |          |          |          |                           |                           |          |                            |           |                            |
| [0.45, 0.55) $R_3$          |                           |          |          |          |          |                           |                           |          |                            |           |                            |
| [0.55, 0.65) $R_3$          |                           |          |          |          |          | $3.130 \cdot 10^6$<br>{8} |                           |          |                            |           | $3.130 \cdot 10^6$<br>{8}  |
| [0.65, 0.75) $R_3$          |                           |          |          |          |          |                           |                           |          |                            |           |                            |
| [0.75, 0.85) $R_3$          |                           |          |          |          |          |                           | $1.491 \cdot 10^7$<br>{8} |          |                            |           | $1.491 \cdot 10^7$<br>{8}  |
| [0.85, 0.95) $R_3$          |                           |          |          |          |          |                           |                           |          | $1.500 \cdot 10^6$<br>{16} |           | $1.500 \cdot 10^6$<br>{16} |
| $\geq 0.95R_3$              |                           |          |          |          |          |                           |                           |          |                            |           |                            |
| $\sum_i$                    | $5.221 \cdot 10^7$<br>{1} |          |          |          |          | $3.130 \cdot 10^6$<br>{8} | $1.491 \cdot 10^7$<br>{8} |          | $1.500 \cdot 10^6$<br>{16} |           | $7.175 \cdot 10^7$<br>{33} |

Количество реализованных внутренних отражений: ReT=7;    Параметр для просмотра всех таблиц: U=0; ( $0 \leq U \leq \text{ReT}$ )

Рис.20. Пиковые нормированные интенсивности 33-х световых пучков, отраженных от поверхности бриллианта.

Данные из файла vg\_01.dat. The "E" key for the comment is in English.

Таблица: Распределение нормированных пиковых интенсивностей по углам и месту выхода световых пучков из короны бриллианта.

| $(x_0, y_0)$ $\theta^\circ$ | [0, 10)                       | [10, 20)                    | [20, 30)                    | [30, 40)                    | [40, 50)                      | [50, 60)                      | [60, 70)                      | [70, 80)                   | [80, 90)                      | $\geq 90$                  | $\sum_i$                     |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| $<0.05R_3$                  | $5.221 \cdot 10^7$<br>{1}     |                             |                             |                             |                               |                               |                               |                            |                               |                            | $5.221 \cdot 10^7$<br>{1}    |
| [0.05, 0.15) $R_3$          |                               |                             |                             |                             | $3.087 \cdot 10^4$<br>{16}    |                               |                               |                            |                               |                            | $3.087 \cdot 10^4$<br>{16}   |
| [0.15, 0.25) $R_3$          | $5.794 \cdot 10^6$<br>{8}     |                             | $5.297 \cdot 10^6$<br>{48}  |                             | $1.059 \cdot 10^6$<br>{32}    |                               |                               |                            |                               |                            | $1.215 \cdot 10^7$<br>{88}   |
| [0.25, 0.35) $R_3$          |                               | $1.440 \cdot 10^6$<br>{48}  | $1.886 \cdot 10^5$<br>{32}  | $9.899 \cdot 10^4$<br>{16}  | $7.910 \cdot 10^3$<br>{32}    | $1.256 \cdot 10^4$<br>{16}    |                               |                            |                               |                            | $1.748 \cdot 10^6$<br>{144}  |
| [0.35, 0.45) $R_3$          |                               |                             | $2.062 \cdot 10^3$<br>{16}  | $7.772 \cdot 10^5$<br>{40}  | $7.855 \cdot 10^2$<br>{16}    |                               |                               | $2.208 \cdot 10^1$<br>{16} |                               |                            | $7.801 \cdot 10^5$<br>{88}   |
| [0.45, 0.55) $R_3$          | $7.712 \cdot 10^1$<br>{8}     | $9.219 \cdot 10^3$<br>{48}  | $2.045 \cdot 10^4$<br>{32}  |                             | $8.246 \cdot 10^4$<br>{8}     | $3.625 \cdot 10^2$<br>{16}    | $1.999 \cdot 10^2$<br>{24}    | $3.702 \cdot 10^2$<br>{32} |                               |                            | $1.131 \cdot 10^5$<br>{168}  |
| [0.55, 0.65) $R_3$          | $5.910 \cdot 10^2$<br>{16}    | $1.065 \cdot 10^5$<br>{64}  | $3.103 \cdot 10^3$<br>{24}  | $1.837 \cdot 10^1$<br>{16}  | $5.327 \cdot 10^1$<br>{32}    | $3.130 \cdot 10^6$<br>{8}     | $6.704 \cdot 10^{-3}$<br>{16} | $1.708 \cdot 10^3$<br>{16} | $4.503 \cdot 10^1$<br>{8}     |                            | $3.242 \cdot 10^6$<br>{200}  |
| [0.65, 0.75) $R_3$          | $7.224 \cdot 10^3$<br>{16}    | $2.542 \cdot 10^6$<br>{72}  | $5.017 \cdot 10^4$<br>{48}  | $2.717 \cdot 10^4$<br>{32}  | $3.350 \cdot 10^3$<br>{16}    |                               |                               |                            | $3.281 \cdot 10^{-1}$<br>{16} | $2.762$<br>{32}            | $2.630 \cdot 10^6$<br>{232}  |
| [0.75, 0.85) $R_3$          | $3.503 \cdot 10^1$<br>{32}    | $2.256 \cdot 10^1$<br>{32}  | $2.415 \cdot 10^4$<br>{16}  | $4.001 \cdot 10^1$<br>{48}  | $1.919 \cdot 10^4$<br>{64}    | $5.136 \cdot 10^3$<br>{16}    | $1.494 \cdot 10^7$<br>{72}    |                            |                               | $3.249$<br>{16}            | $1.499 \cdot 10^7$<br>{296}  |
| [0.85, 0.95) $R_3$          | $5.172 \cdot 10^4$<br>{32}    | $3.171 \cdot 10^4$<br>{96}  | $6.191 \cdot 10^4$<br>{128} | $1.275 \cdot 10^3$<br>{16}  | $2.003 \cdot 10^2$<br>{32}    | $8.997 \cdot 10^2$<br>{32}    | $1.673 \cdot 10^{-1}$<br>{16} | $1.181 \cdot 10^2$<br>{16} | $1.502 \cdot 10^6$<br>{32}    |                            | $1.650 \cdot 10^6$<br>{384}  |
| $\geq 0.95R_3$              | $4.087 \cdot 10^{-1}$<br>{32} | $2.075 \cdot 10^3$<br>{32}  | $4.043 \cdot 10^2$<br>{32}  | $6.863 \cdot 10^1$<br>{48}  | $1.696 \cdot 10^{-2}$<br>{16} | $1.297 \cdot 10^{-1}$<br>{32} | $1.256 \cdot 10^{-1}$<br>{16} |                            |                               | $3.600 \cdot 10^2$<br>{32} | $2.909 \cdot 10^3$<br>{240}  |
| $\sum_i$                    | $5.806 \cdot 10^7$<br>{145}   | $4.131 \cdot 10^6$<br>{392} | $5.648 \cdot 10^6$<br>{376} | $9.048 \cdot 10^5$<br>{216} | $1.204 \cdot 10^6$<br>{264}   | $3.149 \cdot 10^6$<br>{104}   | $1.494 \cdot 10^7$<br>{144}   | $2.219 \cdot 10^3$<br>{80} | $1.502 \cdot 10^6$<br>{80}    | $3.660 \cdot 10^2$<br>{80} | $8.954 \cdot 10^7$<br>{1857} |

Количество реализованных внутренних отражений: ReT=7;    Параметр для просмотра всех таблиц: U=7; ( $0 \leq U \leq \text{ReT}$ )

Рис.21. Пиковые нормированные интенсивности световых пучков, отраженных и вышедших из короны бриллианта.



Теперь остается усреднить функцию  $k^2 \cdot e^{-2k\chi R_j}$  на отрезке  $[k_1, k_2]$  для видимой части оптического диапазона. Значениям  $k_1$  и  $k_2$  соответствуют длины волн  $\lambda_1 = 0.77 \mu\text{м}$  и  $\lambda_2 = 0.39 \mu\text{м}$ .

После нажатия клавиши “F1” в окно программы выводится таблица с нормированными пиковыми интенсивностями. К таблице на рисунке 20 можно перейти сразу после загрузки программы. В ней обработаны только световые пучки, отраженные от короны бриллианта. На рисунке 21 к имеющимся ранее интенсивностям добавлены данные для световых пучков, вышедших из бриллианта. После нажатия клавиши “O” из суммы интенсивностей выделяются те, которые получены при текущем взаимодействии световых пучков с внутренней поверхностью бриллианта. При повторном нажатии клавиши “O” в таблицу вновь выводится сумма интенсивностей. Программа допускает просмотр промежуточных таблиц с помощью нажатия клавиши “Left” и “Right”.

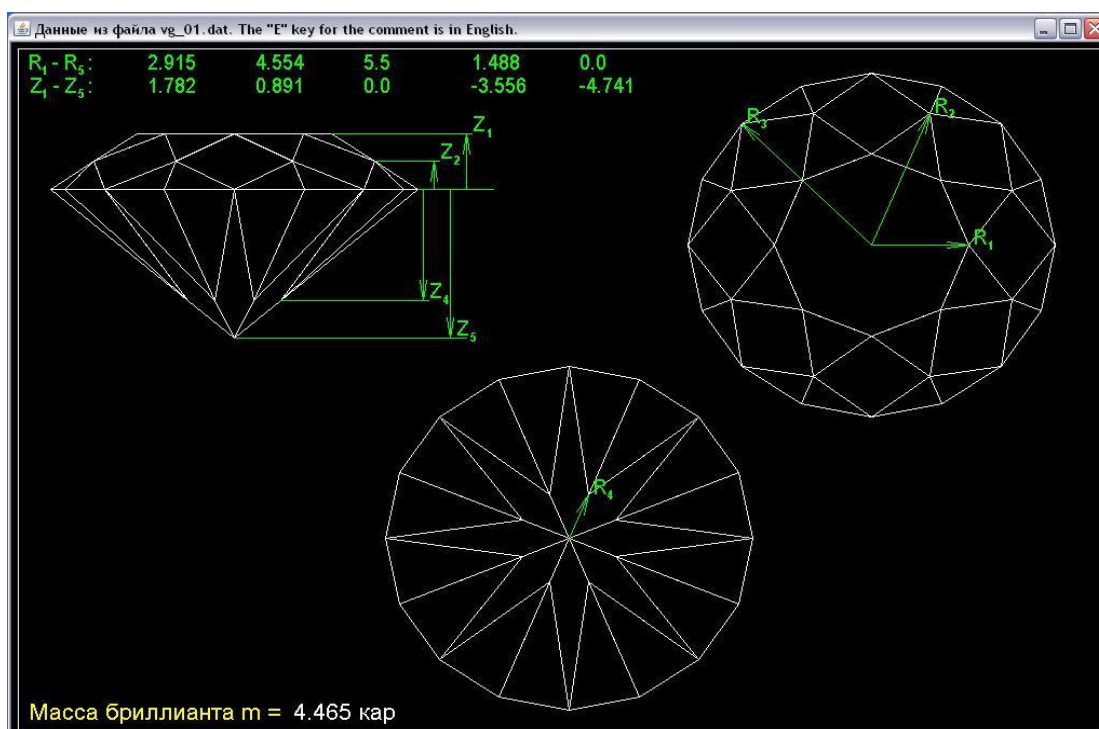


Рис.22. Вариант идеальной формы бриллианта.

К содержимому окна, представленного на рисунке 22, можно перейти после нажатия клавиши “Home”. Здесь приводятся основные размеры бриллианта идеальной формы. Для перехода к другому варианту бриллианта круглой формы, представленной на рисунке 23, достаточно нажать клавишу “Page Down”. В этом случае информация считывается из другого файла. Чтобы вернуться к предыдущему файлу, необходимо нажать клавишу “Page Up”.

Для идеальной формы основной размер  $R_3$  связан определенными пропорциями с размерами  $R_1$ ,  $Z_1$  и  $Z_5$  [1]. Подобная форма обеспечивает 2 полных внутренних отражений (Рис. 15), при которых вся световая энергия собирается внутри бриллианта. При третьем взаимодействии с внутренней поверхностью бриллианта световые пучки выходят из его короны. Считается, что эта форма обеспечивает лучшую игру света.

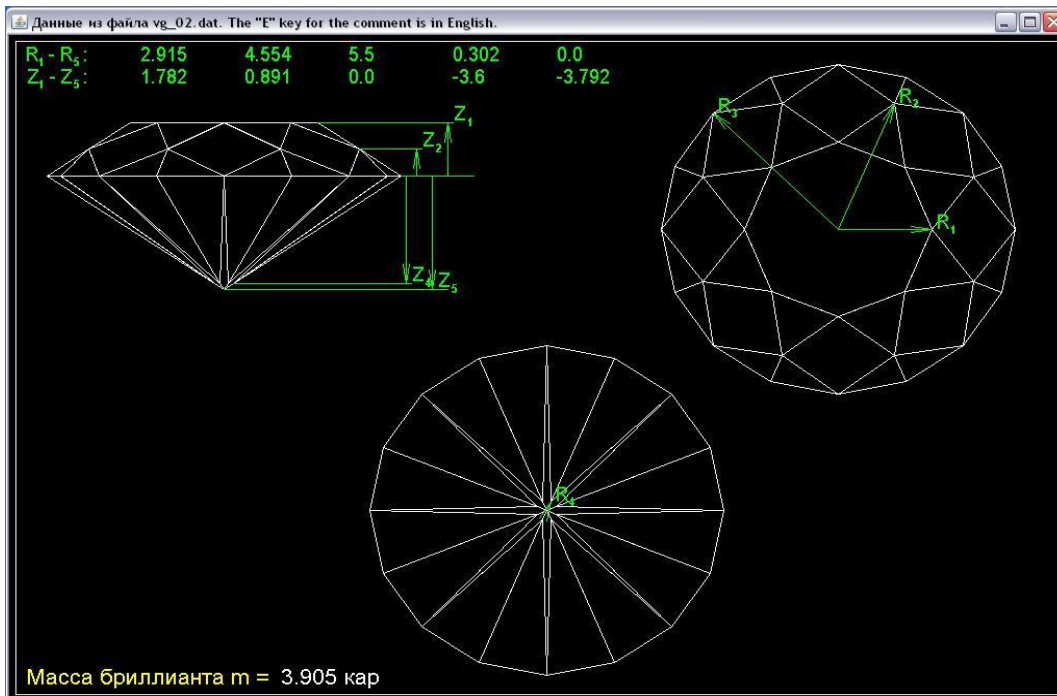


Рис.23. Вариант формы бриллианта с уменьшенным павильоном.

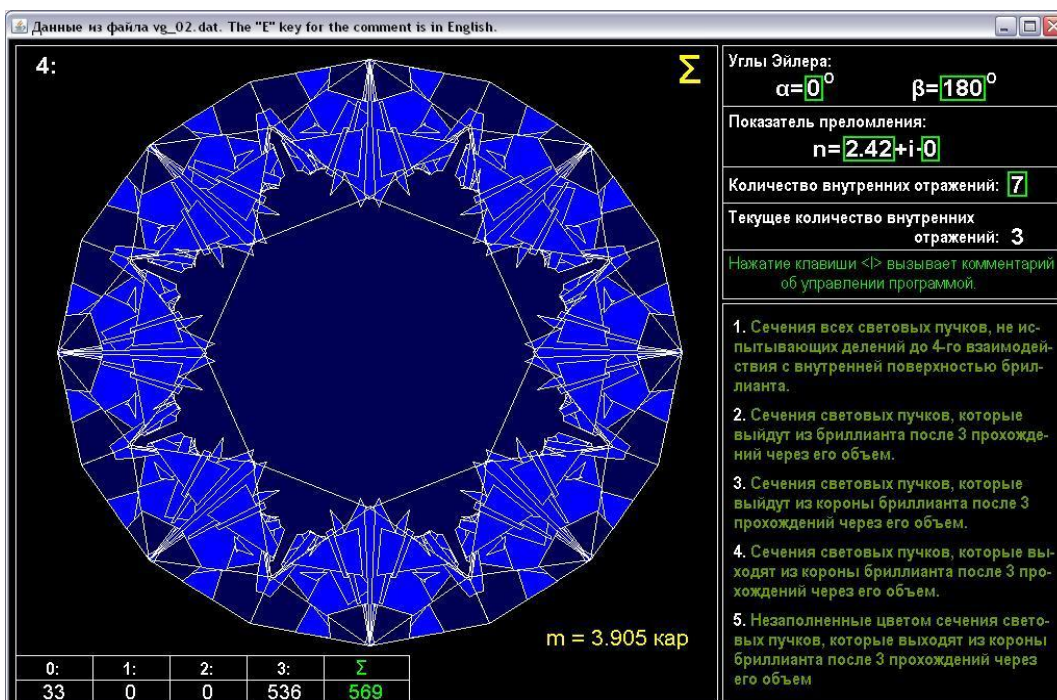


Рис.24. Изменение локализации вышедших световых пучков в сравнении с идеальной формой бриллианта.

Для формы с уменьшенным павильоном световые пучки тоже выходят из короны бриллианта после 2 полных внутренних отражений, но не из его центральной части (Рис. 24).

Центральная часть короны заполняется сечениями световых пучков не сразу, а после 5 и 6 их взаимодействий с внутренней поверхностью бриллианта (Рис. 25).

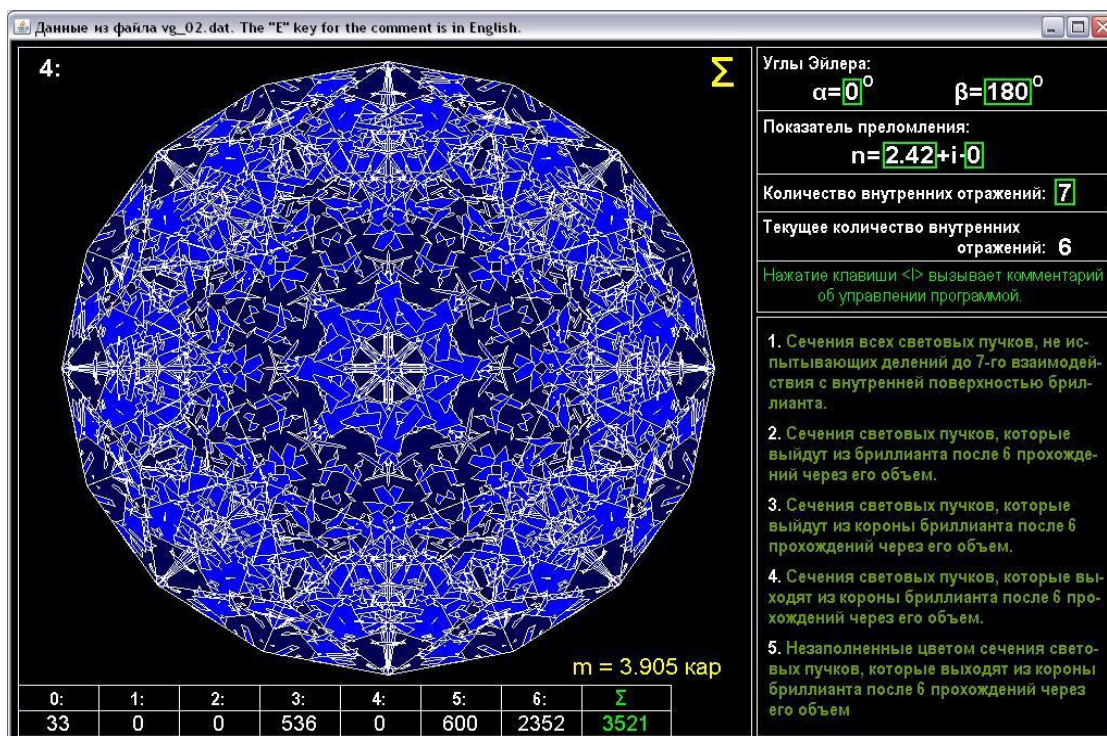


Рис.25. Увеличение количества пучков в сравнении с идеальной формой бриллианта.

Предложенный комплекс программ предоставляет возможность провести сравнительное исследование различных имеющихся вариантов круглой формы бриллианта, также найти новые варианты.

## Литература

1. Кузнецов В.С. Параметры огранки алмазов и их влияние на стоимость бриллиантов. "Неделя горняка – 2003", семинар 6.
2. Попов А.А. Разработка и исследование вычислительных методов для некоторых классов прикладных задач электродинамики. Автореферат дис...доктора физико-математических наук./ Томск. ун-т. Томск, 1992
3. Popov A.A. A new method for calculating the characteristics of light scattering by a spatially-oriented atmospheric crystals. В сборнике: Proceedings of SPIE – The international Society for Optical Engineering. Сер. "Mathematical Methods in Geophysical Imaging IV. 1996. С. 186-194.