

При описании геометрии используется декартова система координат. Расположение начала системы координат и ориентация осей в пространстве может быть выбрана произвольно, наиболее удобно для пользователя. Эту систему координат далее будем называть *глобальной*. Отдельные элементы при задании многоуровневой (сложной) геометрии могут быть описаны в *локальных* системах координат, отличающихся от глобальной системы точкой начала координат.

В геометрическом модуле используется комбинаторный способ задания геометрии с помощью тел. Простейшими геометрическими областями являются так называемые *тела*: шары, параллелепипеды, цилиндры и так далее. Каждое тело имеет тип и параметры, описывающие конкретные размеры тела и его положение в пространстве. При описании конкретной системы используется конечное число тел, к которым применяются три операции теории множеств: дополнение, пересечение и объединение. Это позволяет строить достаточно сложные формы.

Конечная область пространства, в которой производится расчёт, называется *контейнером системы*. На поверхности контейнера должны быть заданы граничные условия, то есть определена реакция геометрического модуля на вылет частицы из контейнера. Считается, что вся внешняя граница может быть разбита на несколько поверхностей, и в пределах одной поверхности установлено одно граничное условие. Типичными граничными условиями являются: трансляция, зеркальное отражение, белое отражение, утечка и так далее. Расчёт всегда осуществляется в конечной области пространства. При необходимости выполнить расчёт в бесконечной области, вычисления ведутся в конечной части области, а бесконечность описывается с помощью граничных условий зеркальной симметрии или трансляции (переноса).

Контейнер системы разбивается на конечное число областей, называемых *геометрическими зонами* или просто зонами. Геометрические зоны строятся из тел с помощью вышеупомянутых операций. Любая точка системы входит *только* в одну геометрическую зону (исключением являются точки границ зон). Геометрическая зона считается гомогенной, то есть, однородной по своим свойствам. В частности, это означает, что любая зона состоит из одного материала.

Каждой геометрической зоне присваивается номер соответствующего материала, называемый *материальным номером*. Под *материальной зоной* понимается совокупность всех точек с одним материалом. Очевидно, что материальная зона составляется как набор геометрических зон, взятых целиком. Отдельные части материальной зоны могут не иметь общих границ.

Для работы регистрационного модуля контейнер системы разбивается на два независимых набора областей, называемых *регистрационными зонами* и *регистрационными объектами*. Любые регистрационная зона или регистрационный объект составлены из одной или нескольких геометрических зон, и каждая геометрическая зона входит в одну регистрационную зону, а также в один регистрационный объект. Номер регистрационной зоны, к которой принадлежит данная геометрическая зона, называется её *регистрационным номером*, а номер соответствующего регистрационного объекта – *объектным номером*.

Таким образом, описать геометрию системы – это значит задать:

- все геометрические зоны, в совокупности составляющие всю систему;
- соответствие материальных, регистрационных и объектных номеров геометрическим зонам;
- граничные условия на внешней поверхности системы.

Описание данных для задания геометрии на языке NCGSIM представляет собой последовательность строк текстового файла, заканчивающуюся строкой с символами FINISH в первых 6 позициях. Ввод и обработка фрагмента с данными для модуля производится программными средствами стандартного ввода. Описание простой системы состоит из последовательности предложений. Некоторые предложения объединены в секции. Порядок секций строго фиксирован и дан в следующей схеме:

ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ

<заголовок>

<секция граничных условий>

<секция тел>

<секция зон>

[<таблица объёмов регистрационных зон>]

FINISH

Заголовок

Заголовок состоит из одного предложения:

HEAD [<целое число 1>[<целое число 2>[<целое число 3>]]]

HEAD – обязательная метка-заголовок.

<целое число 1> – принимает значения 0,1,2,3,4 (значение по умолчанию – 1):

0 – отсутствие печати на вводе;

1 – печать вводимых строк;

2 – то же, что 1 и остановка после ввода;

3 – то же, что 1 и печатаются таблицы тел и зон в памяти;

4 – то же, что 3 и остановка после ввода.

<целое число 2> – отвечает за управление трассировкой (значение по умолчанию – 0), если обозначить это число как N , то при:

$N=0$ – отсутствие трассировки;

$N>0$ – выдача первых N точек трассировки, затем трассировка выключается;

$N=-1$ – трассировка на все время моделирования;

$N<-1$ – выдача $-Nt$ первых точек трассировки, затем происходит остановка задачи.

<целое число 3> – задаёт количество дополнительных позиций, отводимых под списки поиска (значение по умолчанию равно 400). Если при счёте возникает диагностика «NO PLACE FOR LIST», то для ускорения счёта можно увеличить это значение. На результатах расчёта это изменение не отражается.

Секция граничных условий

Секция граничных условий состоит в задании контейнера, в котором определены тела системы, и условий на поверхностях этого контейнера. Есть два способа определения контейнера. Первый способ состоит в описании плоскостей симметрии, каждая из которых задана предложением вида:

MIR P Q

P – вектор, Q – скаляр. Компоненты P и Q – явно заданные константы или имена констант. Разделителями служат пробелы или запятые. Плоскость симметрии имеет уравнение: $(P,x)+Q=0$. Вектор P направлен внутрь контейнера. Плоскости симметрии задают ограниченный многоугольник, который и является контейнером системы. Строка с меткой "END" должна завершать секцию граничных условий.

ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ

Пример: Контейнер – это конечная призма, которая пересекается плоскостью OXY по треугольнику с вершинами $(0,0,0)$, $(1,0,0)$, $(0,1,0)$, и имеет основания $\{z=0\}$ и $\{z=1\}$.

```
MIR 1,0,0 0
MIR 0,1,0 0
MIR -1,-1,0 1
MIR 0,0,1 0
MIR 0,0,-1 1
END
```

Второй способ – контейнером служит первое тело в секции описания тел. В качестве контейнера можно использовать тела: SPH, RPP, HEX, RCZ, BOX (более подробно изложено в описании секции тел). Тогда контейнер задаётся одним предложением:

```
CONT <список граничных условий> [S<угол>[<угол>]] PRS<угол>[<угол>]]
```

<список граничных условий> состоит из столькох фрагментов, сколько есть граничных поверхностей тела, служащего контейнером. Каждый фрагмент имеет структуру:

В или W[<вероятность>] или M[(<вероятность>)] или C[<вероятность>] или T

<вероятность> – действительное число из интервала $(0,1)$, задающее вероятность отражения. В противном случае происходит поглощение. Если вероятность не задана, всегда происходит отражение.

В – черная граница (все вылетающие частицы поглощаются);

W – белое отражение, соответствующее гипотезе, что поток на границе изотропен по направлениям, а градиент потока перпендикулярен нормали, в скобках может быть указана вероятность отражения, если часть частиц отражается.

M – зеркальное отражение, в скобках может быть указана вероятность отражения, если часть частиц поглощается.

C – белое цилиндрическое отражение, допустимое на боковой поверхности вертикального цилиндра, z -компонента направления полета не меняется, x и y -компоненты соответствуют изотропному в плоскости XY потоку с градиентом, перпендикулярным внутренней нормали. Для отражённых частиц синус угла между направлением и внутренней нормалью равномерно распределён на $[-1,1]$. В скобках может быть указана вероятность отражения, если часть частиц поглощается.

T – трансляционная симметрия. Такая симметрия может быть задана на всех гранях тел RPP, BOX, HEX и на верхней и нижней гранях RCZ. Эта симметрия должна быть задана согласованно на противоположных гранях. Трансляционная симметрия допускается на боковой поверхности RCZ, если ось цилиндра совпадает с осью OZ , и на поверхности шара, если центр шара расположен в начале координат. В первом случае граничная точка (a,b,c) переходит в точку $(-a,-b,c)$, а во втором – в точку $(-a,-b,-c)$.

Фрагменты задаются в порядке нумерации граней, приведённом в секции описания тел.

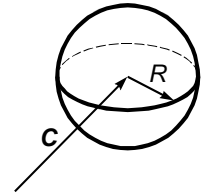
ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ

Секция тел

В языке NCG тело кодируется с помощью трёх- или четырёхсимвольного ключа, обозначающего тип тела, и набора числовых параметров. Параметры тела должны задаваться в том порядке, в котором они перечисляются в настоящем параграфе. После ключа в скобках дано однобуквенное обозначение тела, которое используется только при печати таблицы тел. Если тело используется как контейнер, то на его границах задаются граничные условия. Граница тела делится на составляющие её поверхности, нумеруемые целыми числами 1, 2, ... Для каждого типа тела дано разбиение границы на поверхности и их нумерация. Тела могут быть следующие (в настоящем учебном материале все возможные тела не представлены):

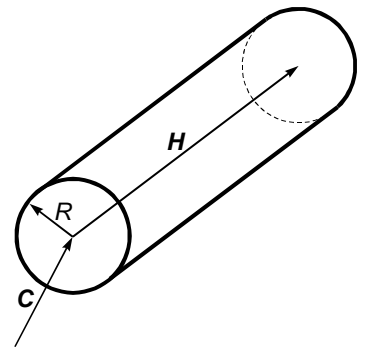
Шар.

Обозначение – SPH (S). Параметры: C – радиус-вектор центра; а R – радиус шара. Вся граница представляет одну поверхность.



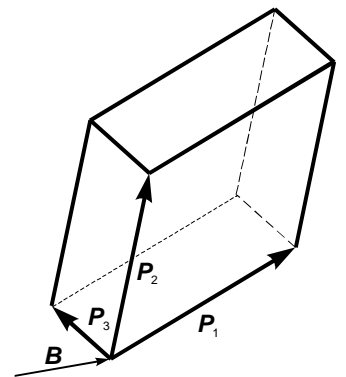
Правильный круговой цилиндр.

Обозначение – RCC (C). Параметры: C – радиус-вектор центра одного нижнего основания; H – вектор, соединяющий центр нижнего основания с центром другого основания; R – радиус цилиндра. Поверхности: нижнее основание (номер 1), верхнее основание (2), боковая поверхность (3).



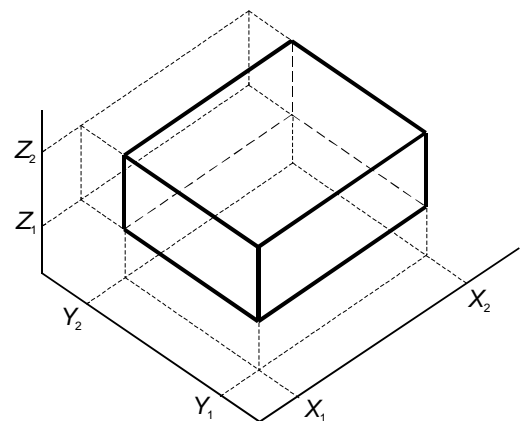
Произвольный параллелепипед.

Обозначение – BOX (B). Параметры: B – радиус-вектор вершины параллелепипеда; P_1, P_2, P_3 – векторы, совпадающие по направлениям и длинам с тремя ребрами, идущими из B . Поверхностями служат 6 граней тела, перечисляемые по порядку номеров: грань, содержащая P_1 и P_2 (номер 1); противоположная грань (2); грань с P_2 и P_3 (3); грань с P_1 и P_3 (4); грань, противоположная третьей (5); грань, противоположная четвёртой (6).



Параллелепипед с ребрами, параллельными осям координат.

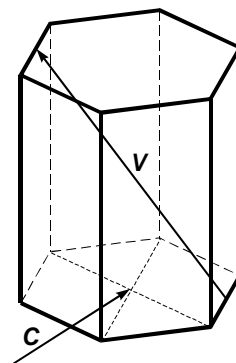
Обозначение – RPP (P). Параметры: $X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2$ ($X_1 < X_2, Y_1 < Y_2, Z_1 < Z_2$); тело задано неравенствами $X_1 < x < X_2, Y_1 < y < Y_2, Z_1 < z < Z_2$. Поверхностями служат 6 граней тела, перечисляемые по порядку: ($z=Z_1$), ($z=Z_2$), ($x=X_1$), ($y=Y_1$), ($X=X_2$), ($Y=Y_2$).



ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ

Правильная шестиугольная призма с образующей, параллельной оси OZ .

Обозначение – **HEX** (**H**). Параметры: **C** – радиус-вектор центра нижнего основания; **V** – вектор, соединяющий середину ребра нижнего основания с серединой противоположного ребра верхнего основания (3-я координата **V** есть высота призмы; первые 2 координаты **V** задают размер шестиугольника "под ключ" и его поворот в плоскости X, Y). Поверхностями служат 8 граней тела, перечисляемые по порядку: нижнее основание; верхнее основание; боковая грань, из которой выходит вектор **V**; далее идут последовательно грани, полученные из третьей поворотами против часовой стрелки вокруг оси OZ соответственно на 60, 120, 180, 240 и 300 градусов.



Первая альтернативная форма.

Обозначение – **HEXX**. Параметры: **C** – центр нижнего основания; **H** – высота; **D** – размер под ключ; **f** – угол поворота относительно оси OX в градусах, является не обязательным параметром, по умолчанию равен 0. Параметрам **H, D, f** соответствует вектор **V** с координатами $(D \cos f, D \sin f, H)$. Поверхности определяются так же, как в случае **HEX**.

Вторая альтернативная форма.

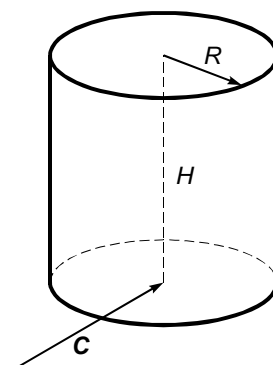
Обозначение – **HEXY**. Параметры те же, что и в предыдущем случае, но тело повернуто на 90 градусов против часовой стрелки. Угол **f** отсчитывается от оси OY . Вектор **V** имеет координаты $(-D \sin f, D \cos f, H)$. Поверхности определяются так же, как в случае **HEX**.

Правильная шестигранная призма с осью, совпадающей с OZ , центр нижнего основания в начале координат.

Обозначение – **SHEX(I)**. Параметры: **S** – размер под ключ, **H** – высота, **f** – угол поворота относительно оси OX в градусах, необязательный параметр. Параметрам **H, D, f** соответствует вектор **V** с координатами $(D \cos f, D \sin f, H)$. Если необязательный параметр **f** опущен, то две боковых грани параллельны плоскости OYZ . Нумерация граней такая же, как и в теле **HEX**. Отличие тела **SBOX** от тела **SHEX** помимо формы: начало координат у тела **SHEX** находится в центре шестигранника, а у тела **SBOX** – в углу параллелепипеда.

Прямой круговой цилиндр с образующей, параллельной оси OZ .

Обозначение – **RCZ** (**Z**). Параметры: **C** – радиус-вектор центра нижнего основания, $H > 0$ – высота, а **R** – радиус цилиндра. Поверхности: нижнее основание (номер 1), верхнее основание (2), боковая поверхность (2).



Бесконечный цилиндр, ориентированный по оси X, Y или Z .

Обозначение соответствует ориентации по оси – **UCX(x)**, **UCY(y)**, **UCZ(z)**. Параметры для **UCX**: **Y, Z** – координаты пересечения оси с плоскостью OYZ ; **R** – радиус. Параметры для **UCY**: **X, Z, R**, а для **UCZ**: **X, Y, R**, где первые два параметра задают координаты оси цилиндра. Поверхность одна.

Каждое тело описывается одним предложением вида:

<метка> <имя тела> <параметры>

- <метка> – определяет тип одного из вышеперечисленных тел в виде трёхсимвольного ключа.
- <имя тела> – служит для ссылок на него. Это есть идентификатор, состоящий не более чем 6 латинских букв и цифр, начинающийся с буквы. Вместо этого идентификатора мо-

ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ

жет стоять символ "*". В этом случае тело получает имя N<порядковый номер тела>. В качестве имени тела нельзя использовать идентификаторы U и T, которые имеют специальный смысл.

<параметры> – константы, включая числа или выражения по количеству параметров для данного типа тела. Разделителями служат пробелы или запятые (возможно, вместе с пробелами). Поэтому в выражениях не должно быть внутренних пробелов.

Раздел заканчивается специальной строкой, содержащей символы END в качестве метки предложения.

Пример:

```
RPP KOP1 -10,10 -10,10 0,h
RCZ * 0,0,0 h dout*0.5
RCZ tws 0,0,0 h din/2
END
```

Данный пример содержит описание трех различных тех. Первое тело – параллелепипед с ребрами, параллельными осям координат. Очевидно, что центр координат находится в центре нижнего основания параллелепипеда, представляющего собой квадрат со сторонами 20 см. Идентификатор (имя) первого тела – KOP1. Два других тела представляют собой прямой круговой цилиндр с образующей параллельной вертикальной оси. Центр нижнего основания обоих цилиндров находится в начале координат. Высоты всех трех тел, а также радиусы цилиндров заданы переменными и арифметическими выражениями. Необходимые переменные должны быть определены где-то ранее настоящего описания тел. Идентификатор третьего тела задан явно (tws). Второе тело по умолчанию получит идентификатор "N2".

Кроме прямого описания тела, его можно задать в виде результата ортогонального преобразования (сдвига, поворота, отражения) ранее описанного тела. Для такого описания служит предложение вида:

TRANSF <имя нового тела> <имя тела-прототипа> <тип преобразования> <параметры>

- | | |
|----------------------------|--|
| <имя нового тела> | – имя вновь образуемого тела, которое имеет ту же структуру, что и в прямом описании. |
| <имя тела-прототипа> | – имя тела, из которого будет образовано новое. Оно должно задаваться идентификатором из букв и цифр в явном виде. |
| <тип преобразования> | – буква M или R. |
| <параметры преобразования> | – три действительных числа, обозначим их A, B и f. Смысл этих чисел определяется типом преобразования. |

Тип преобразования M означает отражение от вертикальной плоскости, проходящей через точку (A, B, 0), причём её пересечение с плоскостью OXY образует с осью OX угол в f градусов. Угол отсчитывается от оси OX против часовой стрелки. Очевидно, что одну и ту же плоскость можно задать разными способами. Рекомендуется брать угол в диапазоне [-90, 90].

Тип преобразования R означает поворот тела против часовой стрелки на f градусов вокруг вертикальной оси, проходящей через точку с координатами (A, B, 0).

Тип тела при преобразовании не меняется. Тела RPP, SBOX, SHEX, PLX, PLY, UCX, UCY не могут служить телами-прототипами.

ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ

Секция зон

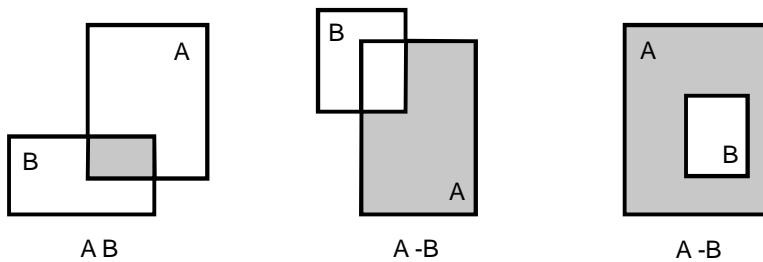
Для построения зон используются три известные операции теории множеств: дополнение, пересечение и объединение. Аргументами этих операций служат тела, которые являются трёхмерными областями.

Дополнение области определено как совокупность точек, не принадлежащих этой области. Считается, что все рассматриваемые области замкнуты, то есть содержат свои граничные точки, поэтому под дополнением понимается совокупность точек, не принадлежащих области, и её граничные точки. Таким образом, граничные точки относятся как к области, так и к её дополнению. Дополнение обозначается *знаком минус без пробела после него*.

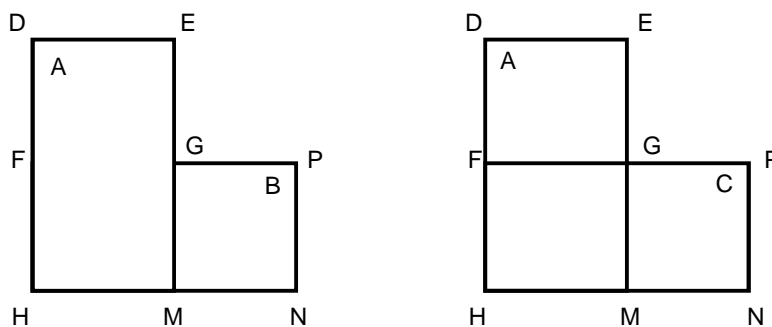
Пересечение двух и более областей определено как совокупность точек одновременно принадлежащих этим областям. Нет знака пересечения, символы областей просто разделяются **пробелами**. Знак пересечения отсутствует.

Объединение двух и более областей определено как совокупность точек, любая из которых принадлежит хотя бы одной из этих областей. Объединение обозначается *знаком U (заглавная латинская буква), окруженным пробелами*.

Операция дополнения считается старше операции пересечения, то есть выражения $A - B$ и $-B A$ понимаются одинаково: как пересечение A с дополнением области B . Операция пересечения старше операции объединения, то есть, $A U C D$ понимается как объединение A с пересечением C и D .



На рисунке заштрихованы $A B$ и $A - B$, соответственно. Выражение $A - B$ можно трактовать как разность: совокупность точек A , не входящих в B .



Если рассмотреть три прямоугольника $A - DEMH$; $B - GPNM$; $C - FPNH$, то объединения $A U B$ и $A U C$ эквивалентны друг другу, хотя фигуры B и C различны. С точки зрения быстродействия геометрического модуля при выполнении расчетов вариант $A U B$ более предпочтителен.

Комбинаторное описание позволяет строить достаточно сложные формы. При этом некоторые распространённые геометрические объекты приходится задавать не совсем привычным способом. Например, труба задаётся как пересечение цилиндра с внешним радиусом и дополнения ци-

ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ

линдра с внутренним радиусом. Часто оказывается удобным объединить в одну зону несколько областей, не имеющих общих точек, даже учитывая граничные точки.

Каждая зона описывается одним предложением следующего вида:

<имя зоны> [<тип поиска>] <имя тела> [<знак операции> <имя тела> [<знак операции> <имя тела> [...]]] <конечный фрагмент>

<имя зоны> – метка предложения, которая служит для ссылки на данную зону. Это любой идентификатор, являющийся последовательностью из не более, чем 6 латинских букв и цифр, начинающийся с буквы. Все имена зон должны быть различными.

<имя тела> – имя-идентификатор тела, описанного в секции тел, или дополнение к этому телу, если *<имя тела>* содержит в первой позиции знак минус. Если тело имеет имя N*<натуральное число>*, то можно использовать просто это число. В качестве первой ссылки на тело допускается 0 (ноль), означающий все пространство как область.

Пример: если секция тел описана, как в предыдущем примере

```
RPP KOP1 -10,10 -10,10 0,h  
RCZ * 0,0,0 h dout*0.5  
RCZ tws 0,0,0 h din/2  
END
```

то труба, образованная двумя цилиндрами, может быть описана двумя способами: N2 -tws или 2 -tws, а дополнение параллелепипеда KOP1 описывается так: 0 -KOP1

<знак операции> – определяет операцию объединения, которая обозначается буквой U, окруженной пробелами, или пересечения, которая обозначается пробелом или серией пробелов.

<конечный фрагмент> – имеет одну из трёх форм:

Форма 1: */<натуральное число 1>:<натуральное число 2>[/<натуральное число 3>]*

<натуральное число 1> – означает регистрационный номер данной зоны.

<натуральное число 2> – означает соответствующий материальный номер данной зоны.

<натуральное число 3> – означает объектный номер данной зоны. При отсутствии этого фрагмента объектный номер принимает умалчиваемое значение - один.

Форма 2: */<натуральное число 1>[/<натуральное число 3>]*

Такая форма употребляется, если данный регистрационный номер уже встречался, и, следовательно, соответствующий материальный номер уже определён. Если регистрационный номер встречался с разными материальными номерами, то выбирается последний из них.

Форма 3: */<идентификатор>*

<идентификатор> – означает тип условия, соответствующего пересечению границы этой зоны. Это обозначение специальной зоны, задающей краевые условия.

Раздел зон заканчивается предложением END.

ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ

Пример 1: Однородная по оси OZ модель ячейки сборки TRX. Ячейка – правильная шестигранная призма с замедлителем. В центре расположен цилиндрический стержень, состоящий из топлива и оболочки, между которыми есть тонкий зазор. Бесконечность вдоль оси OZ задаётся с помощью граничных условий трансляции на торцах призмы. Условие бесконечности решётки шестигранных ячеек задаётся с помощью условия зеркального отражения на боковых поверхностях призмы. Материальные номера имеют следующий смысл: 1 – топливо; 2 – замедлитель; 3 – материал оболочки; 4 – воздух.

```
HEAD 3 0
CONT T T M M M M M M
* секция тел, первое тело - контейнер.
HEX C 0,0,0 1.806,0,100
RCZ FU 0,0,0 100 0.4915
RCZ ZA 0,0,0 100 0.5042
RCZ CL 0,0,0 100 0.5753
END
* секция зон.
FUEL FU /1:1
SPACE ZA -FU /2:4
CLAD CL -ZA /3:3
WATR C -CL /4:2
END
FINISH
```

Пример 2: Геометрия аналогична примеру 1, но при условии, что придётся часто менять следующие параметры: r_t – радиус топливной таблетки, d_z – толщина воздушного зазора, r_c – радиус покрытия, $step$ – шаг решётки.

```
HEAD 3 0
CONT T T M M M M M M
EQU  $r_t=0.4915$ 
EQU  $d_z=0.0127$ 
EQU  $r_c=0.5753$ 
EQU  $step=1.806$ 
* тела.
HEX C 0,0,0  $step,0,100$ 
RCZ FU 0,0,0 100  $r_t$ 
RCZ ZA 0,0,0 100  $r_t+d_z$ 
RCZ CL 0,0,0 100  $r_c$ 
END
* зоны.
FUEL FU /1:1
SPACE ZA -FU /2:4
CLAD CL -ZA /3:3
WATR C -CL /4:2
END
FINISH
```