

Астероидно-кометная опасность

Н.Б. Железнов
ИПА РАН

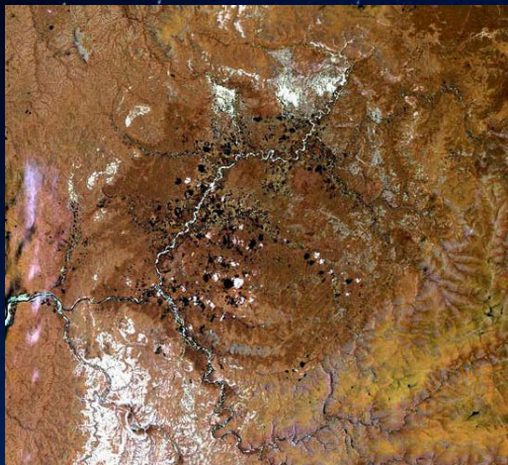
Кратеры на Земле



Аризонский метеоритный кратер Бэрринджер

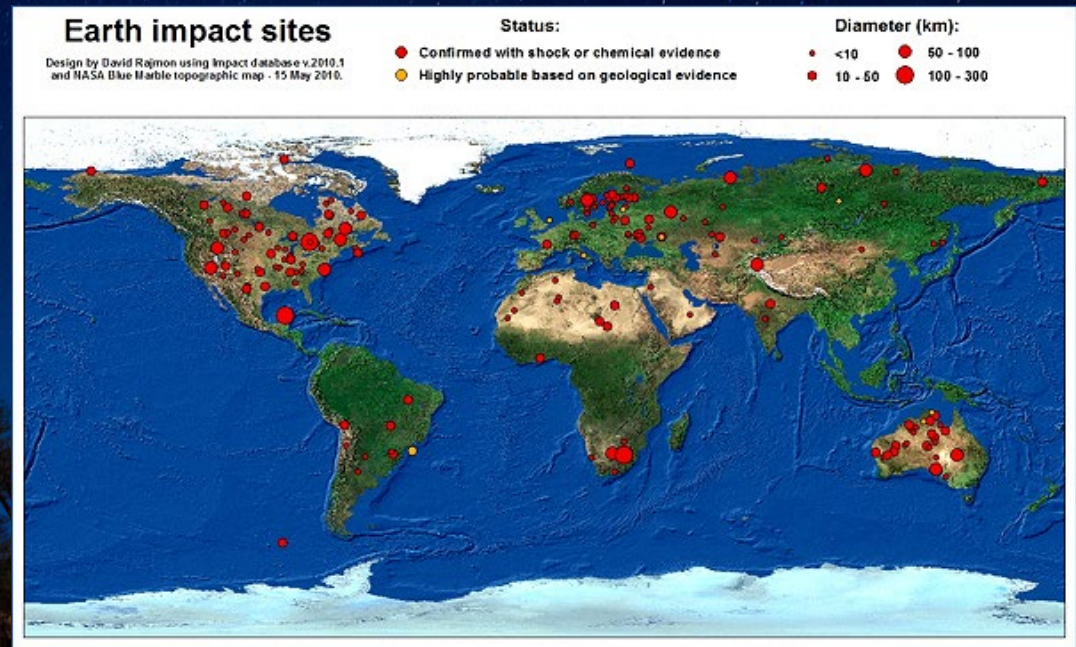


Кратер Чиксулуб

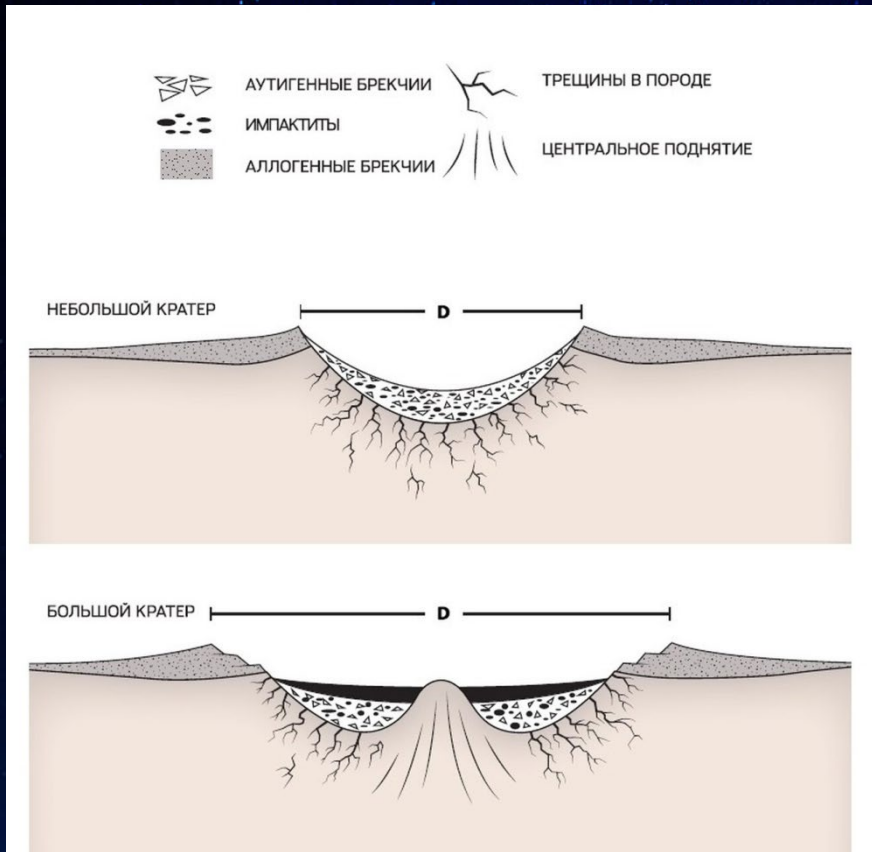


Кратер Попига́й

- ◆ > 200 подтвержденных кратеров
- ◆ > 1000 предполагаемых кратеров

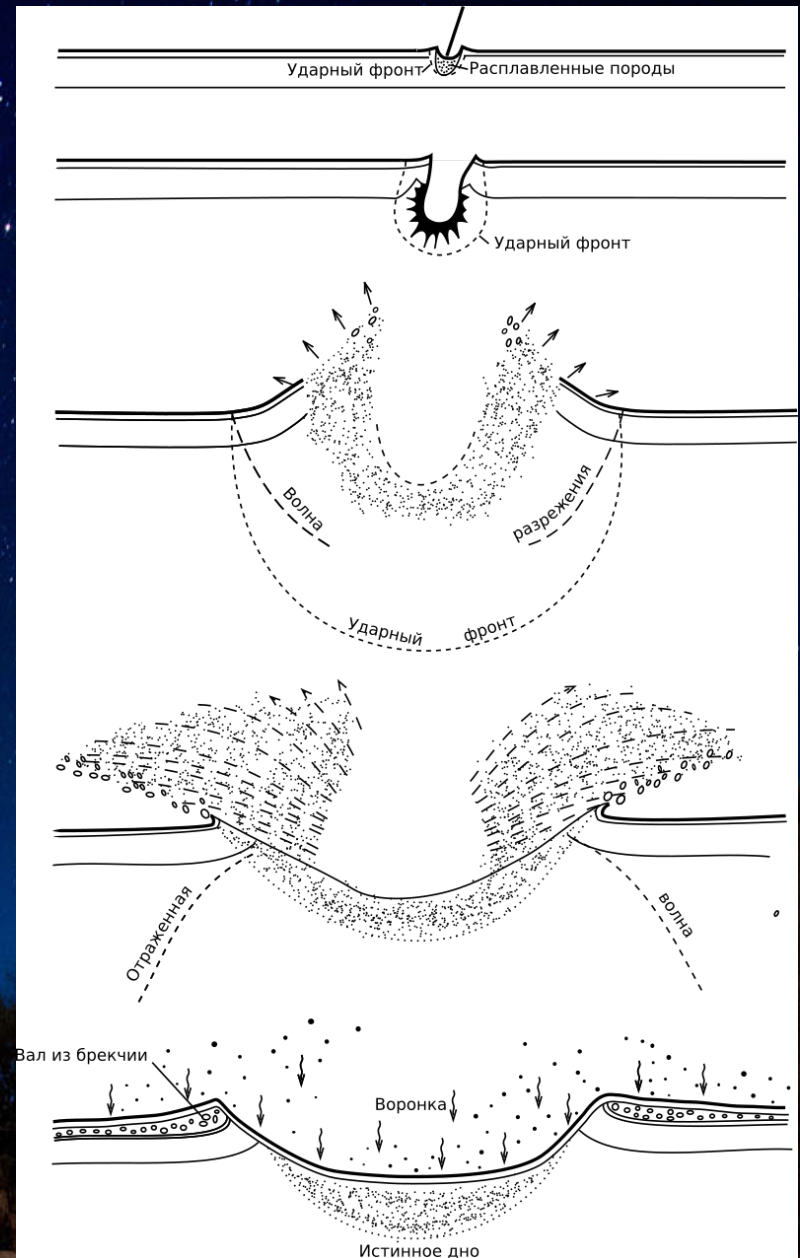


Как формируются кратеры



pcnews.ru

из кн.: Хрянина Л.П. Метеоритные кратеры на Земле. М.: Недра, 1987. С. 16.)
<https://habr.com/ru/post/451062/>



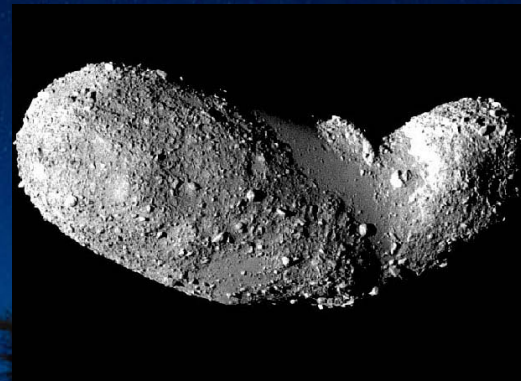
Астероиды, сближающиеся с Землей

- ◆ Астероиды с перигельными расстояниями, меньшими или равными 1.3 а.е., принято называть астероидами, сближающимися с Землей (АСЗ)
- ◆ Исторически первым из астероидов с такой орбитой был открыт (433) Eros (1898 г.)
- ◆ В 1932 г. была открыта первая малая планета (1862) Apollo, орбита которой заходит внутрь орбиты Земли
- ◆ Самый крупный открытый АСЗ – (1036) Ganimed (41 км)
- ◆ Самый мелкий открытый АСЗ – много (несколько метров)
- ◆ Первое упоминание термина АСЗ и классификацию можно найти в статье: E.M. Shoemaker, J.G. Williams, E.F. Helin, and R.F. Wolfe. Earth-crossing asteroids: orbital classes, collision rates with Earth, and origin. pp. 253-282. *In Asteroids, edited by T. Gehrels. 1979.*



АСЗ (433) Eros

https://en.wikipedia.org/wiki/NEAR_Shoemaker

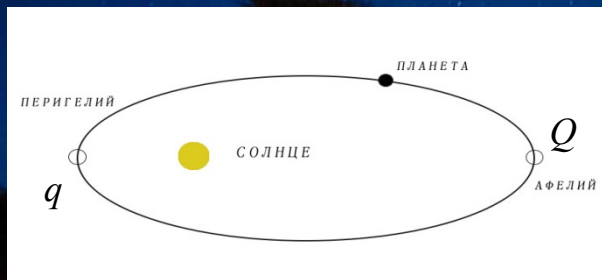
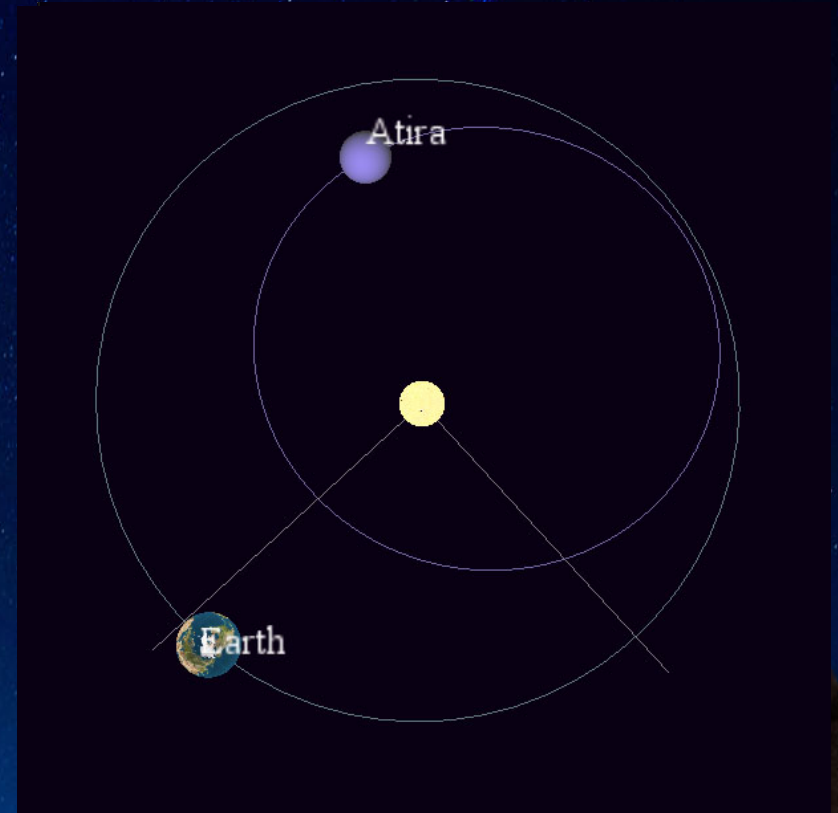


АСЗ (25143) Itokava

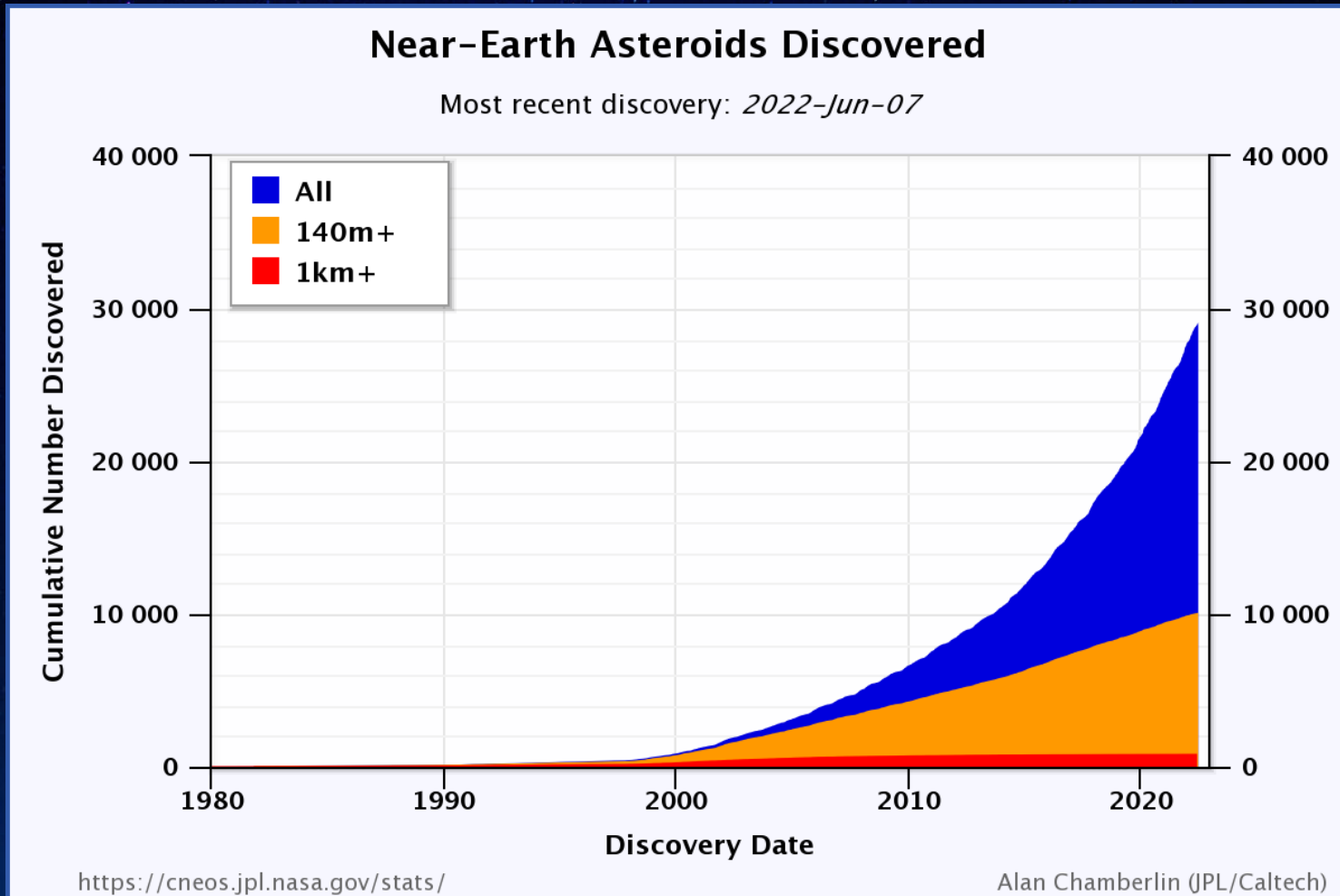
<http://www.space.com/16105-asteroid-belt.html>

Классификация орбит АСЗ

Тип (русс./англ.) Сокращенное название	Область движения
Атонцы (Atens) At	$a < 1.0$ а.е. $Q \geq 0.983$ а.е.
Аполлонцы (Apollos) Ap	$a > 1.0$ а.е. $q \leq 1.017$ а.е.
Амурцы (Amors) Am	$a > 1.0$ а.е. $1.017 < q \leq 1.3$ а.е.
Атирцы (Atiras) Ar	$a < 1.0$ а.е. $Q < 0.983$ а.е.
Потенциально опасные астероиды (Potentially Hazardous Asteroids – PHAs)	$MOID \leq 0.05$ а.е. $H \leq 22.0^m$



Сколько всего АСЗ?



дата	КСЗ	Атира	Атон	Аполлон	Амур	ПОА > 1 км	ПОА	АСЗ > 1 км	АСЗ > 140 м	АСЗ
06.07.2022	117	28	2266	16361	10447	151	2270	850	10092	29102

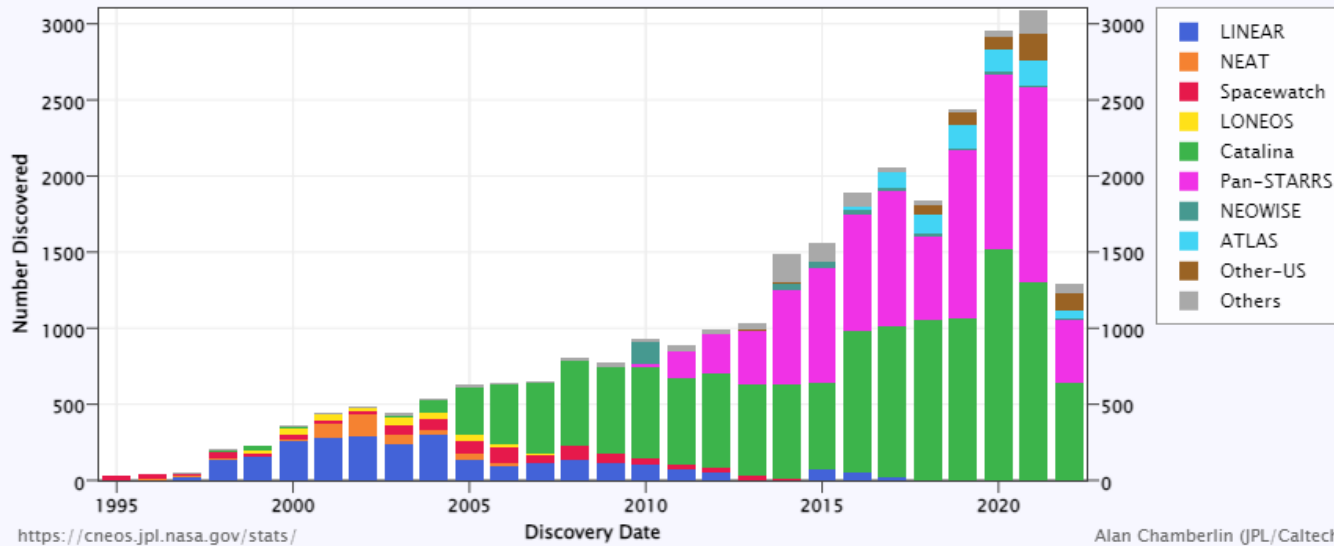
Программы автоматического мониторинга неба



GTS-2

Near-Earth Asteroid Discoveries by Survey

All NEAs (as of 2022-Jun-09)



<http://www.ll.mit.edu/mission/space/linear/ETS.html>



<http://www.lpl.arizona.edu/css/index.html>

<https://www.ifa.hawaii.edu/research/Pan-STARRS.shtml>

Кометы

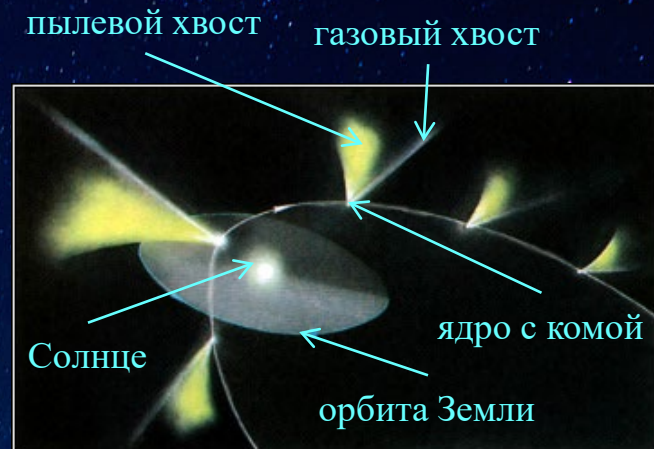
- ◆ Комета (от др.-греч. κομήτης, *komētēs* — волосатый, косматый) — небольшое небесное тело, обращающееся вокруг Солнца обычно по вытянутым орбитам. При приближении к Солнцу комета образует кому и хвост из газа и пыли.
- ◆ Короткопериодические кометы, или кометы типа Галлея обращаются вокруг Солнца с периодом $P > 200$ лет. В настоящее время нумерованных комет — 232.
- ◆ Самый короткий орбитальный период у кометы Энке — от орбиты Меркурия до Юпитера она движется за 3.3 года.
- ◆ Самая далекая из тех, что наблюдались как минимум дважды, — комета, открытая в 1788 г. Каролиной Гершель и вернувшаяся через 154 года с расстояния 57 а.е.
- ◆ Кометы, сближающиеся с Землей (КСЗ): $P < 200$ лет и $q < 1.3$ а.е.
- ◆ Долгопериодические кометы приходят из Облако Оорта — гипотетической сферической области Солнечной системы (от 50000 до 100000 а.е.). Орбитальный период таких комет — тысячи и даже десятки тысяч лет.

Кометы более опасны для Земли, чем астероиды!

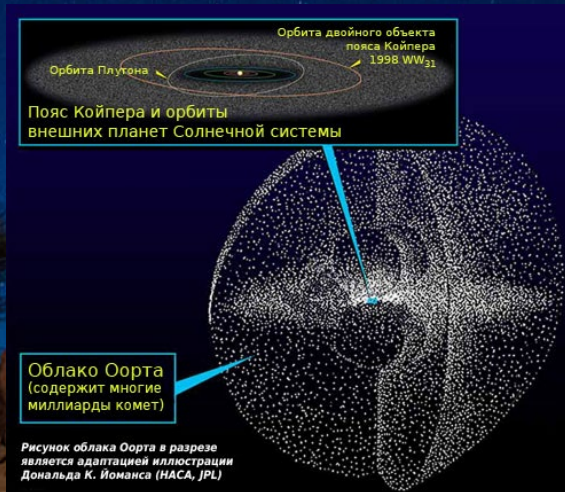
- ◆ Орбиту кометы вычислить сложнее, чем орбиту астероида. Необходимо учитывать негравитационные эффекты, связанные с реактивной струей хвоста.
- ◆ Кометы в процессе пыления теряют массу, могут распадаться.
- ◆ Скорость движения по орбите в районе перигелия в среднем больше, чем у астероидов.
- ◆ Могут появиться «неоткуда» (из облака Оорта), и направиться напрямиком к Земле.
- ◆ Если астероиды движутся вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля, то кометы могут двигаться и навстречу нашей планете. Максимальная при этом относительная скорость кометы может достигнуть 70 км/с.



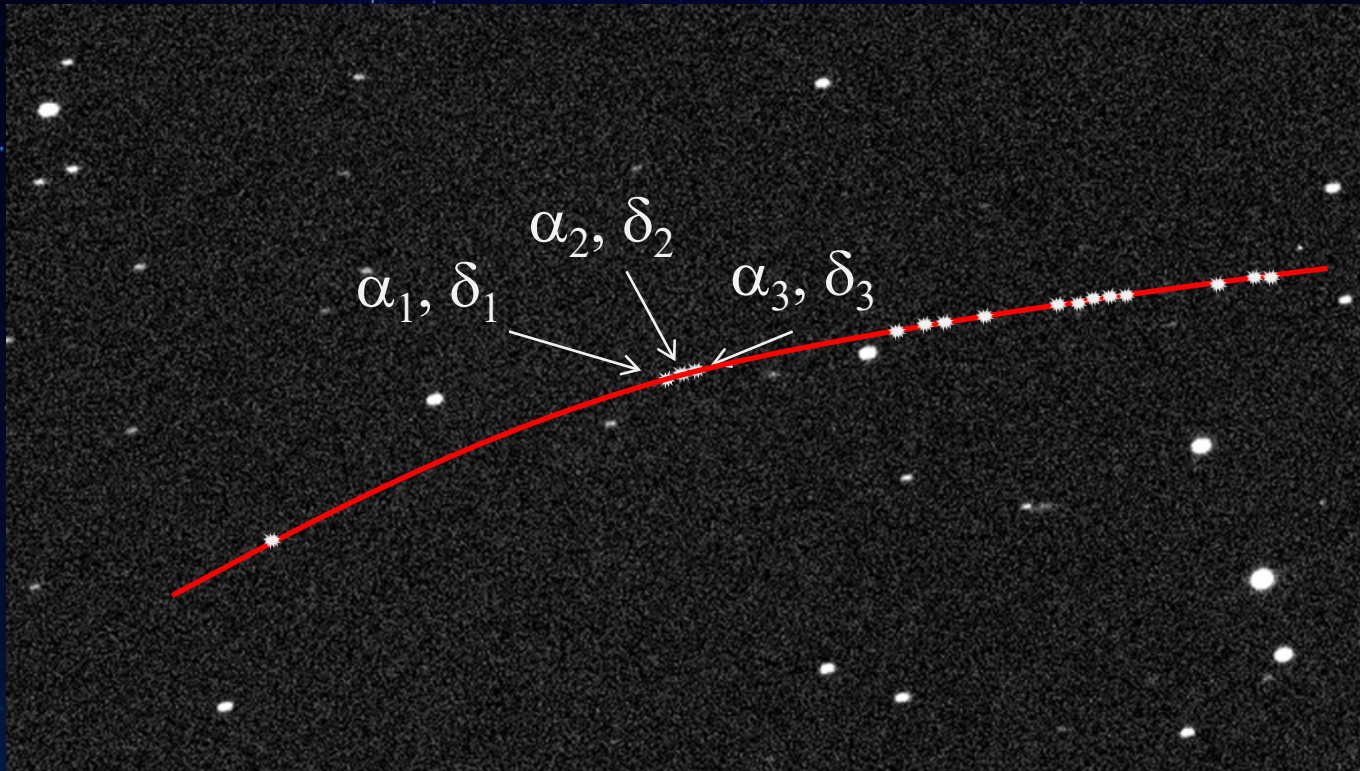
tayniplanet.ru



<http://skystars.pp.ru/cometsmove.html>

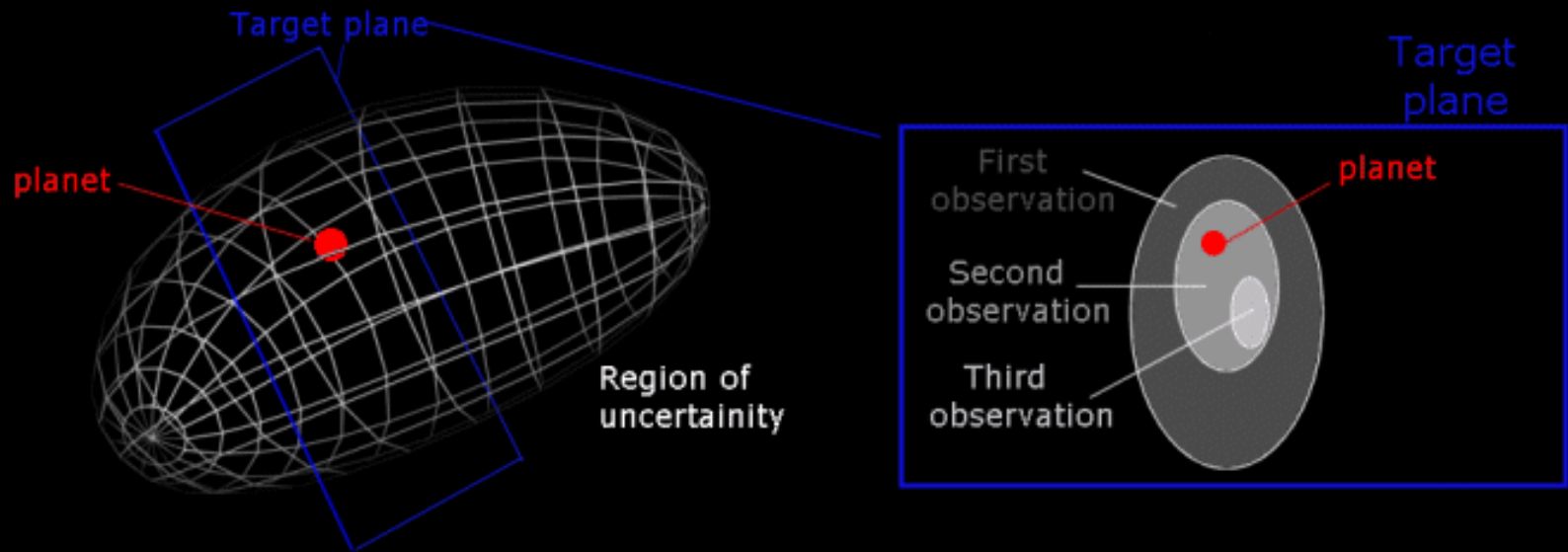


Определение и улучшение орбиты астероида



$$\alpha_1, \delta_1, \alpha_2, \delta_2, \alpha_3, \delta_3 \rightarrow a, e, \Delta, i, \varpi, M_\odot, b)$$

Область неопределенности



Область неопределенности, или эллипсоид ошибок – область расположения вероятных орбит. Фактическая орбита тела, которая нам неизвестна, находится где-то внутри области неопределенности.

При улучшении орбиты, когда появляются новые наблюдения, область неопределенности уменьшается в размерах. Это может привести к тому, что если изначально в области находилась планета, то при уменьшении области, планета может оказаться снаружи. Это будет означать отмену угрозы столкновения объекта с Землей.

Метод Монте-Карло (М М-К)

Наиболее простой и одновременно наиболее теоретически обоснованный метод – это метод Монте-Карло, который является нелинейным методом. В этом методе на момент улучшения орбиты, в соответствии с принятым законом распределения, производится случайная выборка виртуальных астероидов, и их орбиты интегрируются до момента столкновения. Вероятность столкновения вычисляется как отношение числа виртуальных астероидов, имеющих столкновение, к общему числу рассмотренных виртуальных объектов.

Ошибка определяемой величины зависит от числа рассмотренных объектов следующим образом: $N = P(1-P)/\sigma_p^2$, где N – это число виртуальных астероидов, P – вероятность столкновения, σ_p – ошибка P . Однако если $P = 10^{-6}$, то для вычисления вероятности с ошибкой 50% потребуется проинтегрировать $4 \cdot 10^6$ орбит, из-за чего данный метод является непрактичным при не очень больших значений P , и не подходит для поиска потенциальных столкновений вновь открытого тела, когда необходимо быстро оценить вероятность столкновения и, если есть вероятность столкновения, принять необходимые меры.

Метод плоскости цели (М ПЦ)

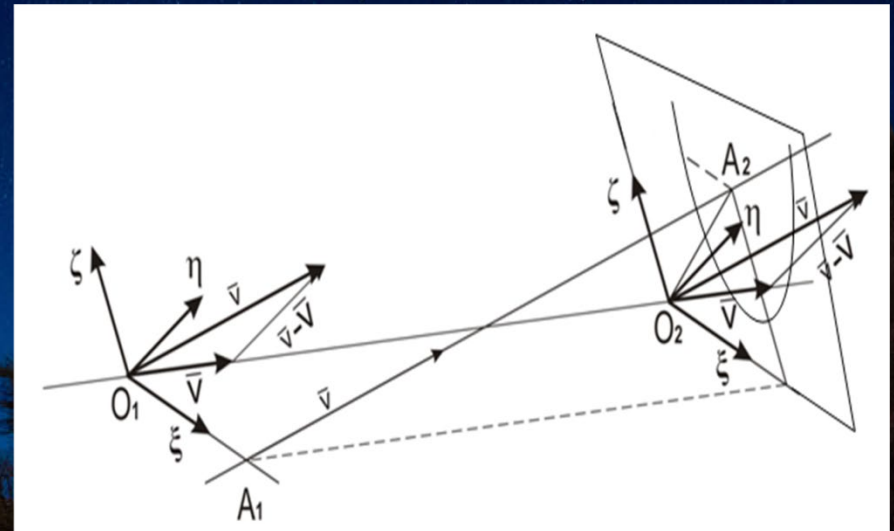
В методе плоскости цели в качестве параметров орбиты выбираются координаты и скорости тела, проектируемые на плоскость цели. На плоскости цели образ Земли предстает в виде круга с центром в начале координат и радиусом, равным радиусу Земли. Вероятность столкновения тела с Землей равна вероятности попадания следов пересечения виртуальных тел с плоскостью в пределы образа Земли. Из этого следует, что для вычисления вероятности столкновения нужно взять двойной интеграл от гауссовой плотности вероятности прохождения траектории через определенную точку плоскости цели в пределах контура Земли.

Вероятность столкновения вычисляется по формуле:

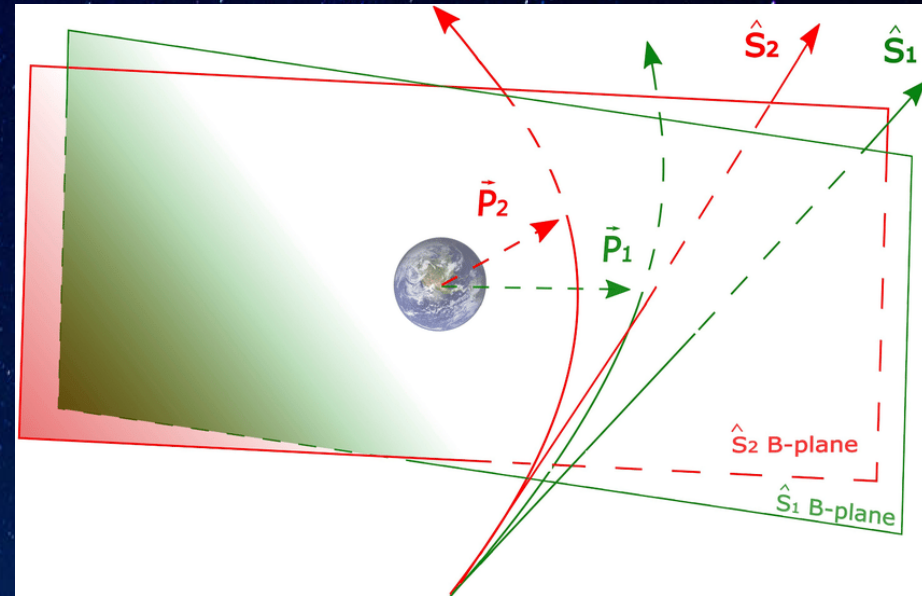
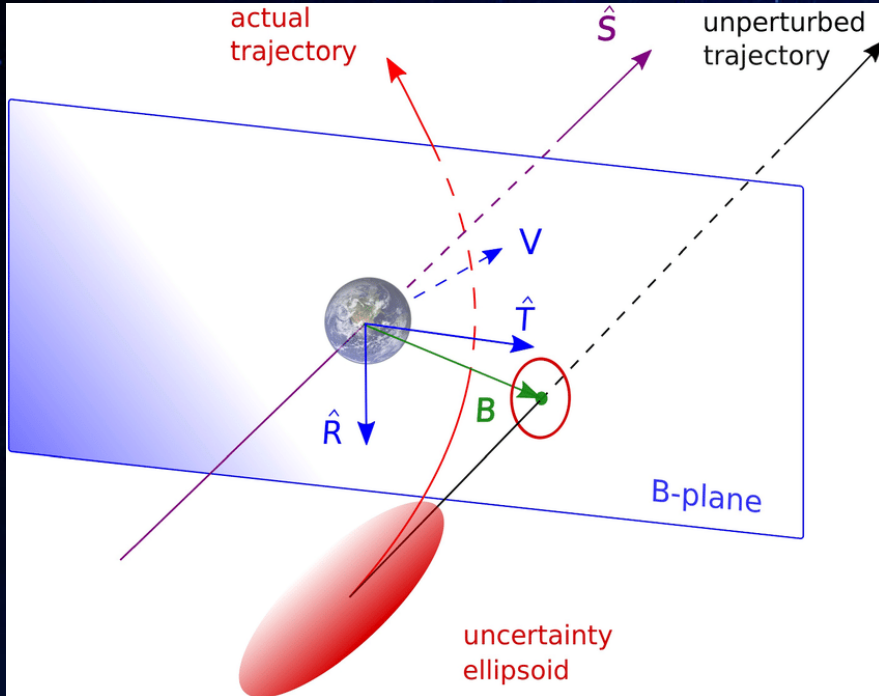
$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi |\det \mathbf{D}|}} \iint e^{-z} d\sigma$$

$$z = \frac{1}{2} [(\xi - \xi_0, \zeta - \zeta_0)^T \mathbf{D}^{-1} (\xi - \xi_0, \zeta - \zeta_0)]$$

где \mathbf{D} – матрица ковариаций координат ξ и ζ на плоскости цели, $d\sigma$ – элемент площади.



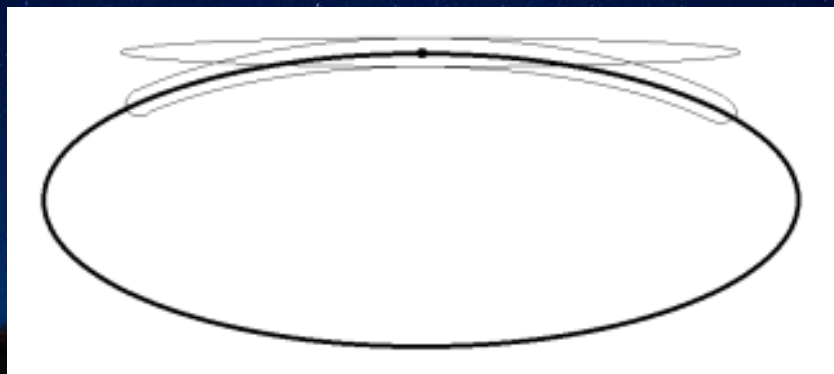
Метод плоскости цели (М ПЦ)



https://www.researchgate.net/publication/335069973_Planetary_encounter_analysis_on_the_B-plane_a_comprehensive_formulation

Метод, использующий криволинейную систему координат (М КСК)

В методе, предложенном Д.Е. Вавиловым и Ю.Д. Медведевым, рассматривается криволинейная система координат, связанная с номинальной орбитой малого тела, и предполагается нормальный закон распределения ошибок в этой системе координат. Такой подход позволяет учесть тот факт, что ошибка положения тела распределена преимущественно вдоль его номинальной орбиты, что позволяет использовать данный метод оценки вероятности даже в случае, когда точка потенциального столкновения находится достаточно далеко от номинального положения тела.



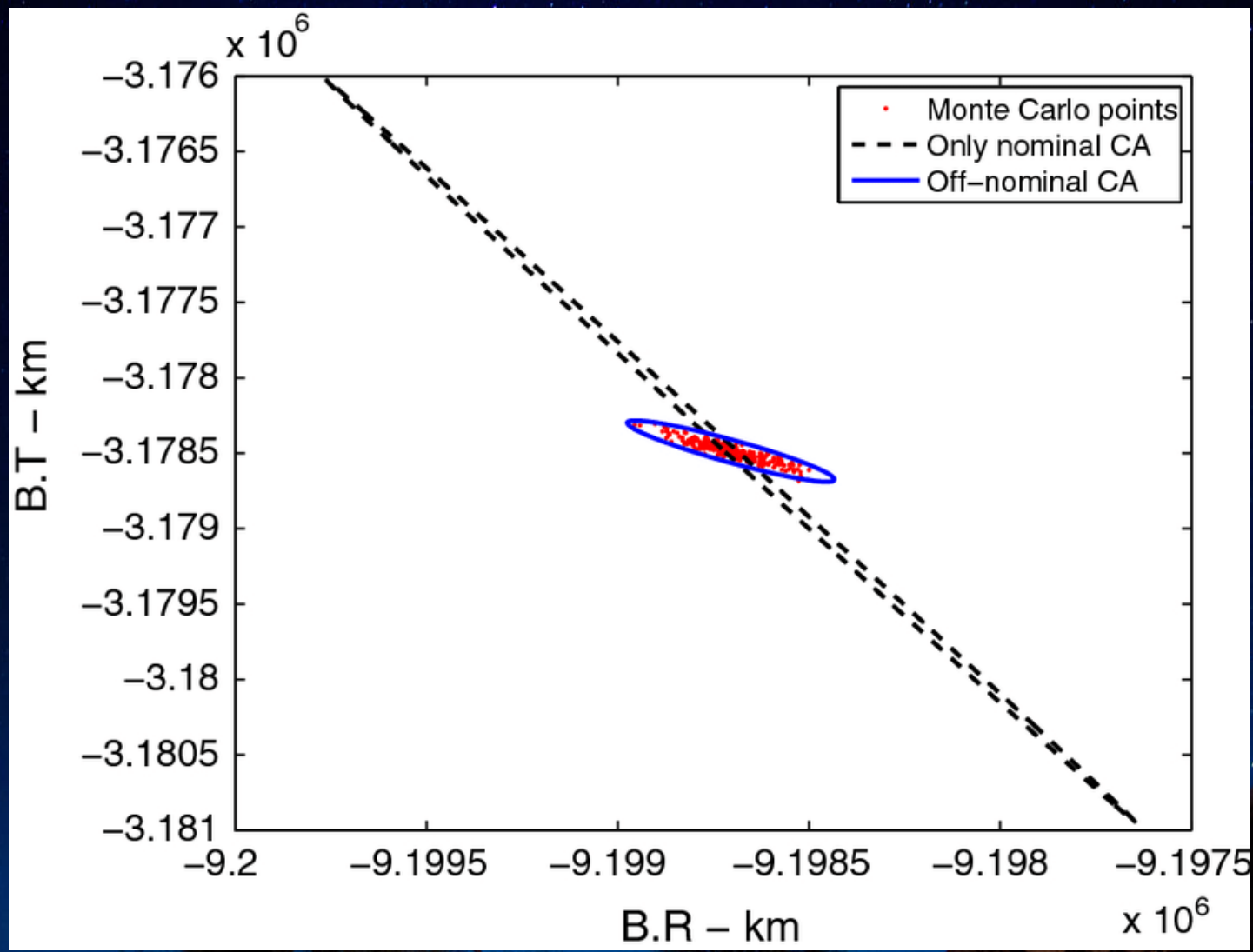
Вавилов Д.Е. Определение орбиты и вероятности столкновения с Землей вновь открытого небесного тела // Кандидатская диссертация. ИПА РАН. 2015.

Метод линии вариации (Line of Variation (M LOV))

(M LOV) – это некоторая комбинация метода плоскости цели и нелинейного метода Монте-Карло. В нем рассматривается большая полуось эллипсоида рассеяния на эпоху определения орбиты, которая называется линией вариаций. На этой оси выбирается некоторое число виртуальных астероидов (обычно несколько тысяч) и их уравнения движения интегрируются до сближения с Землей. Затем для тех виртуальных астероидов, которые входят в сферу действия Земли, вычисляется вероятность столкновения методом плоскости цели. При таком подходе учитывается нелинейное распространение ошибки вдоль линии вариаций и предполагается линейное распространение ошибки для остальных элементов. В (M LOV) нет сильной зависимости от количества виртуальных астероидов, от значения вероятности столкновения, как в (M M-К), однако их все же на несколько порядков больше, чем в линейных методах. Этот метод в различных модификациях используется в Лаборатории реактивного движения НАСА и в Пизанском университете.



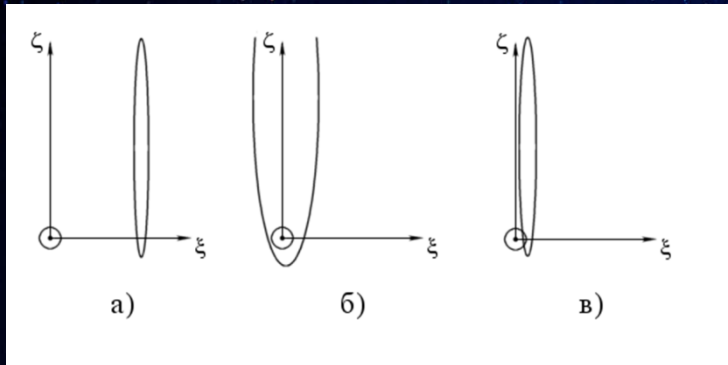
Метод линии вариации (Line of Variation (M LOV))



Вероятность столкновения

Линейная задача

- Методы ПЦ, КСК, LOV и др.

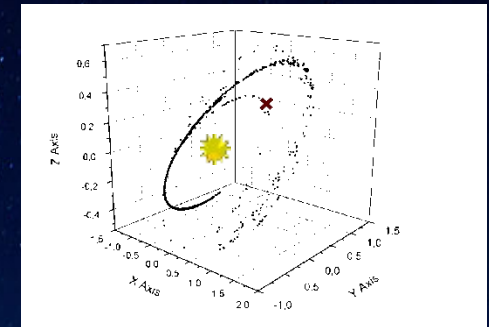
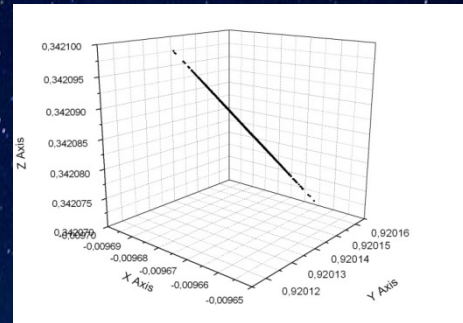


Нелинейная задача

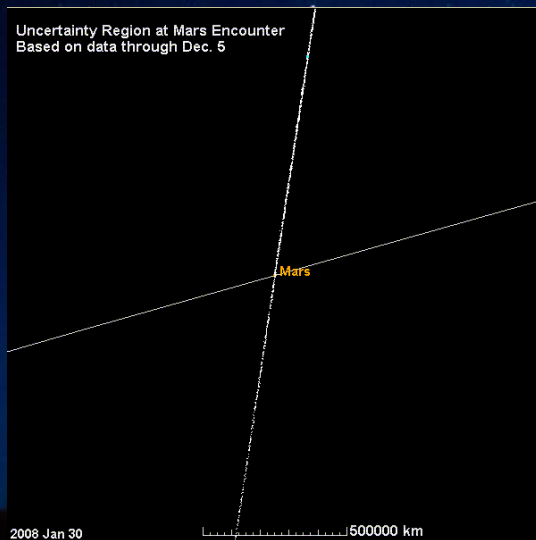
- Метод Монте-Карло

17 декабря 2004 г. (99942) Apophis

31 мая 2031 г.



- Метод Монте-Карло



- Методы КСК, LOV и модифицированные методы

В настоящее время идеального, быстрого и точного метода вычисления вероятности столкновения астероида с планетой не существует!

Сравнение методов

астероид	D (м)	период (сут.)	интервал наблюдений	число набл.	исследуемый момент
2006 JY26	7	370.9	2006-10-06 - 2006-10-10	77	2073 05 03.74
2010 UK	14	294.5	2010-10-17 - 2010-11-01	83	2068 10 15.52
2006 QV89	30	475.3	2006-08-29 - 2006-09-08	68	2019 09 09.38
2008 CK70	28	423.1	2008-01-10 - 2008-02-14	87	2030 02 14.67
2009 JF1	13	950.7	2009-05-04 - 2009-05-06	25	2022 05 06.34
2012 MF7	15	653.6	2012-06-23 - 2012-07-22	27	2046 06 21.90
2014 WA	8	1067.7	2014-11-16 - 2014-11-17	53	2049 11 16.17
2008 JL3	29	1159.0	2008-05-05 - 2008-05-09	31	2027 05 01.41
2005 QK76	31	604.6	2005-08-30 - 2005-08-31	14	2030 02 26.32

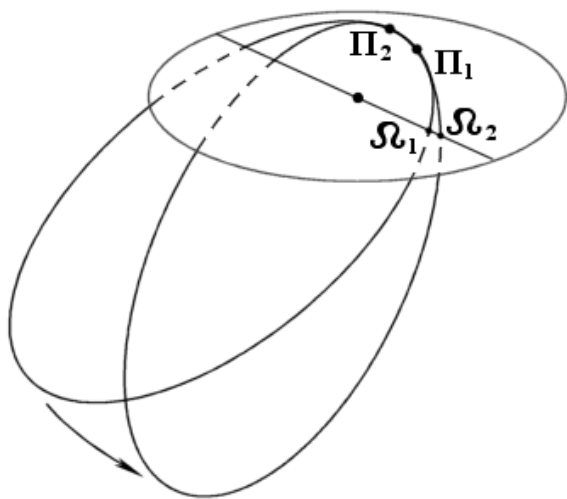
астероид	расстояние (а.е.)	V (км/с)	вероятность столкновения				
			ИПА РАН (М М-К)	ИПА РАН (М КСК)	ИПА РАН (М ПЦ)	NEODyS (М LOV)	JPL (М LOV)
2006 JY26	0.01340	11.5	5.6e-5	1.1e-4	6.2e-5	1.1e-6	9.0e-6
2010 UK	0.01586	12.7	3.1e-3	2.6e-3	0	1.3e-4	4.9e-4
2006 QV89	0.02085	12.3	1.8e-3	2.2e-3	2.7e-3	8.8e-5	4.9e-5
2008 CK70	0.01830	15.4	6.4e-4	6.4e-4	5.8e-4	0	0
2009 JF1	0.00788	26.4	7.4e-4	6.6e-4	0	2.2e-4	2.6e-4
2012 MF7	0.08464	14.1	3.1e-4	4.0e-4	0	2.0e-4	1.3e-4
2014 WA	0.30840	14.7	3.5e-7	4.5e-7	0	0	1.8e-5
2008 JL3	0.01139	14.0	3.0e-4	4.7e-4	0	7.5e-5	8.5e-5
2005 QK76	0.33043	22.6	4.3e-5	3.8e-5	0	3.7e-5	3.6e-5

Сравнение точности и эффективности методов оценивания вероятности столкновения небесных тел

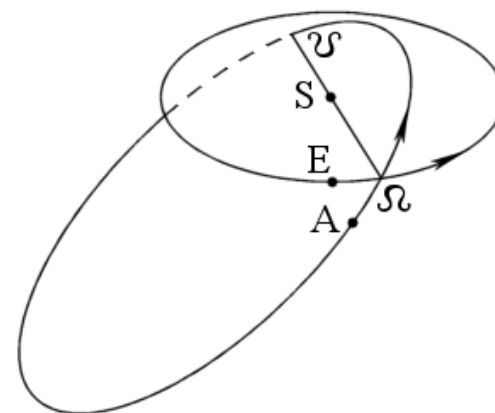
*Д. Е. Вавилов, Т. А. Виноградова, Н. Б. Железнов,
О. М. Кочетова, В. Б. Кузнецов, Ю. А. Чернетенко, В. А. Шор*

Схема столкновения астероида с Землей

Изменение положения орбиты тела по отношению к орбите Земли в результате движения перигелия



Расположение узлов орбиты астероида на плоскости орбиты Земли



Движение астероида относительно Земли в пределах ее сферы действия

- Связь прицельного расстояния b и минимального расстояния q :

$$b^2 = q^2 \left(1 + \frac{v_\infty^2}{\hat{v}^2} \right),$$

- Параболическая скорость относительно Земли:

$$v_\infty = \sqrt{\frac{2GM_\oplus}{r_\oplus}}$$

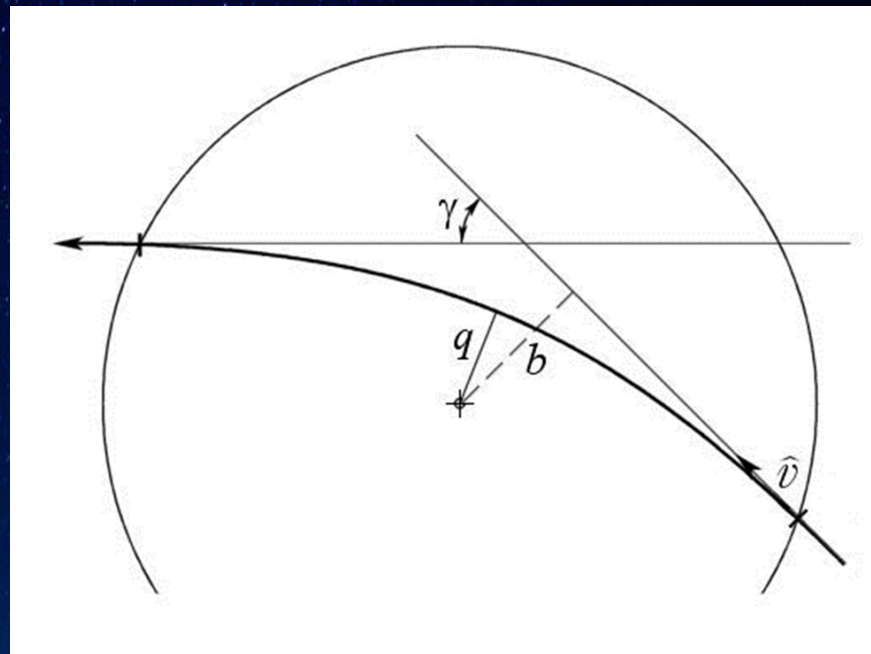
- Скорость соударения тела с Землей

$$\tilde{v} = \sqrt{(\hat{v}^2 + v_\infty^2)},$$

- Кинетическая энергия ($1\text{Мт} = 4.2 \cdot 10^{22} \text{ эрг} = 4.2 \cdot 10^{15} \text{ Дж}$)

$$E = \frac{m\tilde{v}^2}{2},$$

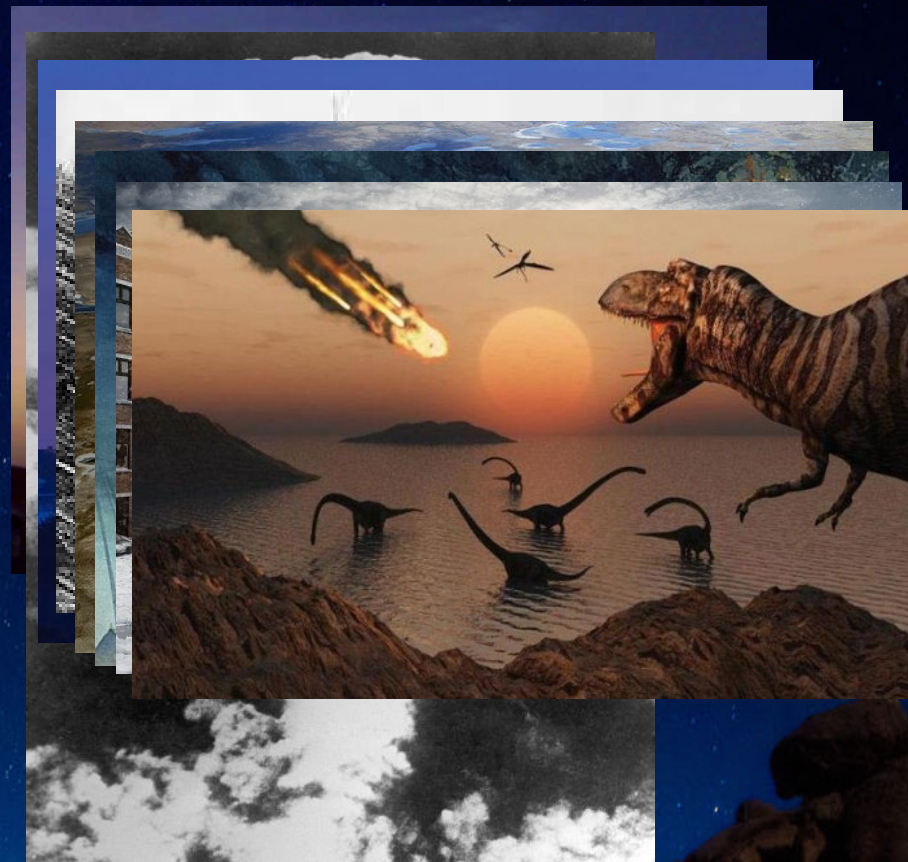
$$m = \frac{\pi}{6} 1329^3 10^{-3H/5} p_V^{-3/2} \rho$$



Если q равен радиусу Земли, то b называется радиус захвата

Выделение энергии при различных катастрофах

Событие	Диаметр (км)	Энергия (Мт)	Частота падений в год
-	0.0044	0.01	1
Хиросима		0.015	
-	0.021	1.	$10^{-1} - 10^{-2}$
Тунгуска	0.060	$1.2 \cdot 10^1$	10^{-3}
-	0.210	$1.0 \cdot 10^3$	10^{-4}
Тамбора		$1.0 \cdot 10^4$	
Глобальная катастрофа	1.5	$2.4 \cdot 10^5$	$10^{-6} - 10^{-7}$
К/Т катастрофа	10	$1 \cdot 10^8$	10^{-8}



Кратер Пингуалит, Квебек, Канада
(3.4 км, 1.4 млн лет)

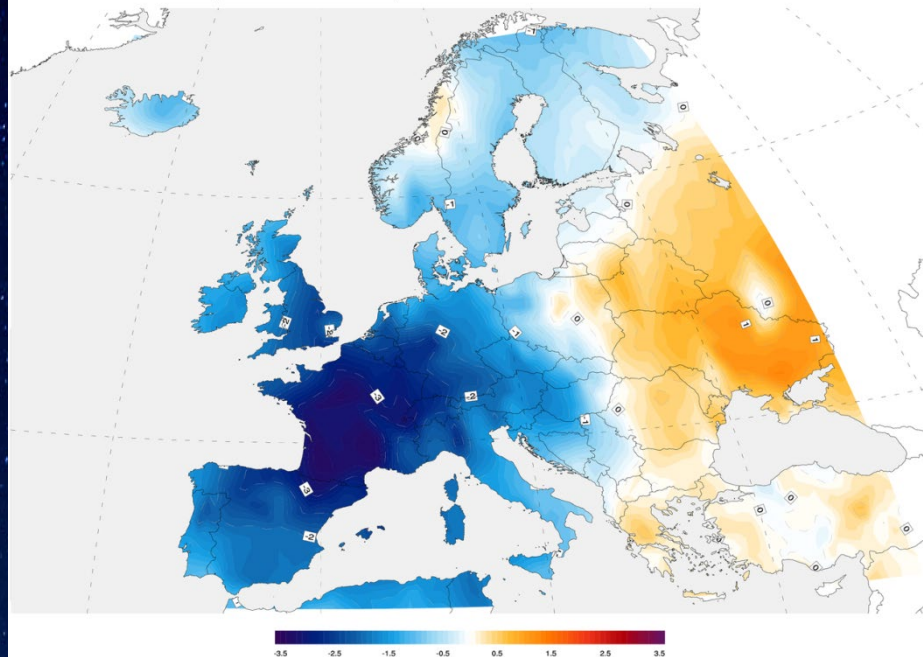
Год без лета 1816

При оценке объёма выброшенного материала в 150—180 км³, извержение Тамборы в 1815 году стало крупнейшим вулканическим извержением в истории человечества. Взрыв вулкана был слышен на острове Суматра, расположенном в 2 тыс. км к северо-западу от Тамборы. Вулканический пепел выпадал даже на таких удалённых островах, как Калимантан, Сулавеси, Ява, Молукки. Число погибших достигло 71 тыс. человек. 7 баллов по Шкале вулканических извержений (VEI). Энергия Тамборы была эквивалентна взрыву 800 мегатонн тротила.

В марте 1816 года температура продолжала оставаться зимней. В апреле и мае было неестественно много дождей и града. В июне и июле в Америке были заморозки. В Нью-Йорке и Новой Англии выпадал снег. Германию неоднократно терзали сильные бури, многие реки (в том числе и Рейн) вышли из берегов. В Швейцарии каждый месяц выпадал снег.

Необычный холод привёл к катастрофическому неурожаю. Весной 1817 года цены на зерно выросли в десять раз, а среди населения разразился голод. Британия закупила зерна больше, чем когда-либо в своей истории. Десятки тысяч европейцев, к тому же всё ещё страдавших от разрушений Наполеоновских войн, эмигрировали в Америку.

1816 Summer Temperature Anomaly



https://ru.wikipedia.org/wiki/Год_без_лета#/media/Файл:1816_summer.png

Английская писательница Мэри Шелли проводила лето 1816 года с друзьями на вилле Диодати у Женевского озера. Из-за чрезвычайно плохой погоды отдыхающие часто не могли покинуть дом. Поэтому они решили, что каждый напишет по жуткой истории, которые потом будут читать друг другу. Мэри Шелли тогда сочинила свою знаменитую повесть «Франкенштейн, или Современный Прометей», а Джон Полидори — первый рассказ о вампирах. Стихи Байрона, написанные в этом году, изобилуют сетованиями по поводу хмурого неба и беспрестанного ненастья.

Год без лета 1816



Гонконгский закат около 1992 года после извержения Пинатубо
https://ru.wikipedia.org/wiki/Год_без_лета#/media/Файл:Lamma_evening4.jpg



«Чичестерский канал» Уильям Тёрнер, 1828
<https://tjournal.ru/flood/44194-365-dney-nepogody>

Фермер американского штата Вермонт изучает замёрзший урожай, лето 1816 года. Картина Грега Харлина (Greg Harlin)
<https://tjournal.ru/flood/44194-365-dney-nepogody>



Туринская шкала

Туринская шкала



События, скорее всего не имеющие последствий.



События, заслуживающие тщательного отслеживания.



События, вызывающие озабоченность.



Угрожающие события.



Несомненные столкновения.

Палермская техническая шкала

R – «нормализованный риск», вероятность столкновения тела с Землей, взвешенная по отношению к вероятности столкновения с Землей тел такой же самой или большей энергии за время, оставшееся до предполагаемого столкновения

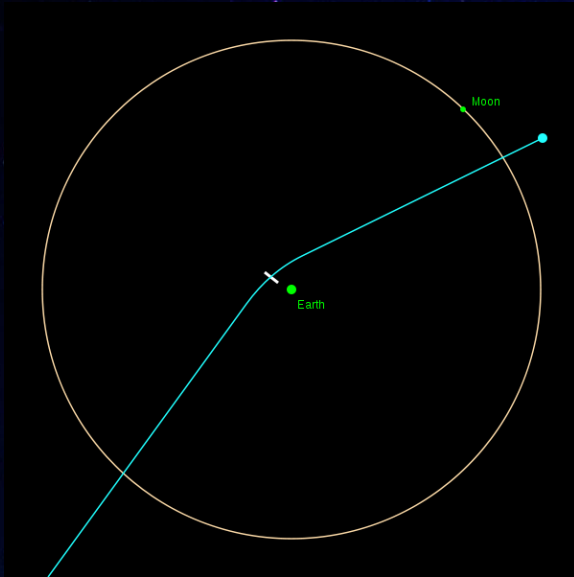
$$R = \frac{P_I}{f_B \Delta T} = \frac{P_I}{0.03 E^{-4/5} \Delta T},$$

где f_B – частота падения на Землю тел с энергией $\geq E$,
 ΔT – время до столкновения в годах, P_I – вероятность события

Десятичный логарифм этой величины R определяет Палермскую техническую шкалу для оценки угрозы столкновения тел с Землей

$$P = \lg R.$$

АСЗ (99942) Apophis



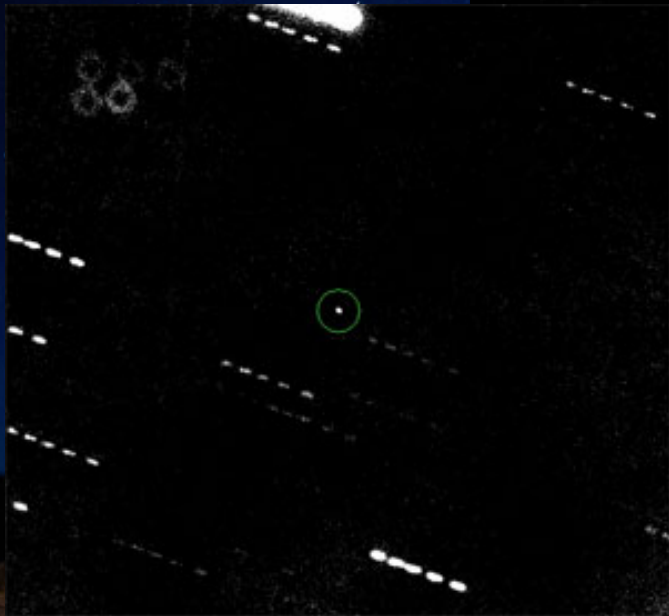
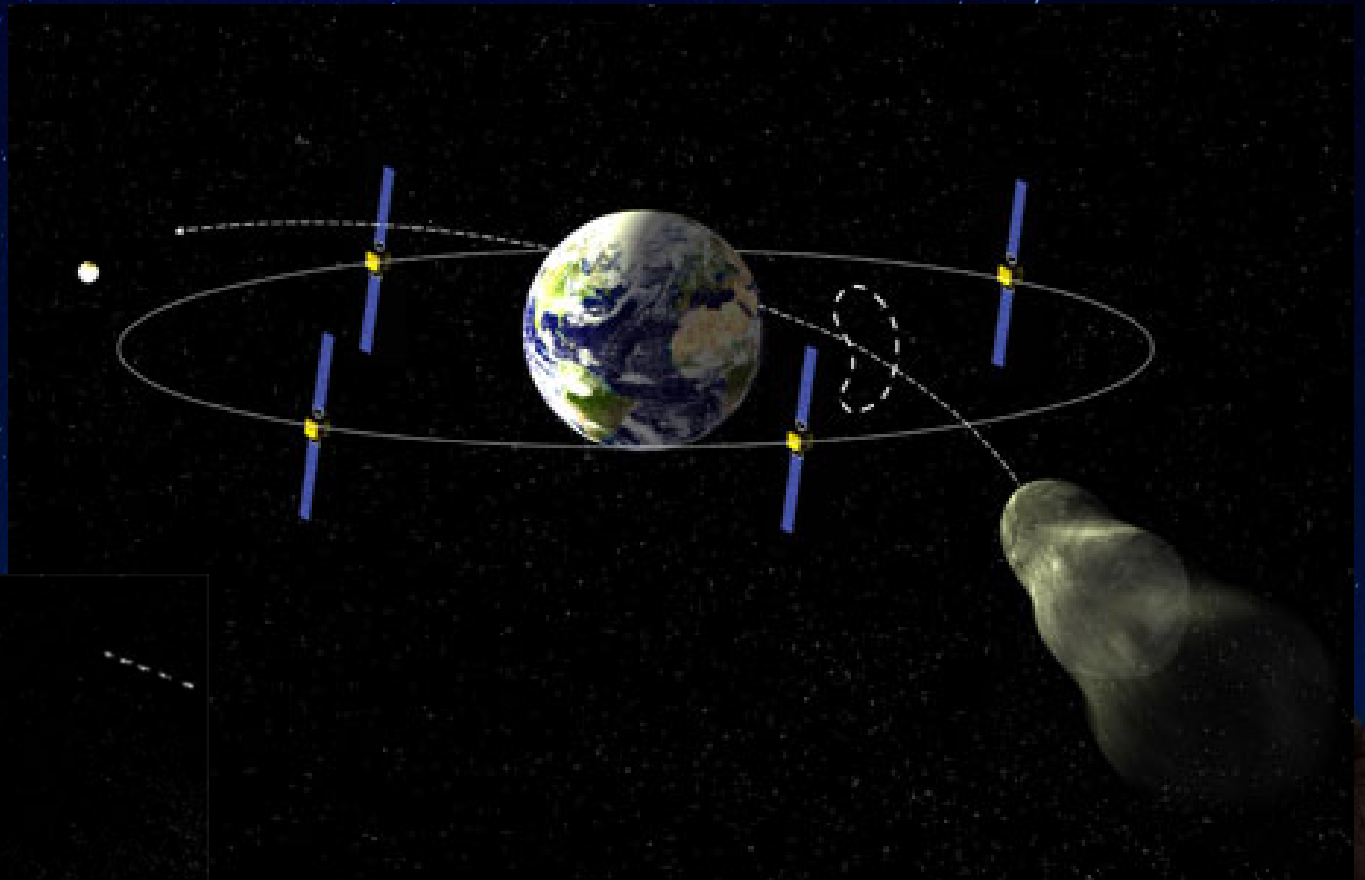
https://en.wikipedia.org/wiki/99942_Apophis



<http://www.skyandtelescope.com/astronomy-news/asteroid-apophis-takes-a-pass-in-2036/>

13 апреля 2029 г. пролетит на поверхность Земли на расстоянии около 32000 км. Его 3-я звездная величина позволит увидеть его невооруженным глазом. После пролета его орбита сильно изменится, и он каждые 7 лет будет возвращаться к Земле, однако большой угрозы по расчетам в будущем он не несет. Однако требует пристального исследования. Размером он примерно 325 м, и в случае падения на Землю образует 7-км кратер.

АСЗ (99942) Апофис. Замочная скважина



Челябинский метеороид

Взрыв метеорного тела в атмосфере в районе Челябинска — явление, произошедшее утром, 15 февраля 2013 года, примерно в 9:20 по местному времени. Метеорное тело взорвалось в окрестностях Челябинска на высоте 15-25 км. По числу пострадавших (1613 человек) падение этого метеороида не имеет аналогов в мировой документированной истории.

По расчетам НАСА, метеороид, диаметром около 17 метров и массой порядка 10 тыс. тонн, вошел в атмосферу Земли на скорости около 18 км/с. Судя по продолжительности атмосферного полета, вход произошел под очень острым углом. Спустя примерно 32,5 сек после входа в атмосферу небесное тело разрушилось. Разрушение представляло собой серию событий, сопровождавшихся распространением ударных волн. Общее количество высвободившейся энергии по оценкам НАСА составило около 500 килотонн в тротиловом эквиваленте, по оценкам РАН — 100-200 килотонн. По оценкам НАСА, это самое большое из известных небесных тел, падавших на Землю со времени падения Тунгусского метеорита в 1908 г., и соответствует событию, происходящему в среднем раз в 100 лет.



Состав метеорита:

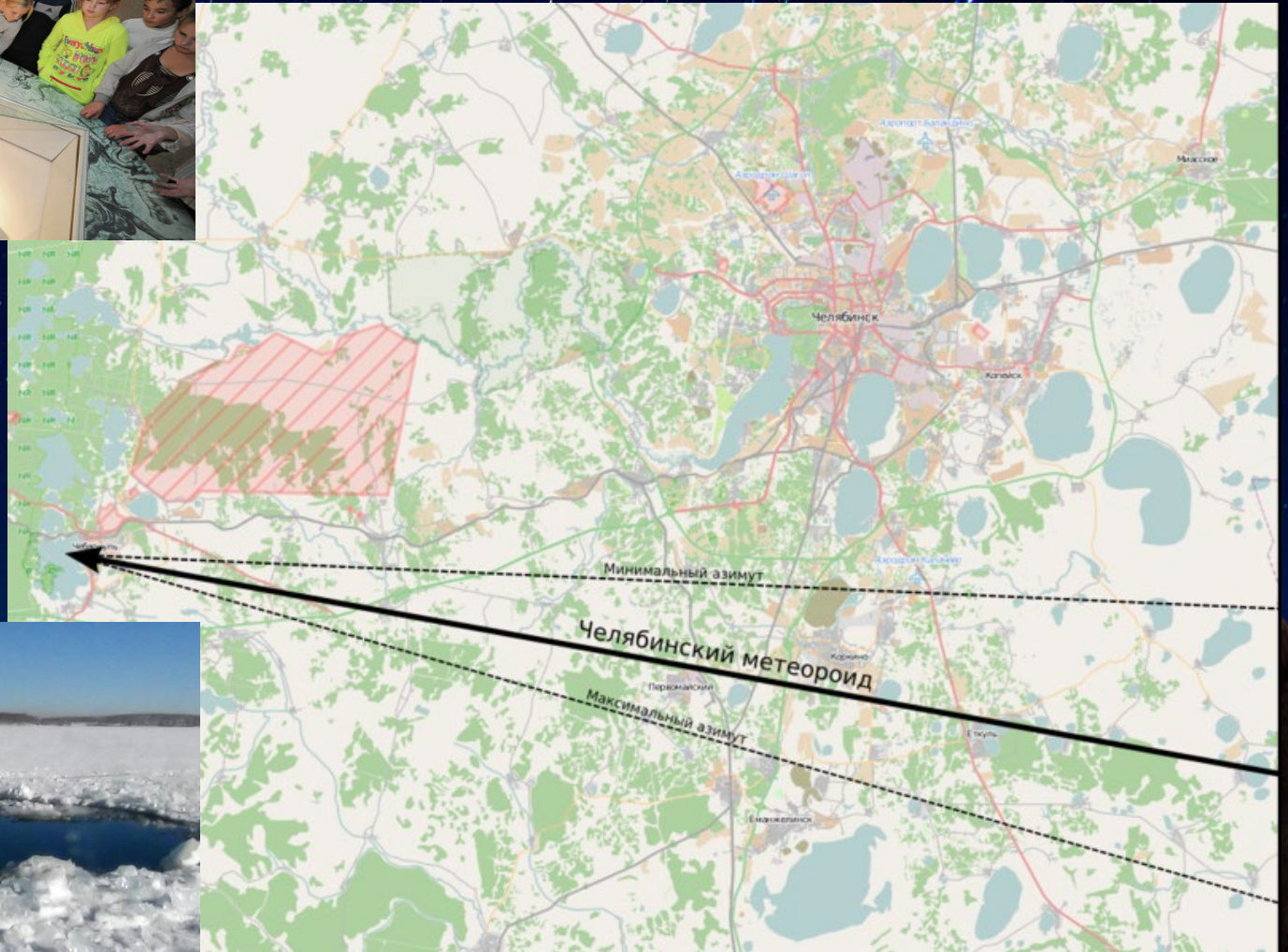
оливин и ортопироксен – основные вещества, троилит, хезлибудит, камасит, тэнит, хромид, диопсид, плагиоклаз и др. – примеси.



Схема падения метеороида



[https://ria.ru/studies/
20140213/994660187.html](https://ria.ru/studies/20140213/994660187.html)



tunguska.ru

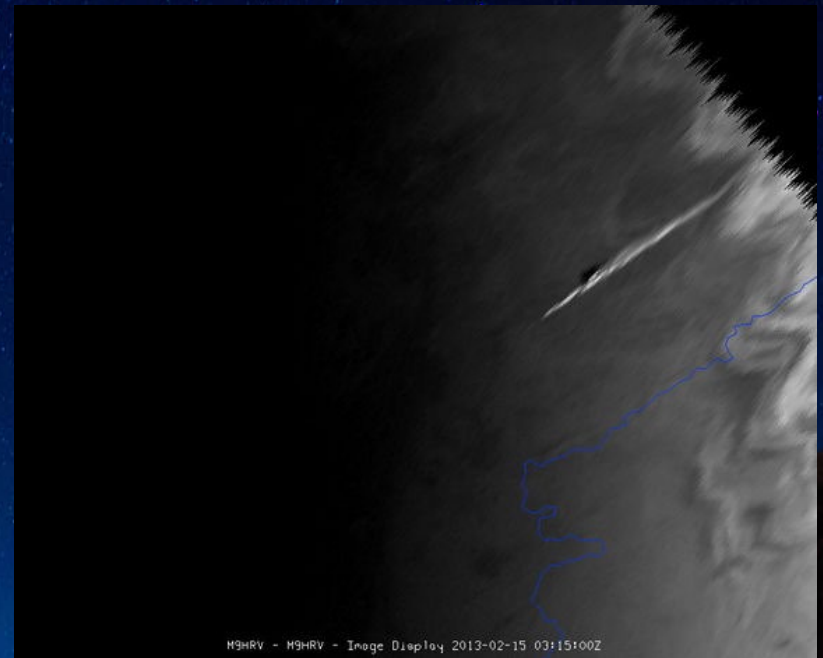
<http://www.infoniac.ru/news/Uchenye-vyyasnili-otkuda-i-kak-letel-Chelyabinskii-meteorit.html>

Снимки Челябинского метеороида из космоса

Геостационар «Метеосат – 10»



Геостационар «Метеосат – 9»



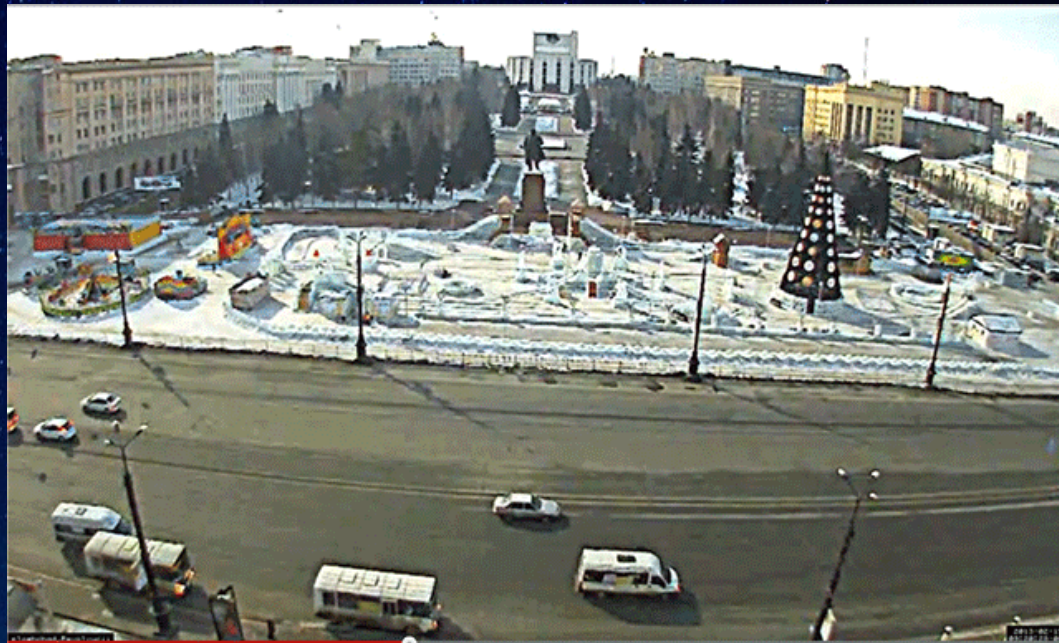
Определение траектории Челябинского болида

Исследователи из университета Антиокуа (Медельин, Колумбия) первыми вычислили траекторию полета челябинского болида, а также установили происхождение метеороида и предполагаемые параметры его изначальной орбиты. Главным материалом послужили записи с камеры, установленной на Площади Революции в Челябинске. Кадры были сопоставлены с записями автомобильных видеорегистраторов, снимавших событие с самых разных ракурсов. Общее число пригодных для анализа видеосвидетельств исчисляется десятками. Особенно ценен тот факт, что все записи сделаны независимо, а максимальная удаленность камер друг от друга составила около семисот километров.

Для вычисления наиболее вероятных параметров орбиты и оценки степени дисперсии были использованы численные методы Монте-Карло.

Скорость относительно поверхности Земли составила $19,65 - 13,43$ км/с. Высота в момент приобретения максимальной яркости — $46,75 - 32,47$ км. Логично предположить, что крупный обломок, пробивший лед на озере Чебаркуль, продолжил траекторию основного метеорного тела до его взрыва. Точное время и координата падения существенно снижает неопределённость. Установлено, что при входе в атмосферу для наблюдателя с Земли болид находился вблизи точки восхода Солнца, а его радиант соответствовал созвездию Пегаса.

Площадь Революции в Челябинске



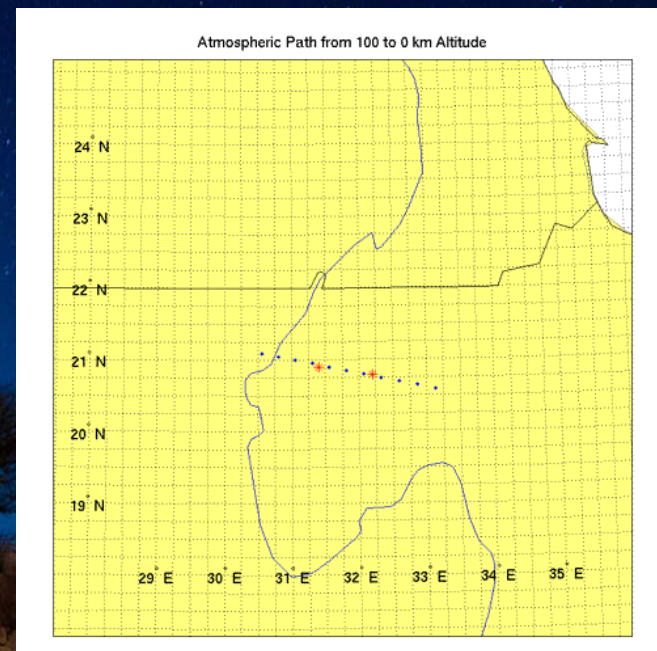
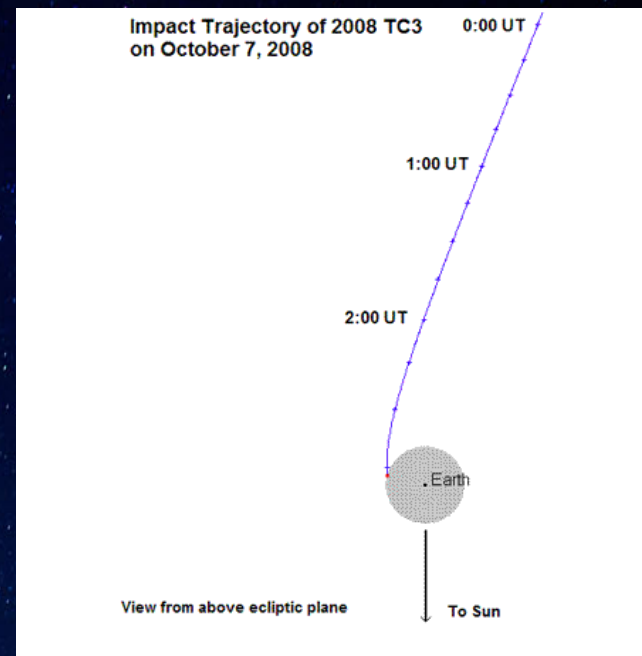
<http://www.computerra.ru/56873/opredeleno-proishozhdenie-i-vyichislena-ishodnaya-orbita-chelyabinskogo-meteorita/>

Метеороид 2008 TC₃

2008 TC₃ — метеороид, диаметром от двух до пяти метров. Столкнулся с Землей 7 октября 2008 г. в 02:46 UTC. Наземные наблюдатели смогли зафиксировать яркий болид. Метеороид разрушился при падении в атмосфере над территорией Судана, часть обломков достигла поверхности Земли. 2008 TC₃ был открыт за день до падения в обсерватории Маунт-Леммон (к северу от города Тусон, Аризона, США) при помощи полутораметрового телескопа CSS. Падение 2008 TC₃ было первым предсказанным падением небесного тела на Землю.

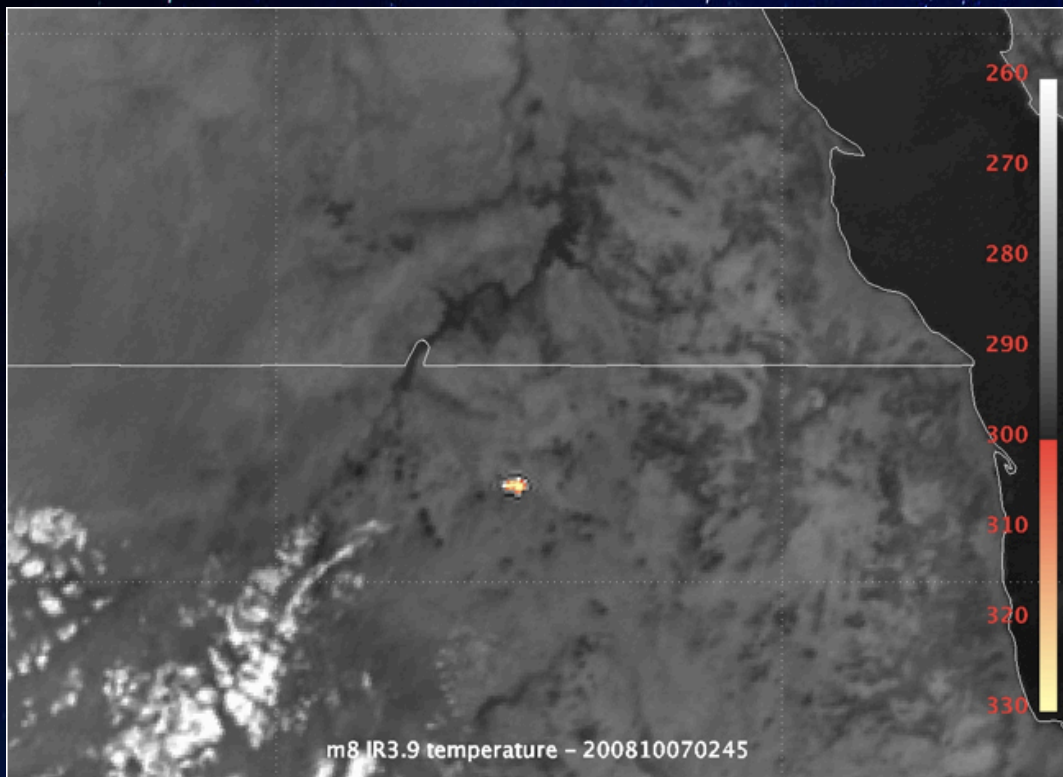
Одна из станций инфразвукового слежения за атмосферой, расположенная в Кении, в 05:10 UTC зафиксировала сигнал, вероятно, связанный со взрывом в атмосфере. Мощность взрыва оценивается от 1.1 до 2.1 килотонн в тротиловом эквиваленте

При начальной массе 83 ± 25 тонн и скорости 12.4 км/с на высоте 50 км астероид начал разрушаться на высоте 46-42 км при динамическом давлении 0.2-0.3 МПа и позже взорвался на высоте 37 км, когда динамическое давление составило 1 МПа. Только 0.005 % первоначальной массы астероида удалось собрать на поверхности, а остальное испарилось.



Метеороид 2008 TC₃

Геостационар «Метеосат – 8»



Copyright EUMETSAT



Авторы и права: Мохамед Эласан Абделатиф Маир (Noub NGO), Доктор Маувиа Х. Шадад (Университет г. Хартум), Доктор Петер Дженискенс (Институт SETI/НАСА Ames)

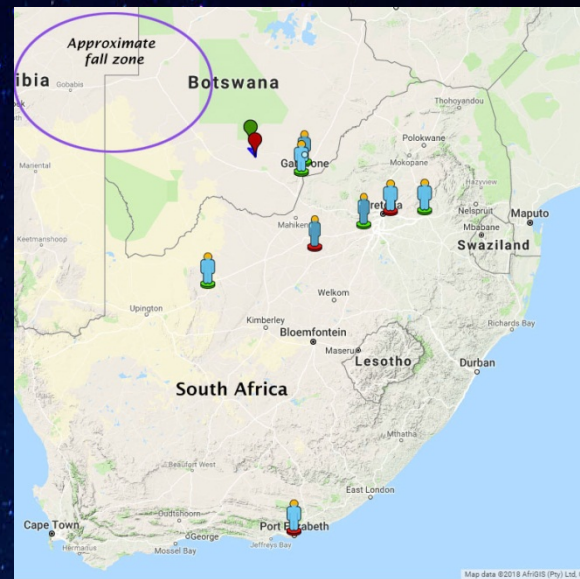
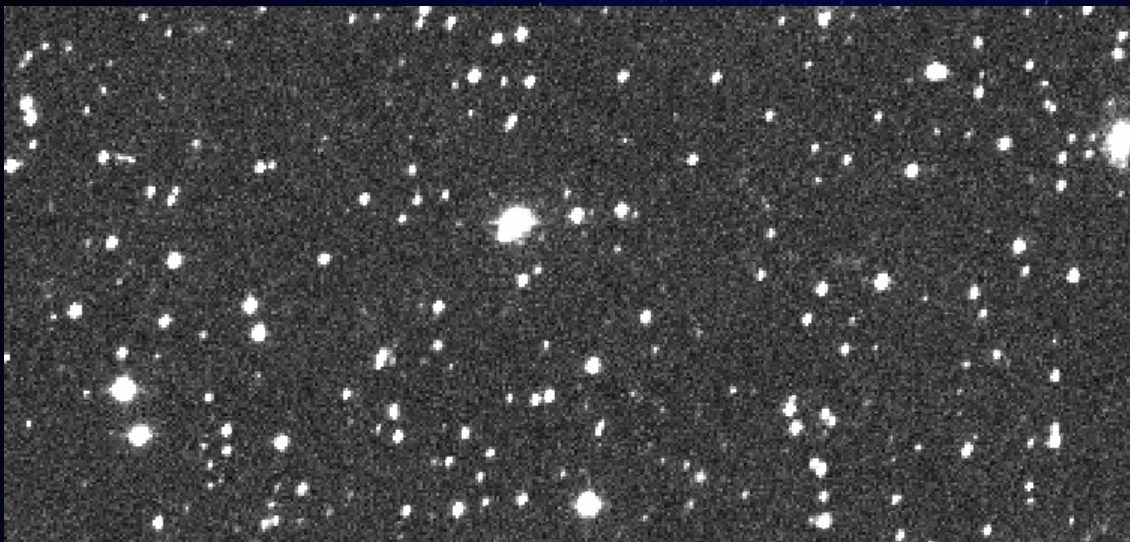
Альмахата-Ситта 15



Авторы и права: Петер Дженискенс (Институт SETI/НАСА/Исследовательский центр Эймса)

Метеороид 2018 LA

2 июня 2018 г.



Copyright Catalina Sky Survey
(<http://astrobob.areavoices.com/2018/06/05/tiny-asteroid-2018-la-hits-earth-hours-after-discovery/>)

<http://www.skyandtelescope.com/astronomy-news/asteroid-2018-la-explodes-south-africa/>



<http://www.skyandtelescope.com/astronomy-news/asteroid-2018-la-explodes-south-africa/>

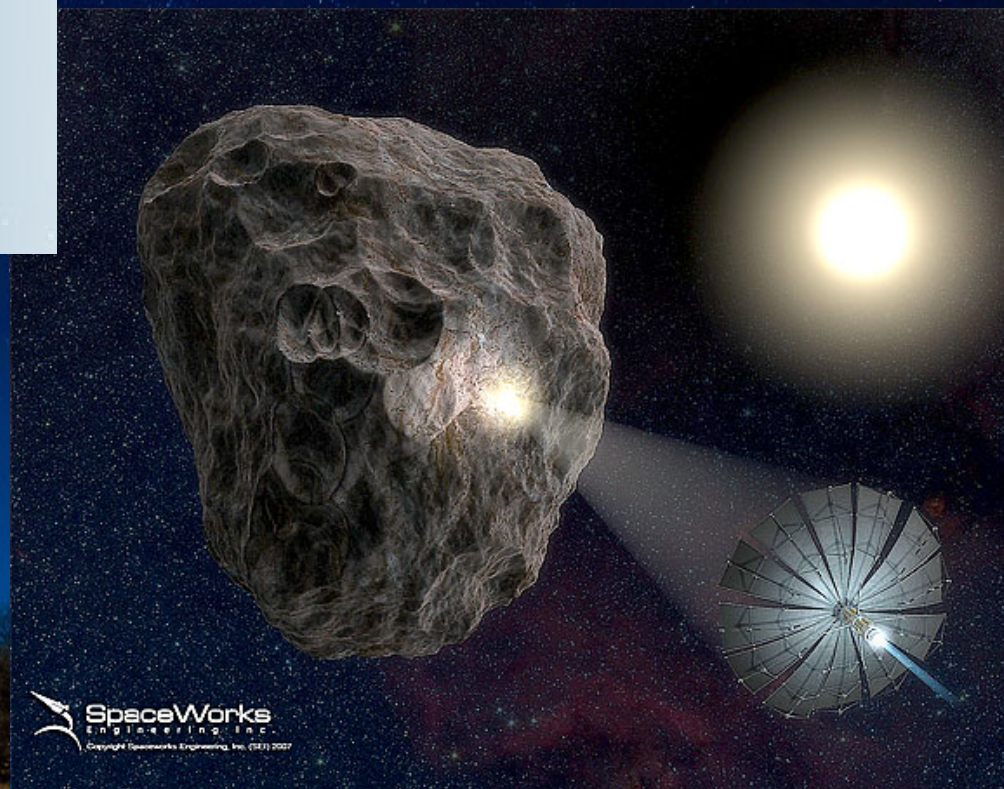
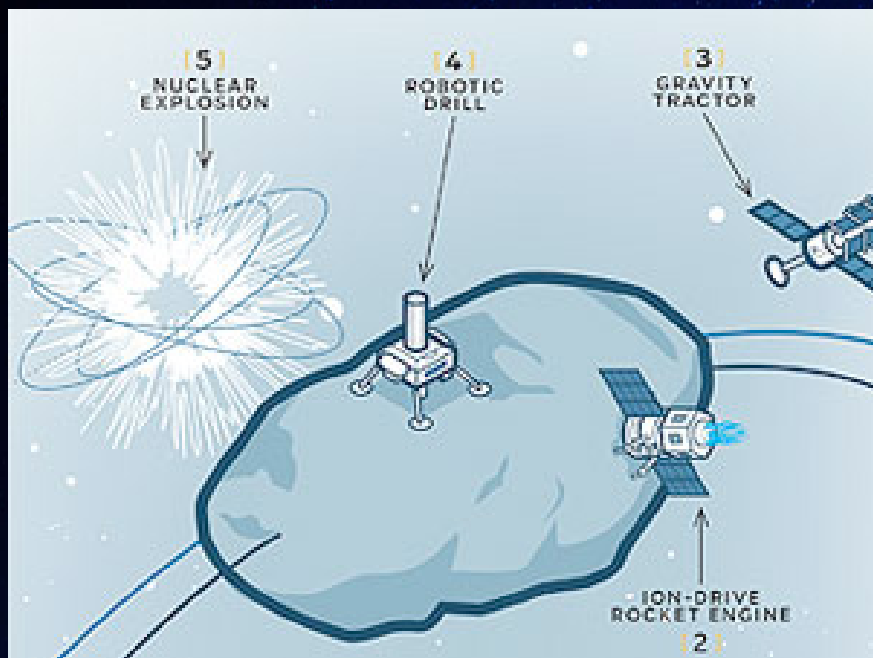
Способы противодействия астероидно-кометной опасности (по времени применения)

- ✦ **I этап** (“remote interdiction”) – противодействия на больших расстояниях с временем до столкновения от года до нескольких десятилетий. Включает в себя защиту как от хорошо известных объектов (АСЗ), так и от объектов с плохоопределенными орбитами (ненумерованные АСЗ, коротко-периодические кометы).
- ✦ **II этап** (“terminal interception”) – противодействие с временем до столкновения не более года. Обеспечивается защита от «объектов непосредственной угрозы» (недавно открытые малые планеты, долгопериодические кометы).
- ✦ **III этап** (“horror scenario”) – противодействие в непосредственной близости от Земли или даже в ее атмосфере. Защита от «объектов неотвратимой угрозы» (неизвестные АСЗ, долгопериодические кометы, метеороиды типа Тунгусского).

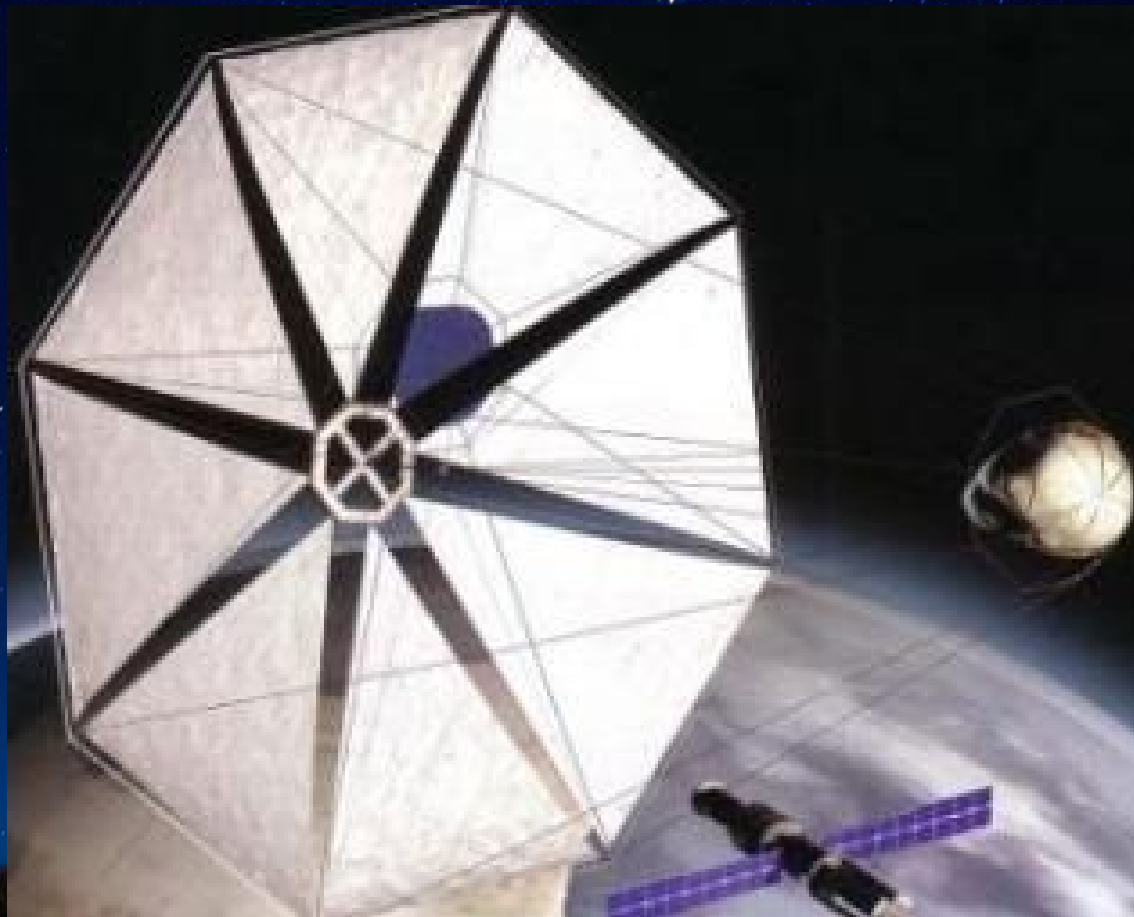
Способы воздействия на объект, сближающийся с Землей (ОСЗ) для предотвращения астероидно-кометной опасности

Тип действия	Длительность воздействия	Тип средств	Средства
Отклонение ОСЗ от траектории столкновения	Кратковременное (ударное, импульсное)	Неядерное	Кинетическая энергия КА, ДБТ на ОСЗ
		Ядерное	ВТВ, ПТВ
	Долговременное	Пассивные	Солнечный парус, фокусирующее зеркало, изменение альбеда
		Активные	ДМТ на ОСЗ, СВЧ-излучение, лазеры
Разрушение объекта	Кратковременное (ударное)	Неядерные	Кинетическая энергия КА, поток высокоскоростных частиц
		Ядерные	ВТВ, ПТВ, ГТВ

Способы отклонения АСЗ



Отклонение АСЗ с помощью солнечного паруса

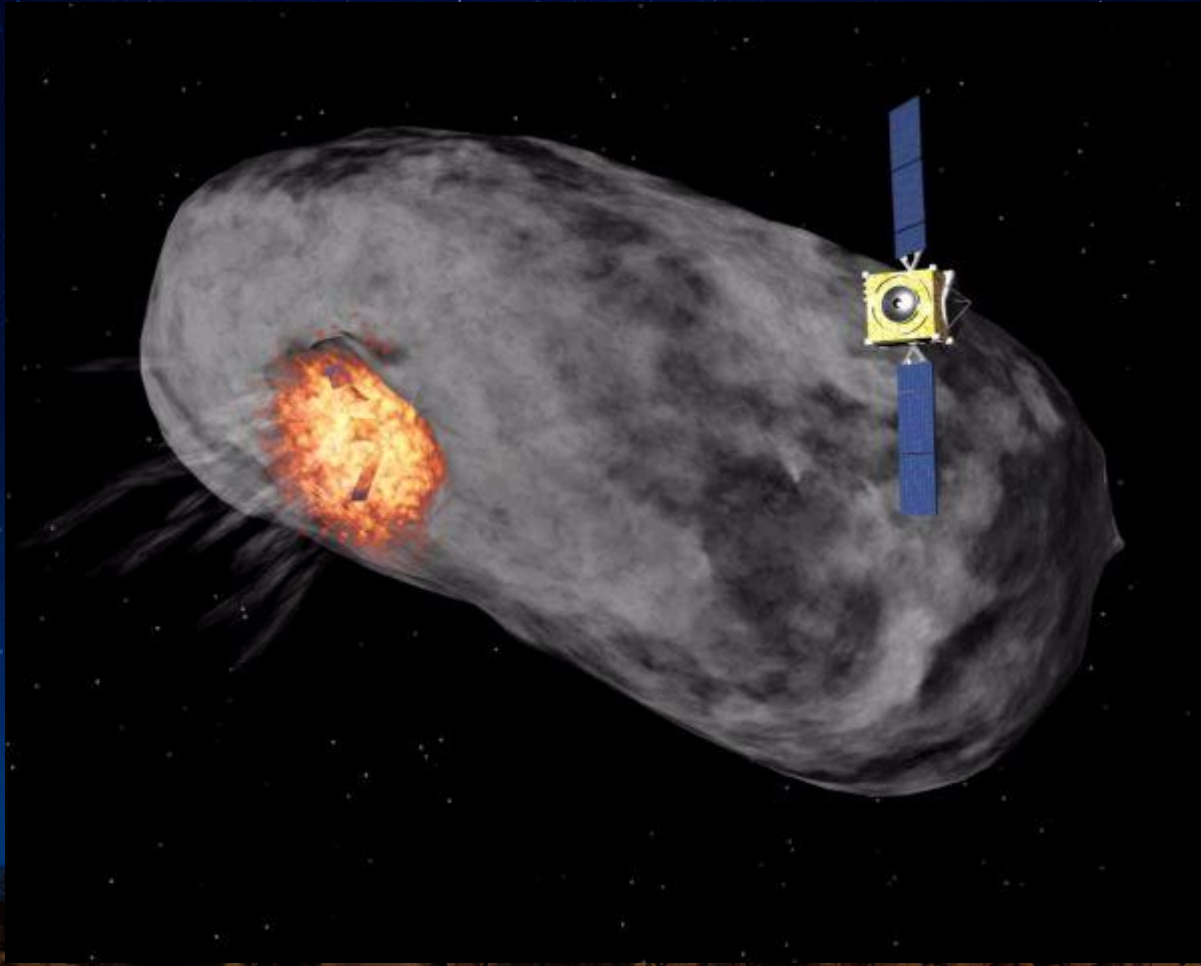


Отклонение АСЗ с помощью космического аппарата



«Дон Кихот» спасет Землю от Апофиса

(http://www.thesis.lebedev.ru/astronomy_news.html?did=1410)



Фантастическая атака астероида роботами



Спасибо за внимание