

2014年11月15-16日 長野ブラックホール天文教育研究会@長野県戸隠



附属高校公認
ゆるキャラ
『ふぞっくん』

高校物理で天文する

渡會兼也



金沢大学附属高等学校

Kanazawa University Senior High School

SGH スーパーグローバルハイスクール



カウントダウン
北陸新幹線
金沢開業
平成26年度末

最新情報

話の内容

◎高校の物理での天文学

- 授業の中で(天文学、特にBHとの関連分野)
- 外部企画
- 課題レポート

今までやってきたことの幾つか紹介します。

※進学校での実践例だと思ってください。

金沢大学附属高等学校の紹介

- 校風：自主自律
- 規模：1学年120名程度
(3クラス) 教員24名
- 理科の選択：物理・化学
が3分の2、生物3分の
1(理科教員は3名)
- クラスは文理混合
- 本年度からSGH(理科
・数学もコミット)



*ヒッグス粒子研究：LHCアトラス実験
代表者の浅井祥二氏(東大)は本校37回生

高校物理の中の天文

◎基礎のつかない『物理』

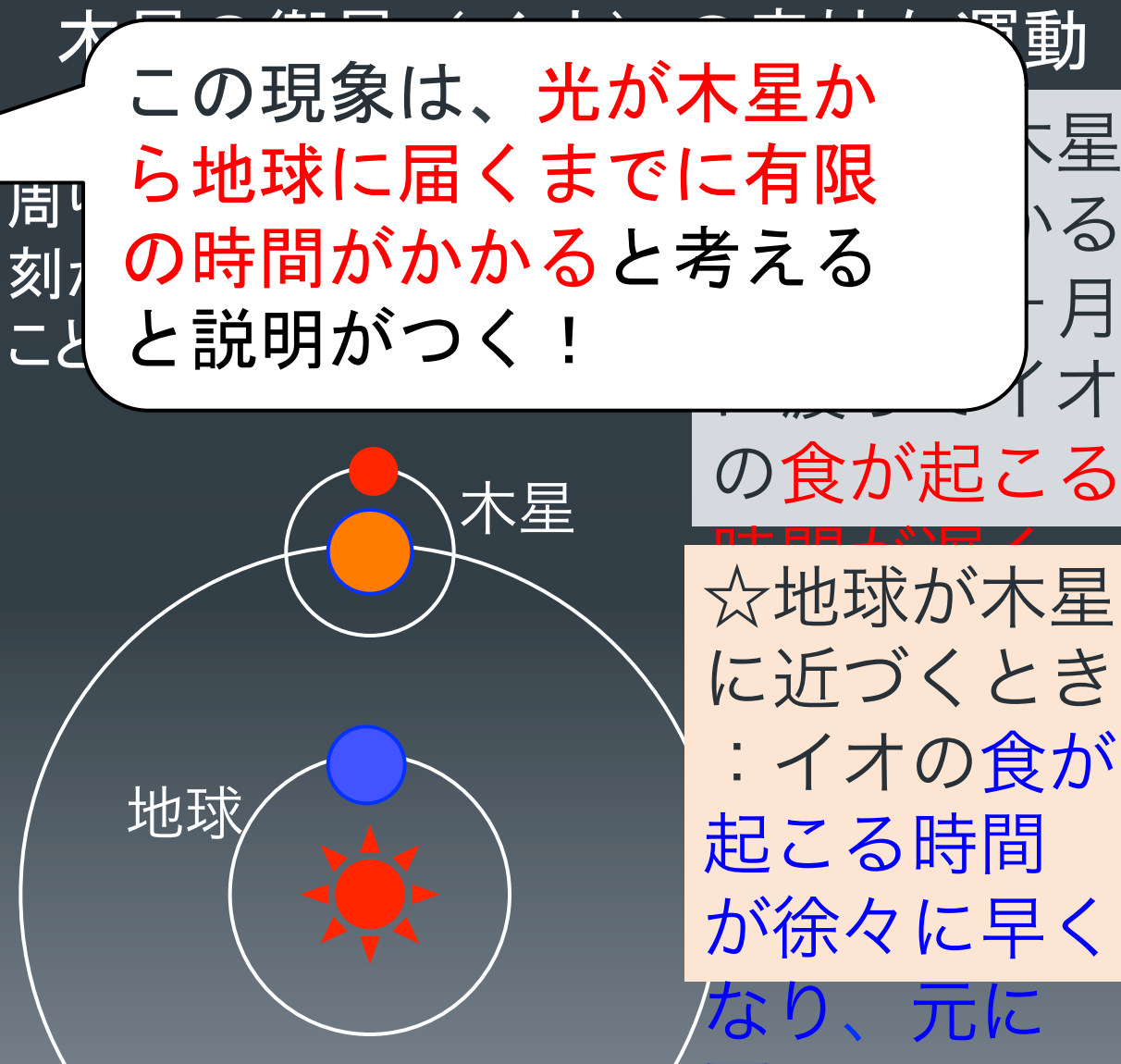
- ケプラーの法則・万有引力
 - ⇒ 惑星・衛星の軌道
- 宇宙速度
 - ⇒ 人工衛星、ロケット、BH
- 運動量保存
 - ⇒ 多段階ロケット、スイングバイ
- 光速測定の原理(フィゾーの光速測定実験の前に、レーマーとブラッドレーの話 など)
- 光のスペクトル

時代の先駆者：レーマーの観測



オーレ・クリステンセン・レーマー (Ole Christensen Rømer、1644年9月25日 - 1710年9月19日) はデンマークの天文学者。1676年に、科学的に意味のある光速度の値を世界で初めて算出した (←間違い)。

この現象は、**光が木星から地球に届くまでに有限の時間がかかる**と考えると説明がつく！



の**食**が起こる

☆地球が木星に近づくととき：**イオの食**が起こる時間が徐々に早くなり、元に

観測から光速を見積もる

Q2 光の速度が無限の場合、イオの食が起こる時間の差を説明できるか。

Q3 地球がHに居るときとEに居るときに食の起こった時刻の時間差は約20分であった。そこから光の速度を見積もりなさい。

わかっている情報

地球—太陽間の距離: 1 天文単位
($1.5 \times 10^{11} \text{m}$)

木星の衛星 (イオ) の公転周期
(1.761日)

木星の半径 $7.1 \times 10^4 [\text{km}]$,
イオの軌道半径 581 [km]

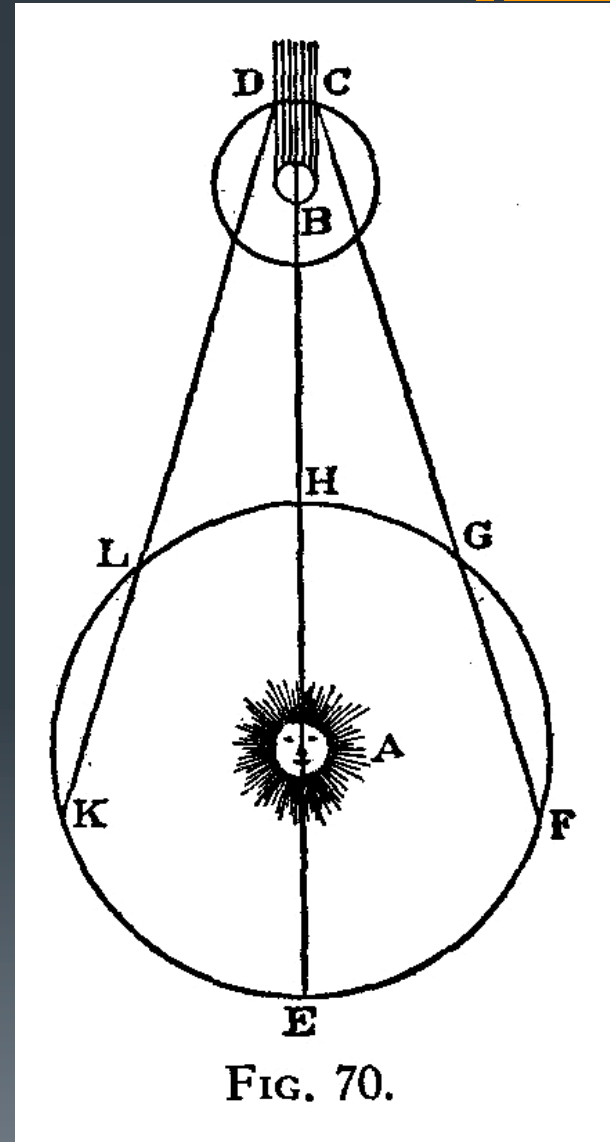


FIG. 70.

レーマーの問題

A2 もし、光の速度が無限大だったとする
(仮定)

⇒光は一瞬で届く⇒食も一瞬で起こる

⇒HとEで食の時間に差がない。

⇒仮定に矛盾

A3 地球で観測：H点とE点で観測する
食の時間差 Δt は約20分

⇒光がHE間を移動する時間！

よって、光の速度 c は

$$c = \frac{\text{地球 - 太陽の距離の2倍}}{\text{食の時間差}} = \frac{2R_{\oplus}}{\Delta t}$$
$$= \frac{2 \times (1.5 \times 10^{11})}{20 \times 60} = 2.5 \times 10^8 [\text{m/s}]$$

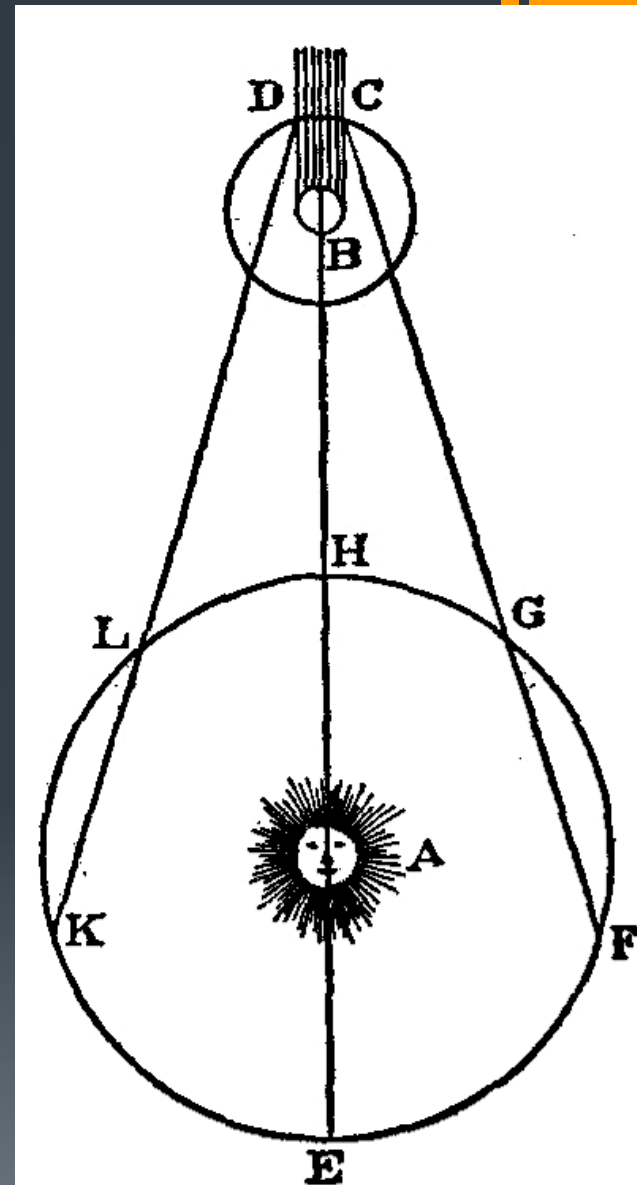


FIG. 70.

レーマラーの問題：食の時間

(光速の見積もりには関係ないが...)

イオが木星(CD間)を横切る速度 V は、

$$V = \frac{\text{イオの木星軌道円周}}{\text{公転周期}} = \frac{2\pi(r + R_*)}{T}$$
$$= \frac{2 \times 3.14 \times (581 + 7.1 \times 10^4)}{1.8 \times 3600 \times 24} = 2.9 \times 10^3 [\text{m/s}]$$

イオが木星を横切る時間 ΔT は

$$\Delta T \approx \frac{\text{木星の直径}}{\text{公転速度}} = \frac{2R_*}{V}$$
$$= \frac{2R_* T}{2\pi(r + R_*)} = 4.8 \times 10^4 [\text{s}]$$

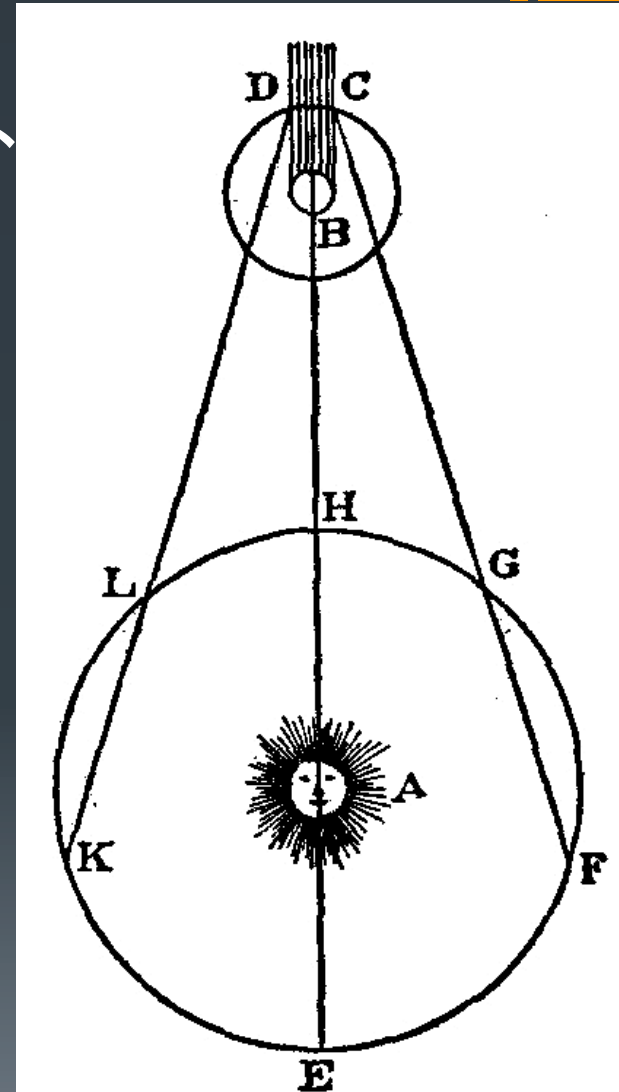
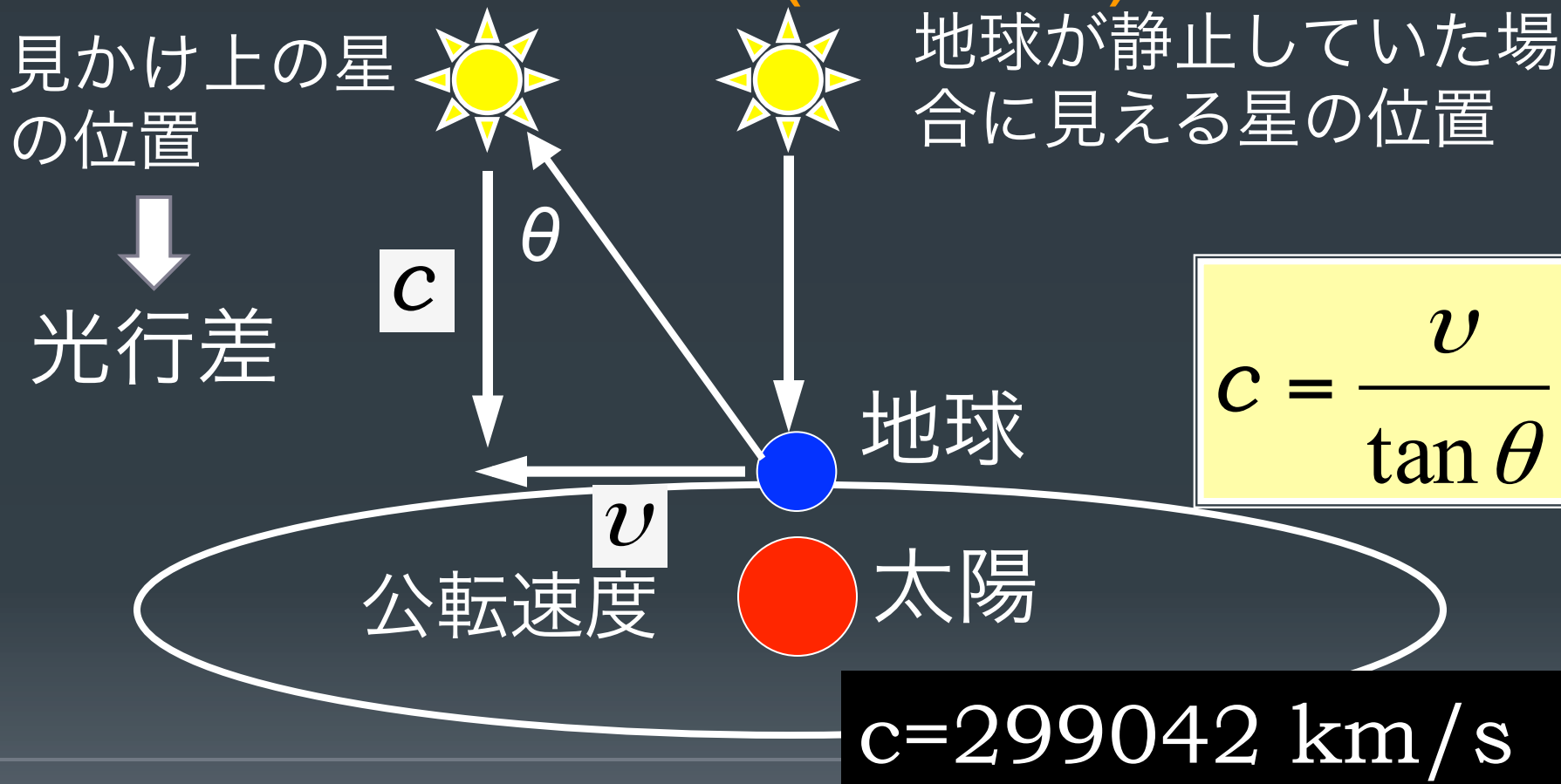


FIG. 70.

ブラッドレーの観測(1725年)



ブラッドレーの観測によって、
光速が有限であることが世間に認められた。

大学入試問題で天文する

◎入試問題をアウトリーチに利用する！（一石二鳥）

- 大学入試問題（物理）で扱う法則

- 1 万有引力の法則

- 2 ケプラーの三法則

- 3 力学的エネルギー保存則

この3つを組み合わせる



- 入試問題での出題

惑星・人工衛星の軌道（円運動・楕円運動）

観測：ドップラー効果

問題①: 2006年東京大学

- 系外惑星探査がテーマ
- Doppler法
- 万有引力、ケプラー、ドップラー効果の複合問題

問題②: 奈良県立医大2014

- 2天体が動く場合のケプラーの法則
- トランジット法による惑星探査

問題③：H10駿台東大模試

- 銀河中心のブラックホールの質量をガスの運動から求める。
- 万有引力、ケプラー、ドップラー効果の複合問題（宇宙膨張も若干）

まとめ①

- 限られたツールしか使えないが、高校物理で天文に触れることができる。
 - 天文学を扱う問題は力学・波動分野の複合。
 - 楕円が使えれば幅は広がる(楕円は数Ⅲ)。
- 課題：軌道計算以外に深めることができる課題

◎提案

- アウトリーチの方法としての問題集
- 補償光学・干渉計：波動分野での問題



外部企画で天文する

- SPPの利用(重レンズ)
- 中学生への学校紹介プログラム(H25 ビッグバン宇宙論 H26 重レンズ)



レポート課題で天文する

- 本校では夏休みに自由課題レポートを課している。その中で天文（特にブラックホール）に関連するトピックを紹介。

- 漫画『ブリーチ』に出てくる剣「侏助」で物体を斬りつけると、物体の質量が2倍になる。

⇒何回か叩けばブラックホールができるのでは？

結論：47回で恒星質量のBHができる。

- 他 ドラえもんの『栗まんじゅう問題』が有名

頭髪の圧縮によるブラックホールの形成 ～漫画「聖☆おにいさん」の考察～

今年度のとある生徒のレポート

- 『聖☆おにいさん』: ブッダとイエスが、下界のバカンスを満喫しようと、日本の東京都立川の安アパート(風呂なし・ペット禁止)の一室で「聖」(せい)という名字で暮らすという設定で描かれる日常コメディ。
- ブッダの髪(螺髪: らはつ)は神通力でまとめられたもの。漫画の中で「元に戻すと相当な長さになり、放っておくとブラックホールが発生しちゃう」
- ほんとにそうなのかを検証。

計算の仮定

- 頭髪は神通力でどこまでも圧縮または伸張できる。
- 頭髪の発毛密度は200本/cm²
- 頭髪の発毛速度は0.5mm/日
- 螺髪は直径1cmの球とする
- 頭髪の線密度は15cmで1mg
- 螺髪は球の下の直径1cmの円の頭皮に生える頭髪が集まりできたものとする。

- 脱出速度 v に光速 c を代入して、Schwartzchild半径 R_s を求める \Rightarrow 螺髪のサイズと考える

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}, R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

- 一日の髪の毛(M)の増加量(g)

$$\frac{\pi}{4} \times 200 \times 0.05 \div 15 \times 10^{-6} = 5.2 \times 10^{-7}$$

時間を未知数として求める

- 結論

$\Rightarrow \sim 10^{31}$ 年 心配なくていい

課題学習の効果は未知数

◎自分で課題を設定して、それを解決していく活動は教育的に非常に有効！

- ①参考文献を読む
- ②仮定を立てる
- ③計算と答え
- ④考察

実は学校生活でこういう場面はあまりない。
こういった活動が自発的に行われるのが理想

まとめ②

- 高校物理でもある程度天文について学べる。
- 高校生の日常の中で何ができそうか。アイデアください。