

ВОЗМОЖНЫЕ СБЛИЖЕНИЯ И СОУДАРЕНИЯ С ЗЕМЛЕЙ ОПАСНЫХ АСТЕРОИДОВ

Н.А. Петров, А.А. Васильев, И.А. Баляев, Л.Л. Соколов

Санкт-Петербургский государственный университет

Всероссийская астрометрическая конференция - 2018

ГАО РАН, Санкт-Петербург, 1-5 октября 2018 года

2. Основные результаты

Для астероидов 2015 RN35 и Апофис получены и исследованы возможные соударения, а также сближения с Землей в зависимости от точности орбиты. Получены области в пространстве начальных скоростей, соответствующие некоторым соударениям "виртуального" (расположенного в окрестности возможной траектории) Апофиса.

3. О методе выделения возможных сближений и соударений астероида с Землей

Для нахождения сближений и соударений астероида с Землей использовался интегратор Эверхарта и модель Солнечной системы DE430, варьировалась одна из начальных координат (скоростей).

4. О сближениях астероидов с Землей

Сближения астероидов с Землей позволяют обнаруживать ранее неизвестные (или потерянные) объекты, уточнять орбиты. Сближения в принципе позволяют использовать эффект гравитационного маневра (даровую гравитационную энергию) для увода астероида от соударения с Землей. Траектории, ведущие к соударениям, нередко содержат более тесные сближения, чем номинальные. Эти сближения могут служить маркерами соударений; они требуют более подробного исследования.

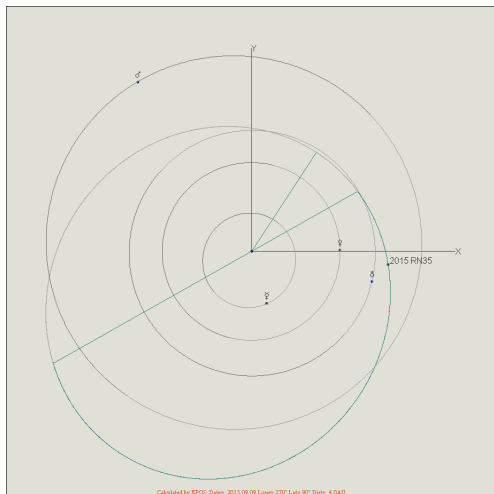
5.Пример - астероид 2016 WJ1

Например, астероид 2016 WJ1 (диаметр около 180 метров) был открыт 19 ноября 2016 года и его наблюдали в течение двух недель. Еще 2 декабря цвет астероида по Туринской шкале был зеленый, а уже 3 декабря он перестал быть опасным (удален из раздела сайта НАСА Impact Table), потому что в течение прошедших суток в JPL добавили около 2 десятков наблюдений, найденных с 2003 года. После этого дуга наблюдений увеличилась более чем в 400 раз, а ошибка большой полуоси уменьшилась со значения 8.210^{-4} а.е. до 1.010^{-7} а.е.

6. Астероид 2015 RN35 - открытие (НАСА)

- Открытие. Астероид 2015 RN35 был открыт 9 сентября 2015 года на обсерватории Pan-STARRS 1 при сближении с Землей на расстоянии 0.1907 а.е. как объект 22 звездной величины. Исследование данных о тесных сближениях астероида 2015 RN35 с Землей в разделе Close Approach на сайте НАСА в ближайшем будущем показало, что этот астероид будет сближаться с Землей в окрестности 30 января 2016 года, следовательно возможны новые наблюдения, увеличение дуги наблюдений, улучшение орбиты и как следствие уменьшение ошибок элементов орбиты.

7. Астероид 2015 RN35 - открытие (НАСА) - орбита



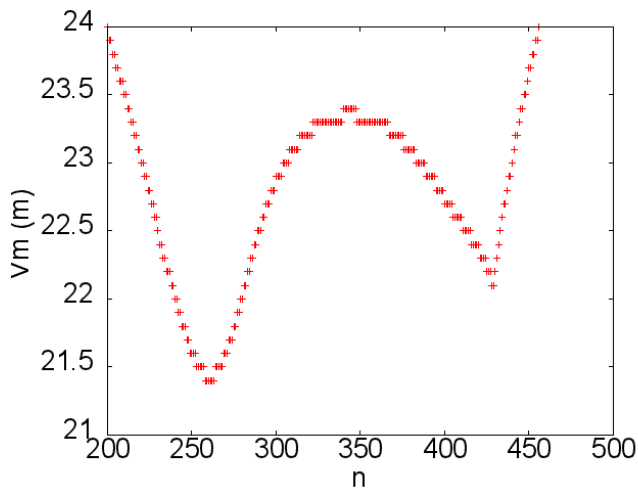
Н.А. Петров, А.А. Васильев, И.А. Баляев, Л.Л. Соколов

ВОЗМОЖНЫЕ СБЛИЖЕНИЯ И СОУДАРЕНИЯ С ЗЕМЛЕЙ ОПАСНЫХ АСТЕРОИДОВ

8. Астероид 2015 RN35 - открытие (НАСА) элементы орбиты

- Epoch 2458200.5 (2018-Mar-23.0) TDB
H = 23.1^m
a = 1.459 AU
e = 0.342
i = 0.260 grad
node= 209.4 grad
peri= 207.3 grad
M = 125.9 grad
P = 643.9 year
q = 0.960 AU
MOID= 0.000309 AU

9. Астероид 2015 RN35 - открытие (НАСА) - видимая звездная величина

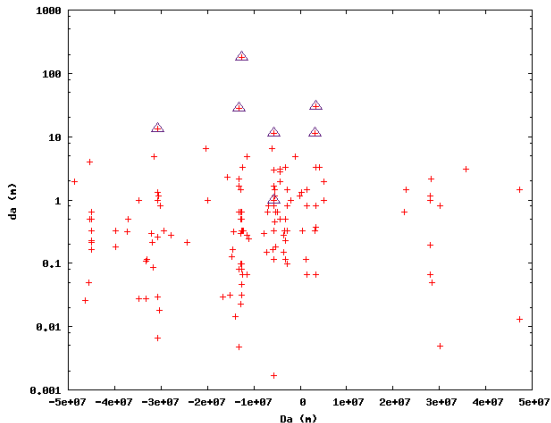


10. Астероид 2015 RN35 - наблюдения до 2018 года (НАСА)

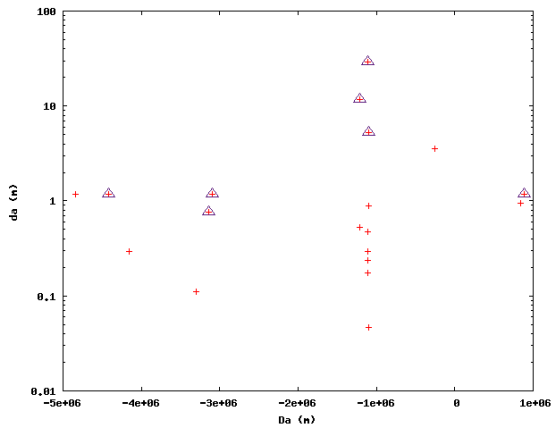
- На первом этапе наблюдений получено 33 наблюдения на дуге 55 суток (09.09.2015 - 03.11.2015).
- На втором этапе наблюдений получено 23 наблюдения на дуге 49 суток (19.01.2016 - 07.03.2016).
- Объединение двух этапов дало 56 наблюдений на дуге 180 суток (09.09.2015 - 07.03.2016).

Точность большой полуоси после второго этапа наблюдений увеличилась в восемь раз по сравнению с первым этапом наблюдений. Диаметр астероида около 85 метров, скорость "на бесконечности" - 5.72 км/сек.

11. Возможные соударения астероида 2015 RN35, первый этап наблюдений



12. Возможные соударения астероида 2015 RN35, второй этап наблюдений



13. 2015 RN35 - сближения

Нами было обнаружено сближение 2015 RN35 с Землей 7 ноября 1962 года до 0.025 а.е., при котором видимая звездная величина была около 19^m . Возможно есть шанс найти его в старых наблюдениях, что привело бы к существенному уточнению орбиты. Исследование возможных сближений и соударений 2015 RN35 подтверждает наличие большого числа ранее неизвестных соударений, как и в случае Апофиса.

14. 2015 RN35 - новые наблюдения (НАСА) - 2018

16 и 17 марта 2018 года были проведены наблюдения астероида 2015 RN35 на обсерватории Cerro Paranal (код обсерватории 309) при видимой звездной величине астероида приблизительно 26^m и получено 6 новых наблюдений, что дало всего 74 наблюдений на гораздо большей дуге - 920 дней (2.52 года).

15. 2015 RN35 - результаты новых наблюдений (НАСА)

Это позволило получить новое значение большой полуоси 1.459363 а.е. с ошибкой $6.95 \cdot 10^{-8}$ а.е. или 10.4 км (на 10 марта 2018 года было известно значение большой полуоси 1.459358 а.е. с ошибкой $4.23 \cdot 10^{-6}$ а.е. или 633 км), т.е. улучшение в 61 раз. В связи с новыми данными астероид 2015 RN35 перестал быть опасным и теперь его нет в разделе Impact Risk на сайте НАСА, но попрежнему он есть в разделах Orbit Elements и Close Approach.

16. 2015 RN35 - исследования новой орбиты

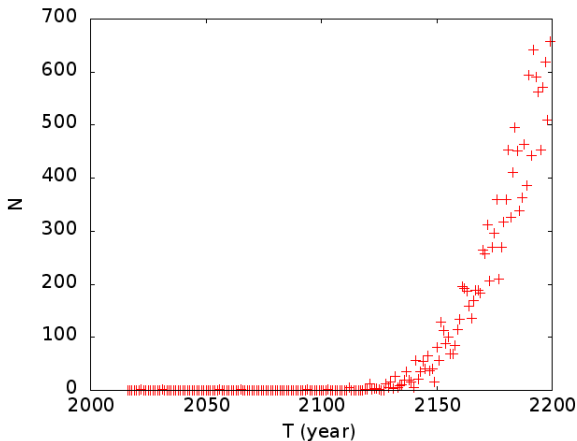
В связи с новыми данными об элементах орбиты астероида 2015 RN35 проведены новые значительные по объему вычисления для поиска и нахождения возможных орбит соударения астероида с Землей уже на интервале времени 2018-2200 годы. Эти вычисления проводились для 40000 начальных значений большой полуоси в области неопределенности 3σ относительно номинальной орбиты.

17. 2015 RN35 - новая орбита, XXI век, XXII век

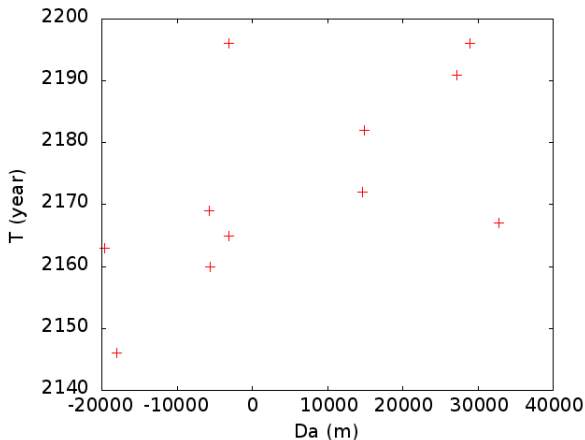
В 21-ом столетии оказалось только 5 сближений астероида с Землей, из которых самое тесное произойдет 15 декабря 2022 года до расстояния 0.004586 а.е. (686000 тыс. км).

В 22-ом столетии произойдет резкое увеличение числа возможных сближений с Землей (более 15000), среди которых найдено 11 возможных орбит соударения (из них 5 возможных орбит соударения с очень малым размером щели).

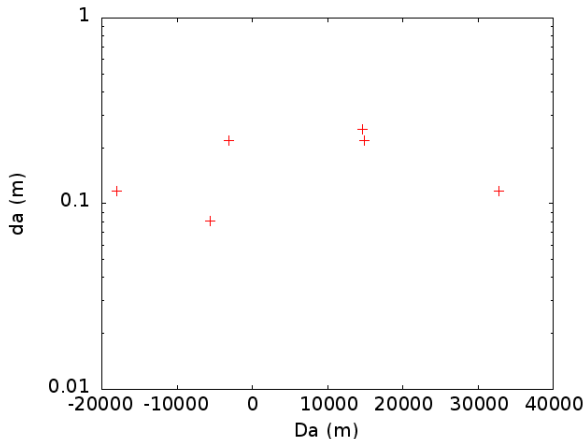
18. 2015 RN35 - новая орбита, XXI век, XXII век, возможные сближения



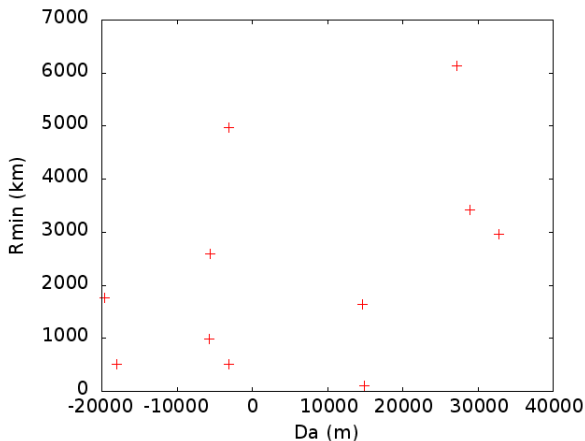
19. 2015 RN35 - возможные соударения в XXII веке, даты



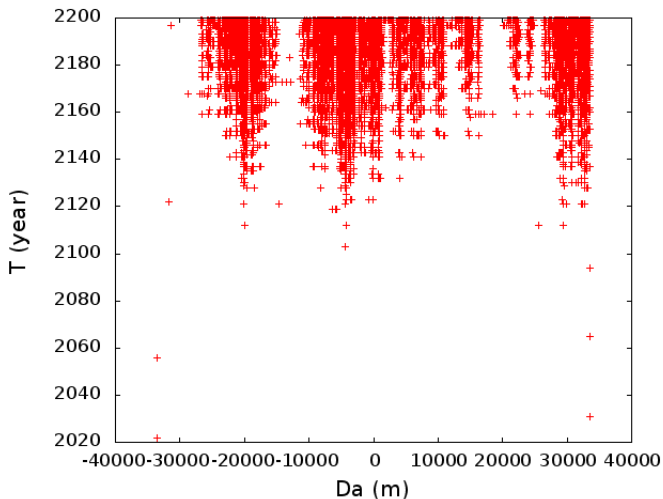
20. 2015 RN35 - возможные соударения в XXII веке, размеры щелей



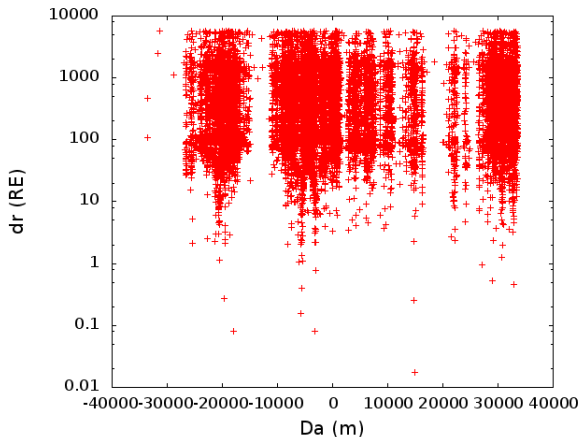
21. 2015 RN35 - возможные соударения в XXII веке, минимальные геоцентрические расстояния



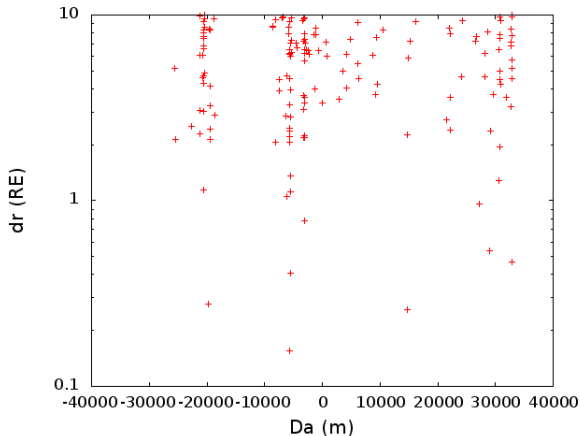
22. 2015 RN35 - возможные сближения, даты



23. 2015 RN35 - возможные сближения, минимальные геоцентрические расстояния



24. 2015 RN35 - возможные сближения, минимальные геоцентрические расстояния



25. Форма ведущих к соударению областей в пространстве скоростей

Для астероида Апофис найдено очень много возможных соударений, связанных с резонансными возвратами. Астероид остается опасным несмотря на существенное уточнение его орбиты из наблюдений в 2012-2013 годах. Точность его орбиты весьма высока по сравнению с другими опасными астероидами.

26. Отклонение астероида

- Наиболее проработанный метод отклонения астероидов от соударения с Землей – воздействие ударником.
- Результат воздействия – изменение положения астероида в пространстве скоростей.
- Какова форма в пространстве скоростей области, ведущей к соударению?

27. Орты в пространстве скоростей

$$\vec{e}_3 = \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|}$$

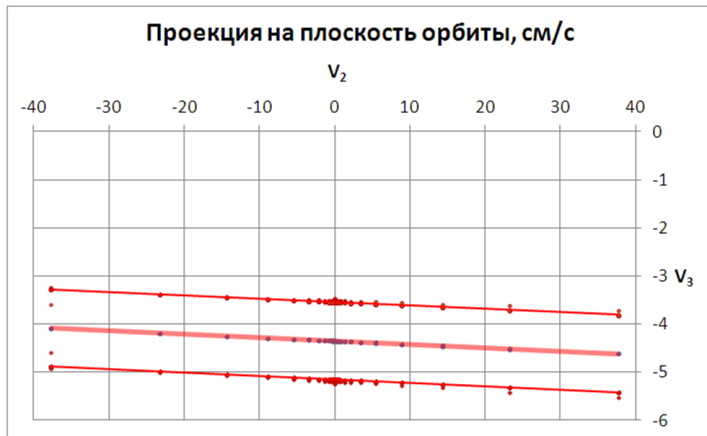
$$\vec{e}_1 = \frac{[\vec{r} \times \vec{v}]}{|[\vec{r} \times \vec{v}]|}$$

$$\vec{e}_2 = [\vec{e}_3 \times \vec{e}_1]$$

28. Соударения виртуального Апофиса

- Для примера рассмотрим соударения Апофиса в 2029 и 2036 годах.
- Форма ведущих к соударению областей рассчитывалась на момент JD 2457800.5 - 2017.02.16.0 TDB.

29. Область виртуального Апофиса в пространстве скоростей, ведущая к соударению в 2029 году



30. Область виртуального Апофиса в пространстве скоростей, ведущая к соударению в 2029 году, аналитика

- Положение центра щели относительно номинала можно описать формулой:

$$V_3 = -4,353 - 0,00706 V_2 - 0,00004 V_1 \text{ (см/с)}$$

31. Область виртуального Апофиса в пространстве скоростей, ведущая к соударению в 2036 году



32. Область виртуального Апофиса в пространстве скоростей, ведущая к соударению в 2036 году, аналитика

- Положение центра щели относительно номинала можно описать формулой:

$$V_3 = -0,0111 - 0,00654 V_2 + 0,00132 V_1$$

(см/с)

33. ВЫВОДЫ

- Проведенные на кафедре небесной механики СПбГУ исследования свидетельствуют о том, что опасные астероиды имеют существенно больше возможных соударений, чем можно найти на общедоступных сайтах (NASA, NEODyS, ...).

34. ВЫВОДЫ

- Сближения опасных астероидов с Землей (особенно на траекториях, ведущих к соударениям) требуют более внимательного исследования, в частности потому что открывают возможности использования эффекта гравитационного маневре при уводе астероида от соударения.

Спасибо за внимание!