

サステナブル宇宙開発

宇宙ステーションの船外活動中に
誤って落下した工具はどうなる？

Facebook 数学物理グループ
七夕研究会

2024年 7月 7日

時枝 幸伸

1. 大気圏まで落下する

→ 燃え尽きる



2. 楕円軌道を描き続ける

→ スペースデブリになる



3. 地球の重力を振り切って無限遠へ

... 第2宇宙速度 (円軌道速度の 1.414倍) を
超える必要があるので, これはない...

検討準備

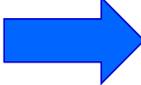
斜め投げ上げを考えてみる。

ケプラーの法則にしたがい楕円軌道を描く。

離心率 (楕円の扁平度合に相当)

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{2v_0^2}{V_1^2} - \frac{v_0^4}{V_1^4} \right) \cos^2 \theta_0},$$

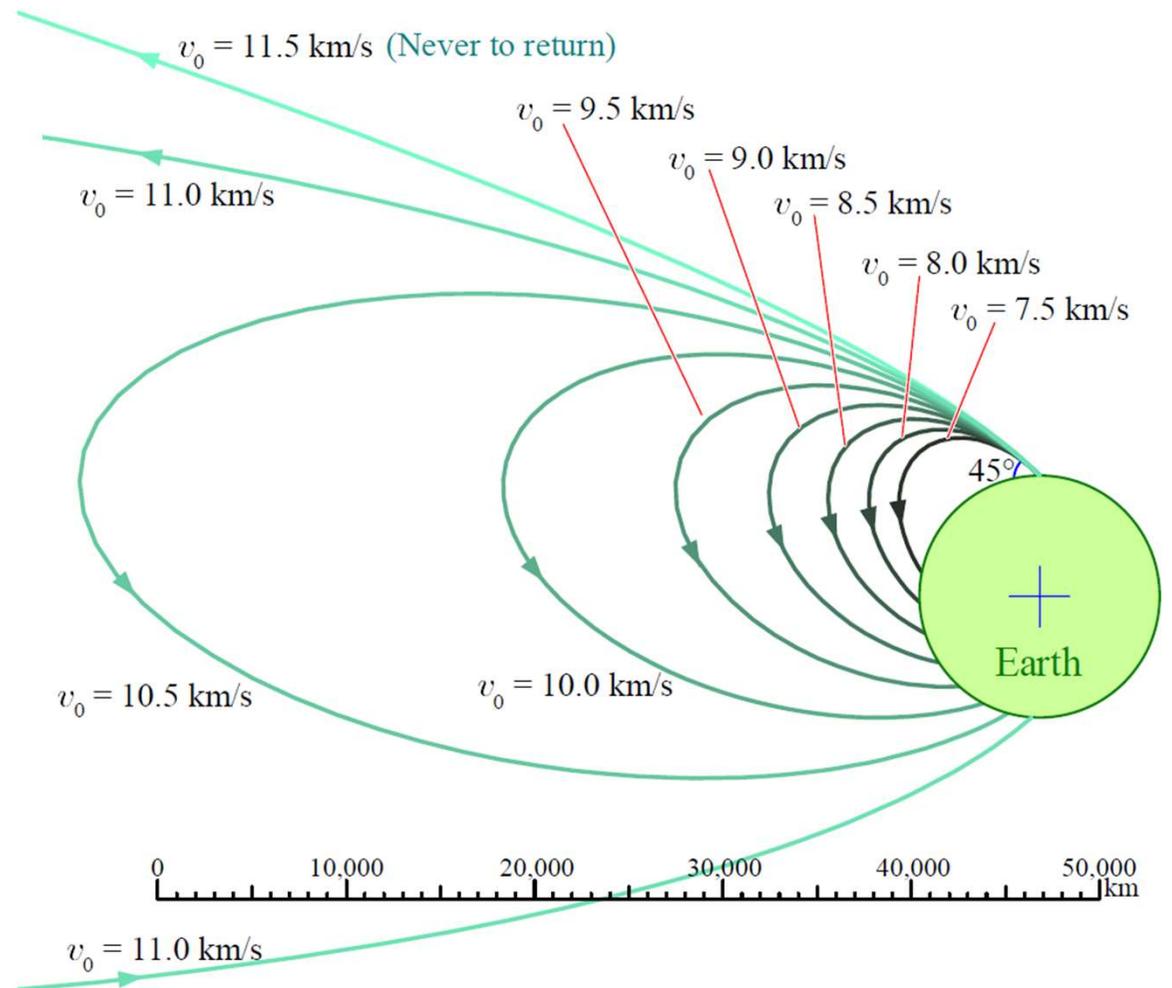
参考: 第1宇宙速度 $V_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}},$

投げ上げた物体の軌道 

誤って落とした工具も
同様に計算できる。



次のページへ



大気圏まで落下するか？

[4]

かなり大げさな条件設定で計算してみる

200m/s で工具を地球に向かって投げ込む。

大気圏上端の高度を
100km とする。

$$V_1 = \sqrt{\frac{GM}{R + h_0}} = 7.660 \times 10^3 \text{ m/s,}$$

近点高度: 237km

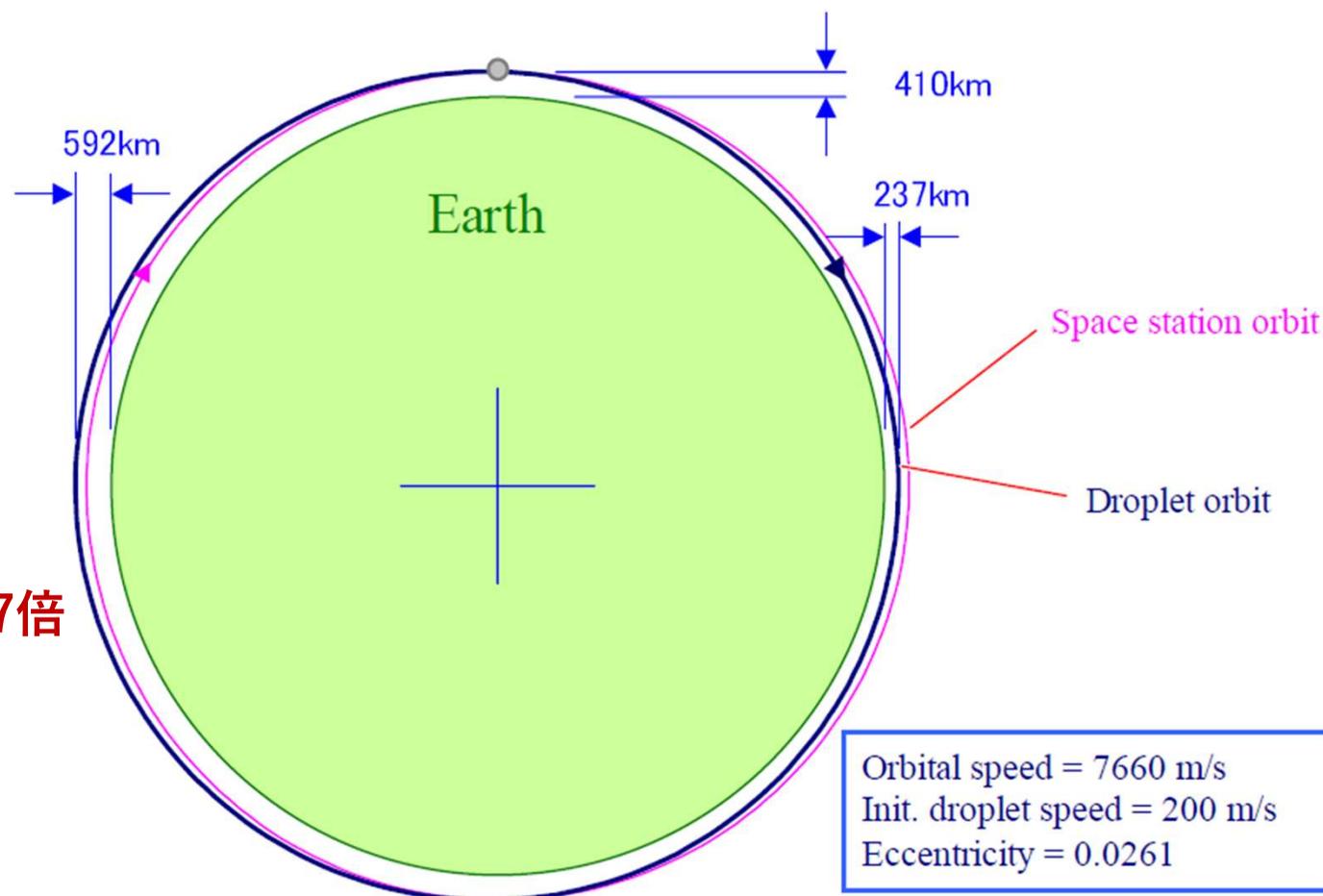
遠点高度: 592km

→ 大気圏には
届かず。

大気圏に届く
投げ込み速度

> 347m/s

大谷翔平 剛速球の7.7倍



「誤って落下」の
初速度では

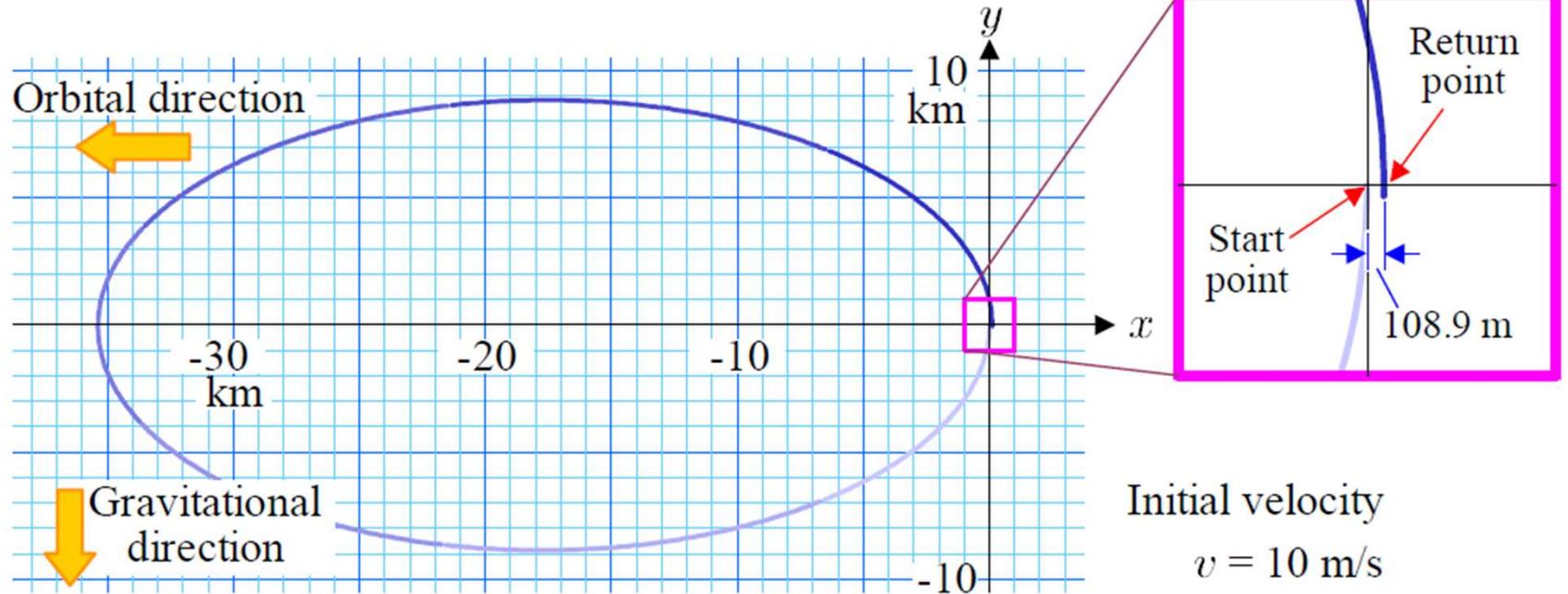
楕円軌道を描き続け **スペースデブリになる。**

回収するチャンスはないのか？

[5]

宇宙ステーション基準の相対位置を計算してみた
10m/s で投げ込んだ場合で計算

ぐるりと回って戻ってくるように見える！



10m/s 投げ込みでは 109m 前方に戻ってくる。
1m/s 投げ込みでは 1.1m 前方に戻ってくる。

落とした工具が回収できるかも!?

疑問点...

1. 動径方向の速度成分しか考えていない。接線成分の影響は？
2. そもそも戻ってきた点がなぜずれる？

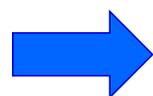
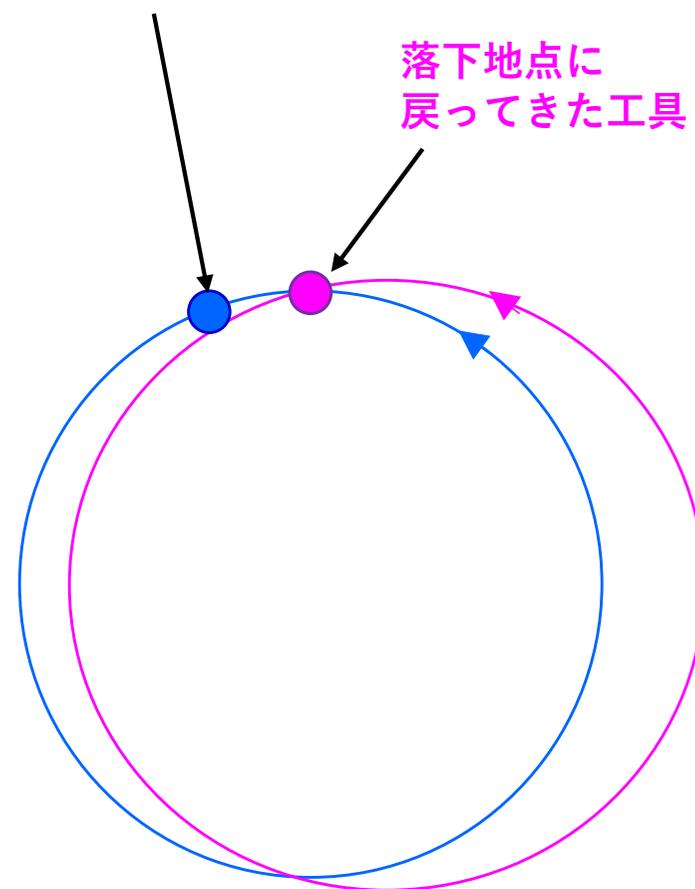
疑問点2 について

工具は確かに落下したその場所に
戻ってくる。(ケプラーの法則)

- 工具の軌道は、軌道長半径がわずかに大きくなっている。
 - 公転周期が宇宙ステーションより
 - わずかに長い。初速度10m/sの例では、
 - 公転周期は 14ミリ秒 だけ長くなる。
 - 周回した宇宙ステーションは
相当する時間だけ前方にいる。
- = **これがずれのメカニズム**

周回し、さらにもう少し
移動した宇宙ステーション

落下地点に
戻ってきた工具



この規則性に基づき疑問点1を解析 (次のページ)

疑問点1 について

$$\text{初速度 } v_0 = \alpha V_1$$

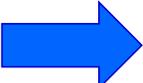
初速度方向	離心率	軌道長半径	公転周期
動径方向	α	$(1 + \alpha^2) R$	$(1 + 3\alpha^2/2) T$
接線方向	2α	$(1 + 2\alpha) R$	$(1 + 3\alpha) T$

$R = 6788\text{km}$ (= 宇宙ステーションの軌道半径)
 $T = 92\text{min } 48\text{sec}$ (= 宇宙ステーションの公転周期)
 α が十分小さいときの近似式で記述

初速度 $v_0 = 1\text{m/s}$ を代入すると…

初速度方向	離心率	軌道長半径	公転周期	位置ずれ量
動径方向	1.31×10^{-4}	$R + 0.46\text{m}$	$T + 0.14\text{ms}$	1.07m
接線方向	2.61×10^{-4}	$R + 1.77\text{km}$	$T + 2.18\text{s}$	16.7km

戻ってきた工具のずれ量は、接線方向の速度成分に関して超敏感である。
わずかな速度成分で回収は極めて難しくなる。

 **落とされた工具は ほぼ確実にスペースデブリになる。**

宇宙ステーションの船外活動で落とした工具は
ほぼ確実にスペースデブリになる。

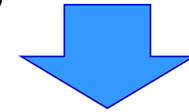
- 大気圏まで届かずに楕円軌道を描く。
- 公転周期が変化するので回収が極めて困難。

スペースデブリになると、
宇宙に出ていく人類に迷惑を
かけ続けることになる。
(小さいデブリほどタチが悪い)

工具の落下防止は必須である。
…すでにやっていると思うけど。



ご静聴 ありがとうございました。
物理・数学解説サイトを運営しています。
ご興味がありましたら訪問ください。



**Scientific
Doggie**

Scientific Doggie 数理の楽しみ
<http://www.wannyan.net/scidog>

