

## Моделирование движения спутника по орбите

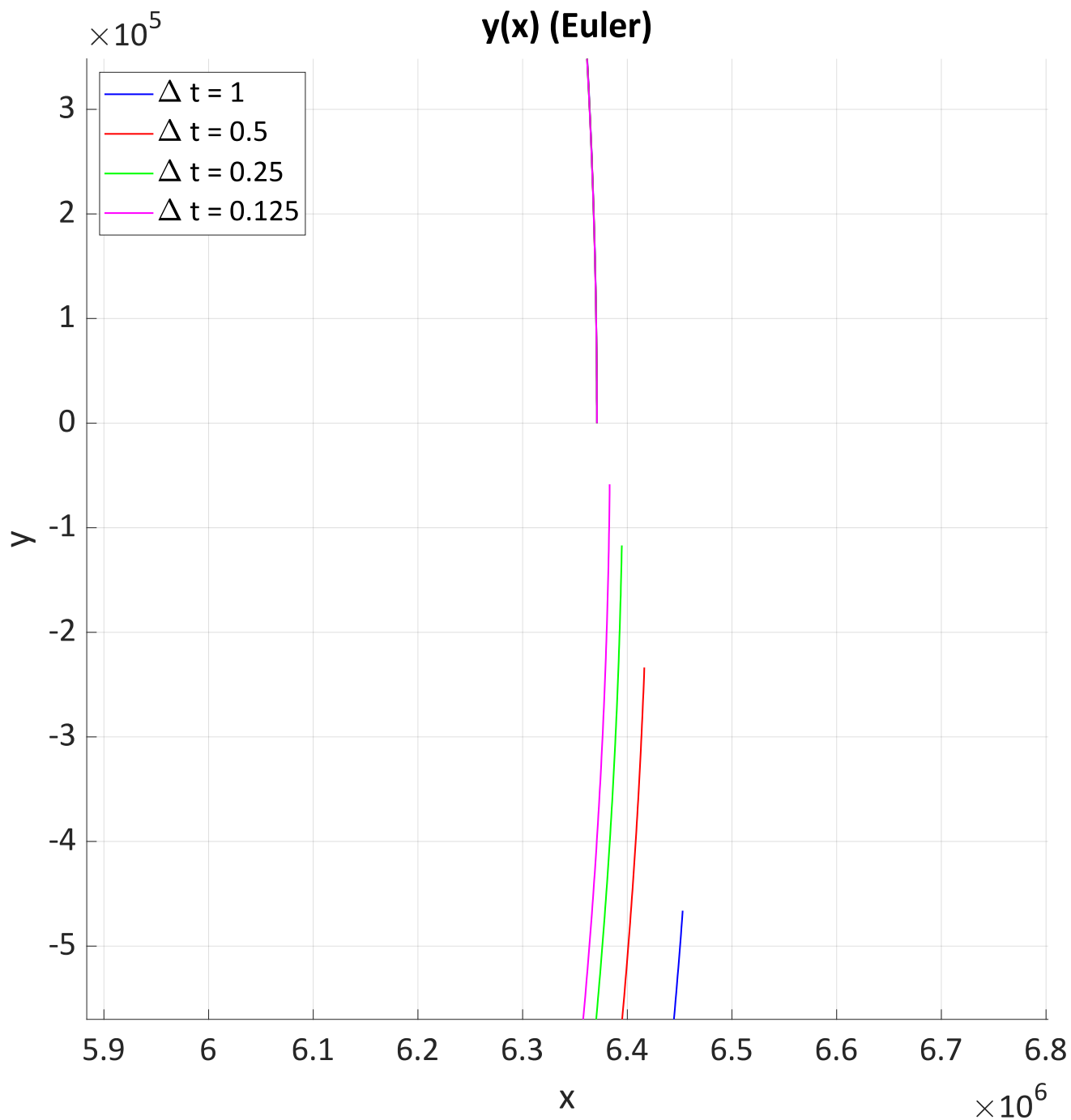
Поляков Даниил, Б23-ФЗ

В начальный момент времени спутник находится на расстоянии  $R = 6371$  км от Земли и движется с первой космической скоростью  $v = 7909.53835$  м/с. Время моделирования выбрано равным 5061 с. Чтобы оно совпадало с теоретическим периодом полного оборота спутника вокруг Земли, выберем массу Земли  $m = 5.9720532 \cdot 10^{24}$ .

### Моделирование методом Эйлера



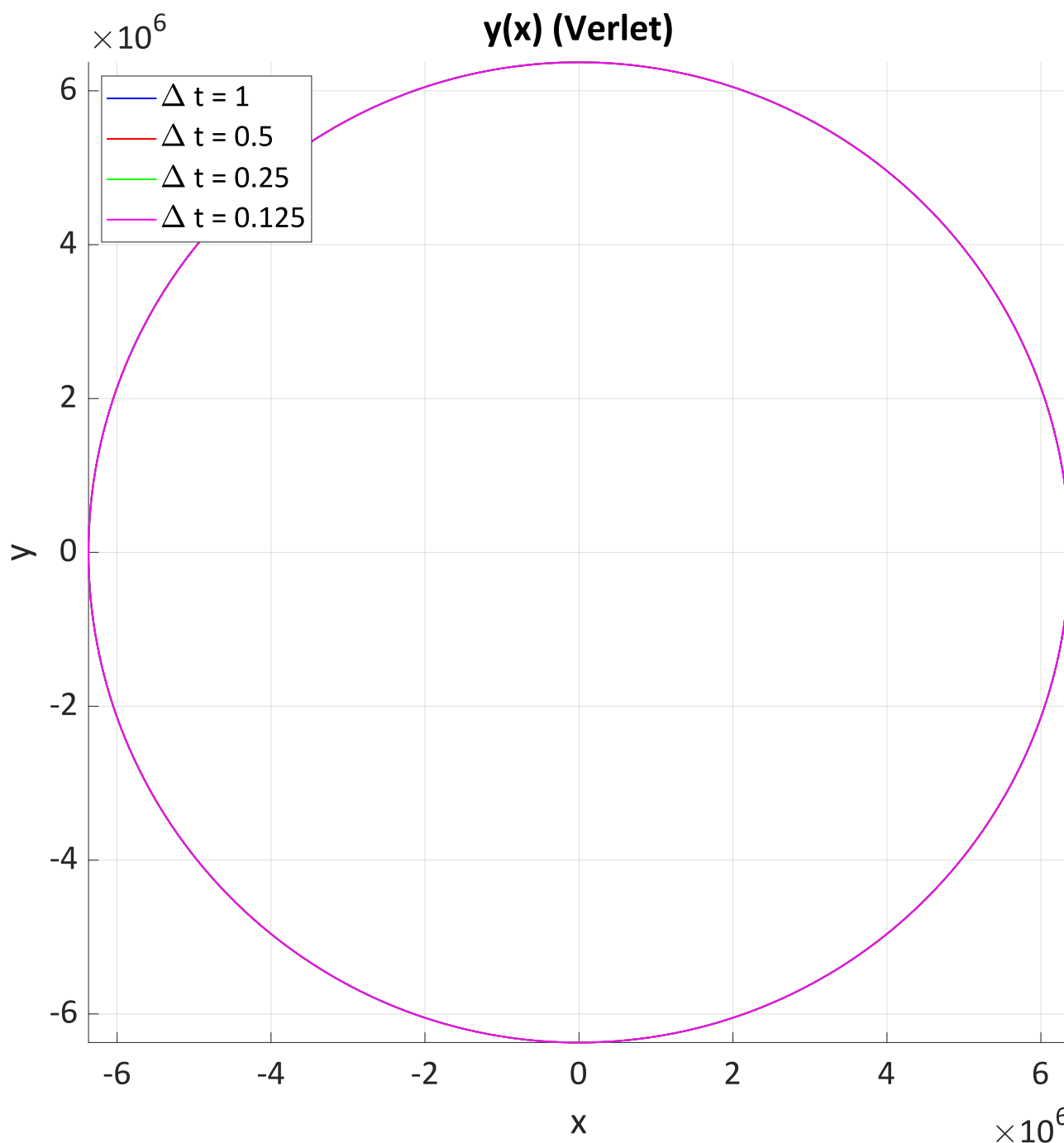
**График 1.1.** Траектория движения спутника при моделировании методом Эйлера с различным временным шагом



**График 1.2.** Приближенный график движения спутника при моделировании методом Эйлера в окрестности начального положения спутника

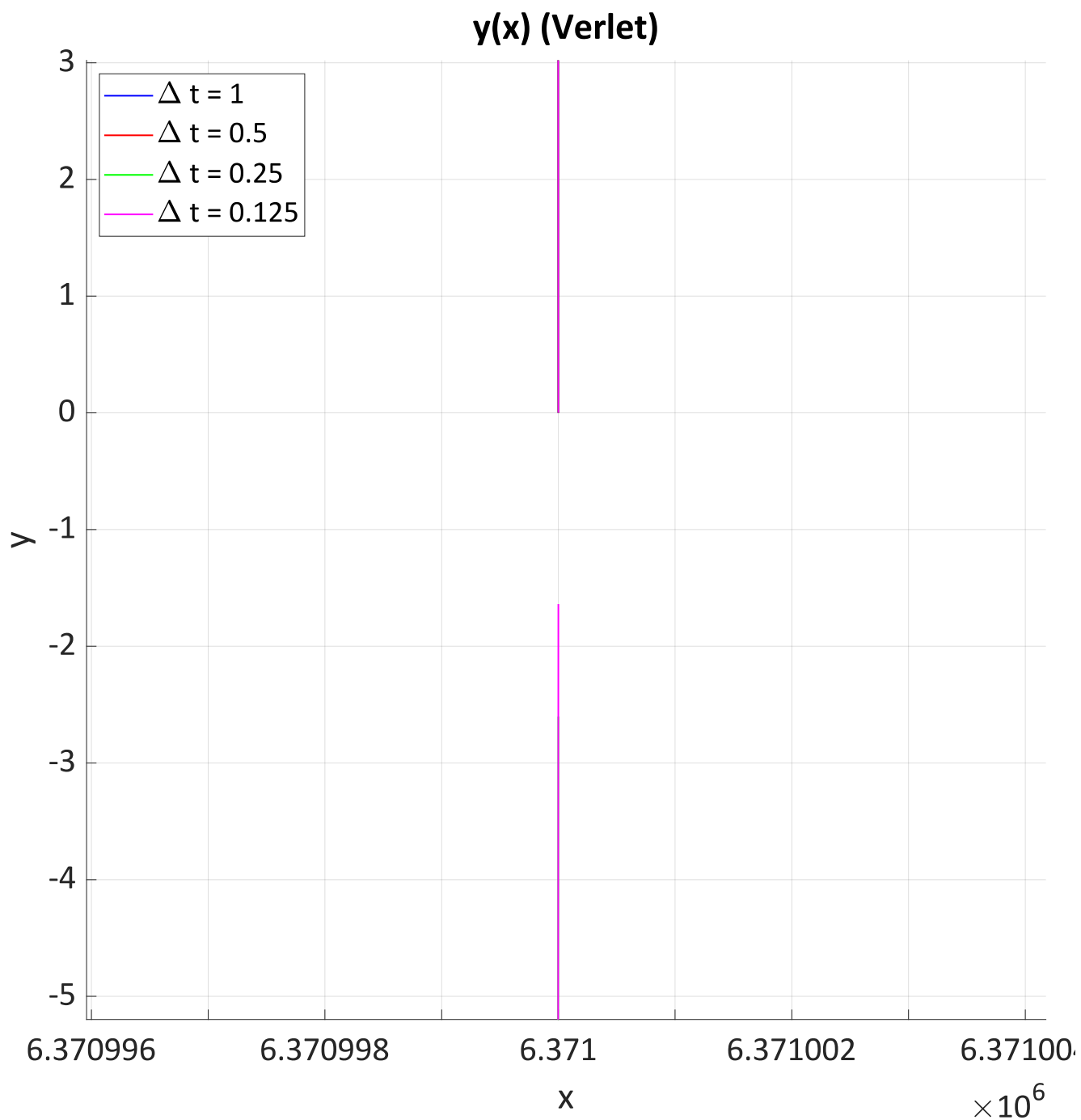
Видно, что при шаге моделирования  $\Delta t = 1$  с конечное положение спутника отклоняется от начального примерно на 500 км. При выборе более точного шага моделирования происходит сближение начальной и конечной точки.

## Моделирование методом Верле



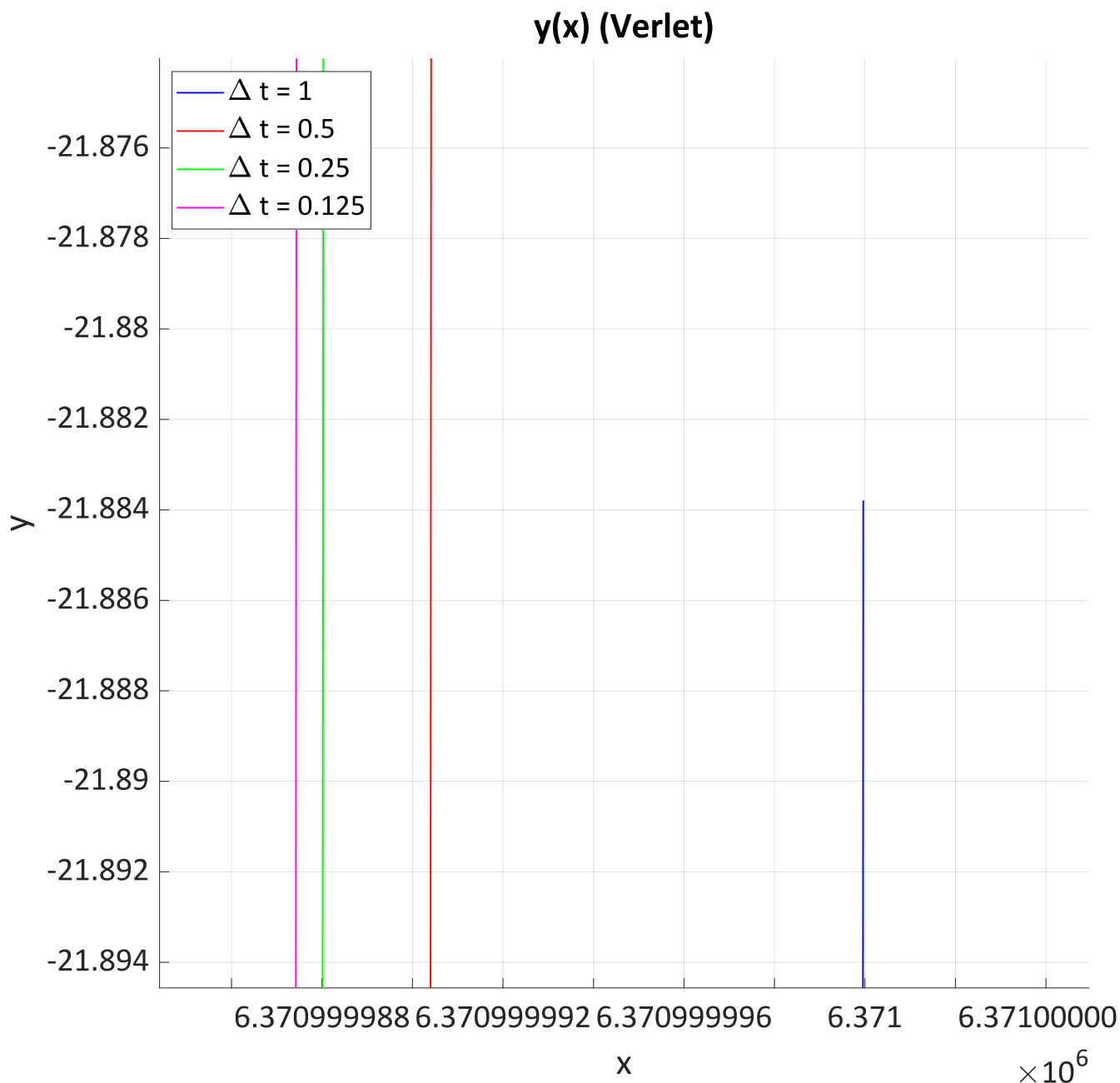
**График 2.1.** Траектория движения спутника при моделировании методом Верле с различным временным шагом

При таком масштабе вообще не видно отклонения начального и конечного положений спутника при любом из выбранных шагов интегрирования, из чего сразу можно сделать вывод о гораздо большей точности метода Верле по сравнению с методом Эйлера.



**График 2.2.** Приближенный график движения спутника при моделировании методом Верле в окрестности начального положения спутника

Отклонение по координате  $y$  составляет всего лишь 1.5 м! При этом траектории при всех  $\Delta t$  до сих пор сливаются в одну линию. Приблизим график ещё больше, чтобы увидеть отклонение по оси  $x$  при различных  $\Delta t$ .



**График 2.3.** Приближенный график движения спутника при моделировании методом Верле в окрестности конечного положения спутника при  $\Delta t = 1$ .

При  $\Delta t = 1$  отклонение по  $y$  больше — примерно 22 м. При этом график при данном  $\Delta t$  имеет конечную координату  $x$ , равную 6371 км с точностью 4 мкм! Графики при остальных  $\Delta t$  отклоняются в данном месте графика просто потому, что они ещё не достигли своего конечного положения.

Конечные координаты графиков при  $\Delta t = 1$  и 0.5 оказались равными *точно* 6371000 м. Таким образом, алгоритм Верле гораздо точнее алгоритма Эйлера. (отклонение по координате  $y$  по алгоритму Верле примерно в 30000 раз меньше отклонения при методе Эйлера).

**Приложение. Формат ввода**

В файле в первой строке указываются по порядку через пробел значения  $n$  (количество тел),  $\Delta t$  (шаг моделирования),  $t$  (время моделирования),  $dprint$  (шаг вывода данных).

В остальных строчках указываются по порядку параметры тел:  $x$ ,  $y$ ,  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $m \cdot M$  (произведение массы спутника и массы очередного тела).