

## Задача 5

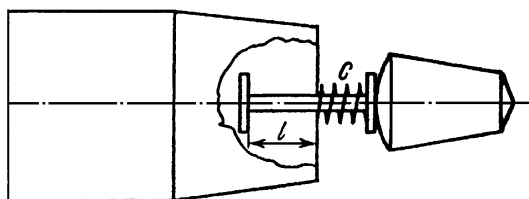
( Задача 9.66. Сборник задач по теоретической механике/ Под ред. К.С. Колесникова. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 320 с. )

Для отделения искусственного спутника Земли массы  $m$  от последней ступени ракеты-носителя массы  $M$  используется пружинный толкатель, рабочим элементом которого является пружина, коэффициент жесткости которой равен  $c$ .

Определить скорость  $Vr$  искусственного спутника Земли относительно ракеты-носителя после разделения, если ход штока толкателя равен  $l$  и по окончании движения толкателя пружина не напряжена. Разделение происходит в пустоте после окончания работы двигательной установки последней ступени.

Для решения задачи использовать следующие значения параметров:

$$m = 150 \text{ кг}, M = 1500 \text{ кг}, c = 10000 \text{ Н/м}, l = 0.2 \text{ м}, V_0 = 8000 \text{ м/с}.$$

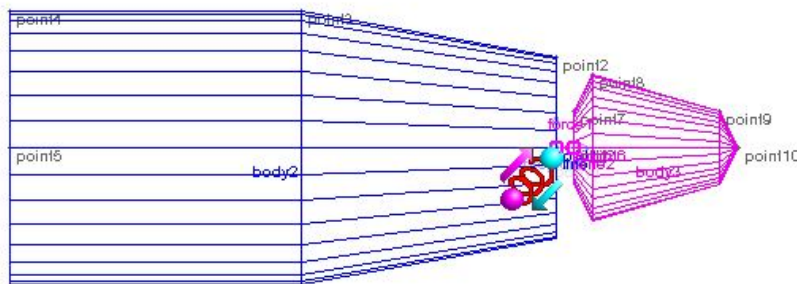


### Точный теоретический ответ

Скорость искусственного спутника Земли относительно ракеты-носителя определяется по формуле

$$Vr = l \cdot \sqrt{\frac{c \cdot (M + m)}{M \cdot m}}.$$

### Решение задачи в EULER



Система состоит из трех звеньев.

- Инерциальное звено (body1). Звено в проекте не отображается.
- Ракета-носитель (body2). В проекте звено отображается телом вращения solid1 и имеет массу  $M$ .
- Искусственный спутник Земли (body3). Звено отображается телом вращения solid2 и имеет массу  $m$ .

Пружинный толкатель моделируется силовым элементом force1 типа «поступательная пружина с коэффициентом жесткости». Скорость ракеты-носителя вместе со спутником задается с помощью начальных условий condition1 и condition2. Для определения относительной скорости искусственного спутника Земли используется датчик скорости Vr. Остановка расчета происходит с помощью события event1.

Для решения задачи используется команда command1 «расчет динамики движения» с временем интегрирования 1 [с] и заданным постоянным шагом.

### Результаты моделирования

Относительное отличие решения задачи в EULER в зависимости от шага численного интегрирования (использовался постоянный шаг интегрирования) представлено в следующей таблице.

Шаг интегрирования [s]	Относительное отличие от теоретического решения Vr_delta_rel [-]
0.1	0.002 5
0.01	0.000 000 049
0.001	0.000 000 000 002

### Текст проекта в EULER

```
scalar m=150 [ kg ];
scalar M=1500 [ kg ];
scalar c=10000 [ N/ m ];
scalar l=0.2 [ m ];
scalar v0=8000 [ m/ s ];
body body1=body( color = RGB( 229, 229, 229 ) );
set ground = body1;
point point1=point( 0 [ m ], 0 [ m ], 0 [ m ] );
point point2=point( 0 [ m ], 0.5 [ m ], 0 [ m ] );
point point3=point( -1.4 [ m ], 0.75 [ m ], 0 [ m ] );
point point4=point( -3 [ m ], 0.75 [ m ], 0 [ m ] );
point point5=point( -3 [ m ], 0 [ m ], 0 [ m ] );
line line1=polyLine( list( point1, point2, point3, point4, point5 ) );
solid solid1=spin( line1, projectX, mass = M );
body body2=body( color = RGB( 0, 0, 229 ) );
body body2 < ( solid1 );
point point6=point( 0.1 [ m ], 0 [ m ], 0 [ m ] );
point point7=point( 0.1 [ m ], 0.2 [ m ], 0 [ m ] );
point point8=point( 0.2 [ m ], 0.4 [ m ], 0 [ m ] );
point point9=point( 0.9 [ m ], 0.2 [ m ], 0 [ m ] );
point point10=point( 1 [ m ], 0 [ m ], 0 [ m ] );
line line2=polyLine( list( point6, point7, point8, point9, point10 ) );
solid solid2=spin( line2, projectX, mass = m );
body body3=body( color = RGB( 229, 0, 229 ) );
body body3 < ( solid2 );
force force1=spring( body2, point1, body3, point6, c, s0 = l+0.1[m] );
condition condition1=bodiesFixation( list( body2, body3 ) );
condition condition2=transVelocity( body1, projectX, body2, point1, v0 );
sensor s=bodyDisplacement( body2, point6, projectX, body3, point6 );
event event1=reformsBySensor( list( complex( list( forcesOff( list( force1 ) ), stop( ) ) ), s, l );
sensor Vr=transVelocity( body2, projectX, body3, point6 );
sensor Vr_theoretical=l*sqrt( c*( M + m )/ M/ m );
sensor deltaVr_rel=abs( ( Vr - Vr_theoretical )/ Vr_theoretical );
command command1=constRK4( 1.00000e+000 [ s ], 1.00000e-002 [ s ] );
```

Λ//

Λ Список главных команд;  
set dynamics = command1;

Λ//

Λ Единицы измерения;  
set units = SI;