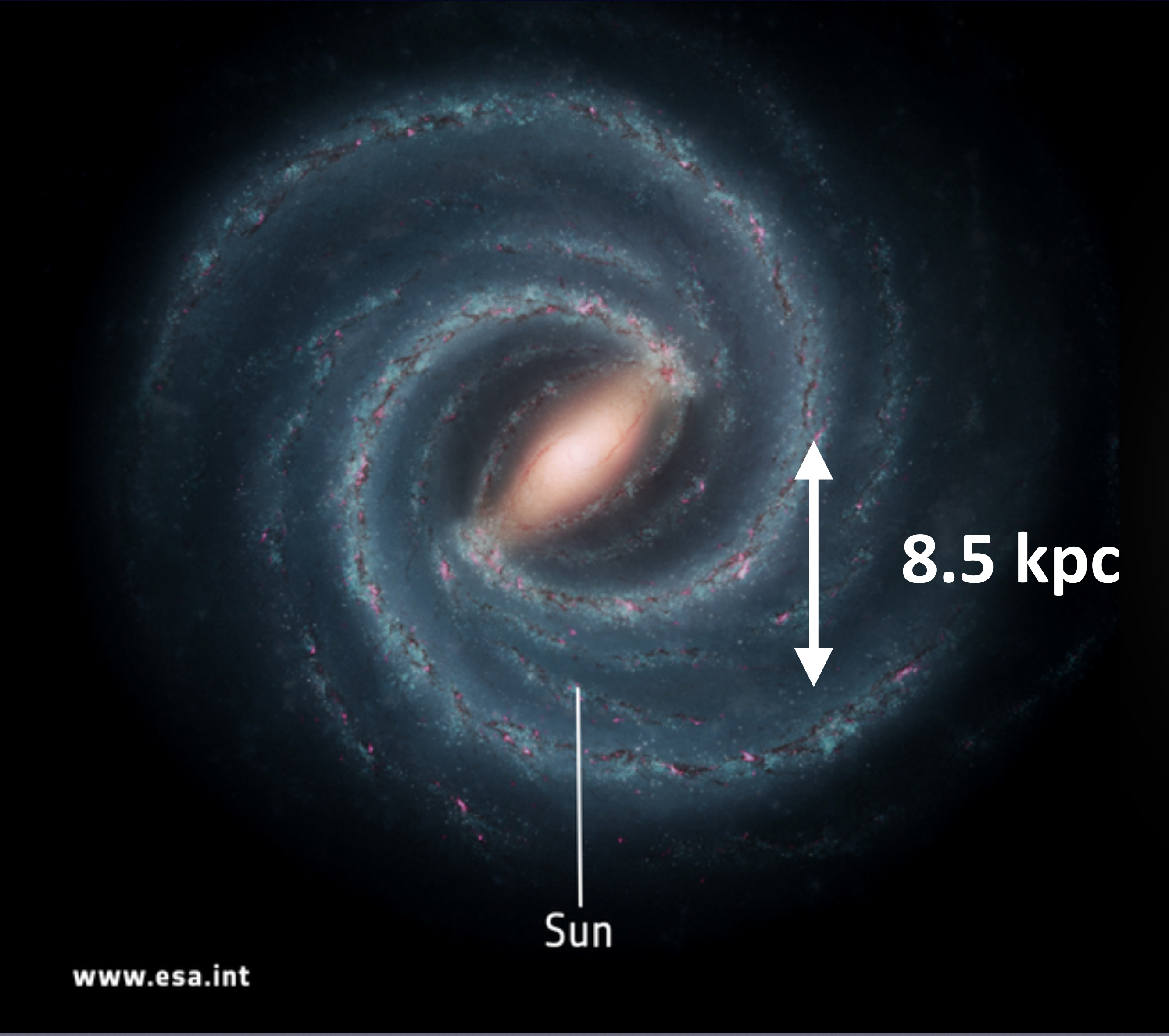
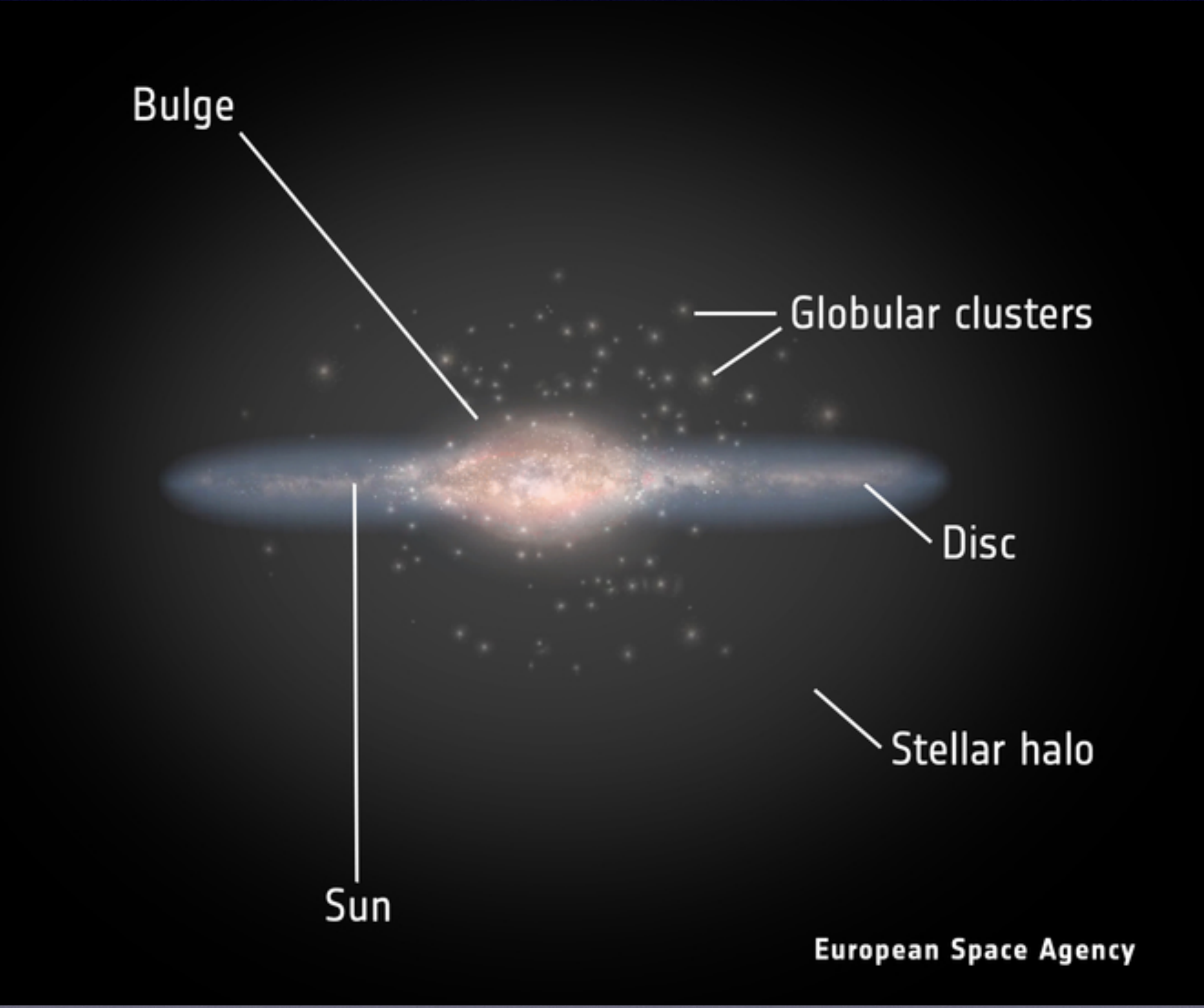
Section 11.
系外銀河と宇宙膨張

銀河系 (観測に基づく想像図)

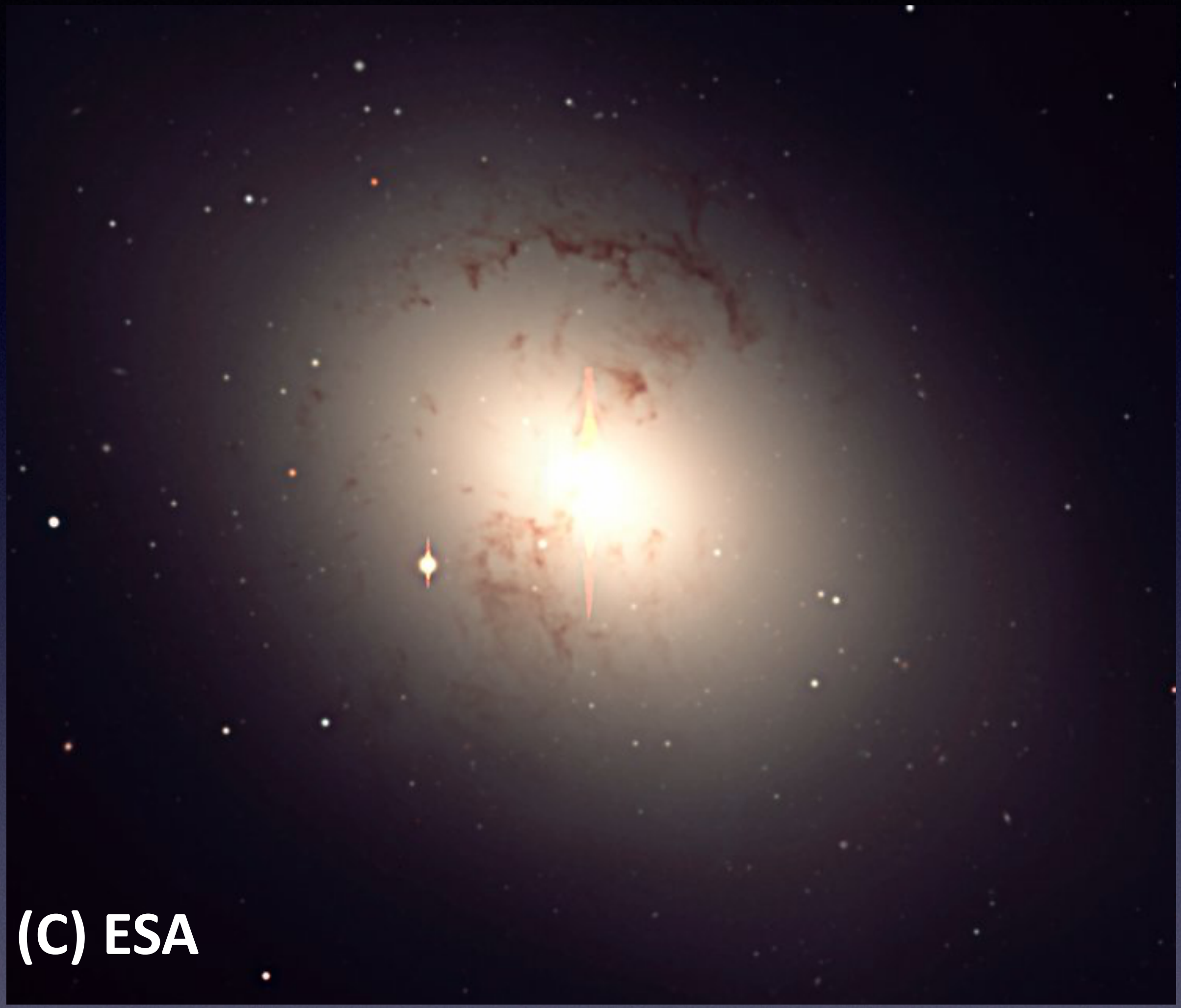
上から

横から





楕円銀河
（星を作っていない）

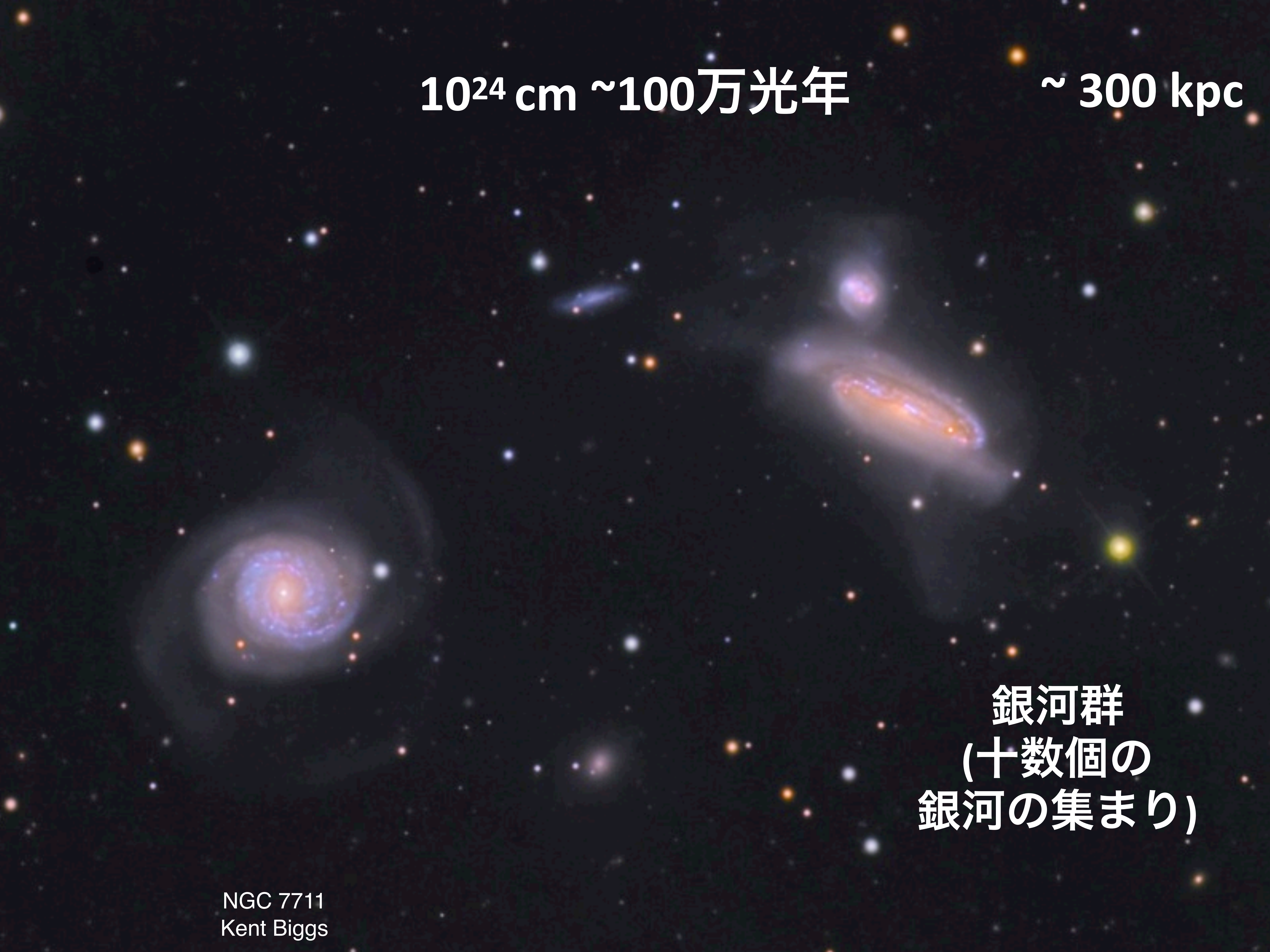


軽い星のみ
ガスがない

円盤銀河
（星を作っている）

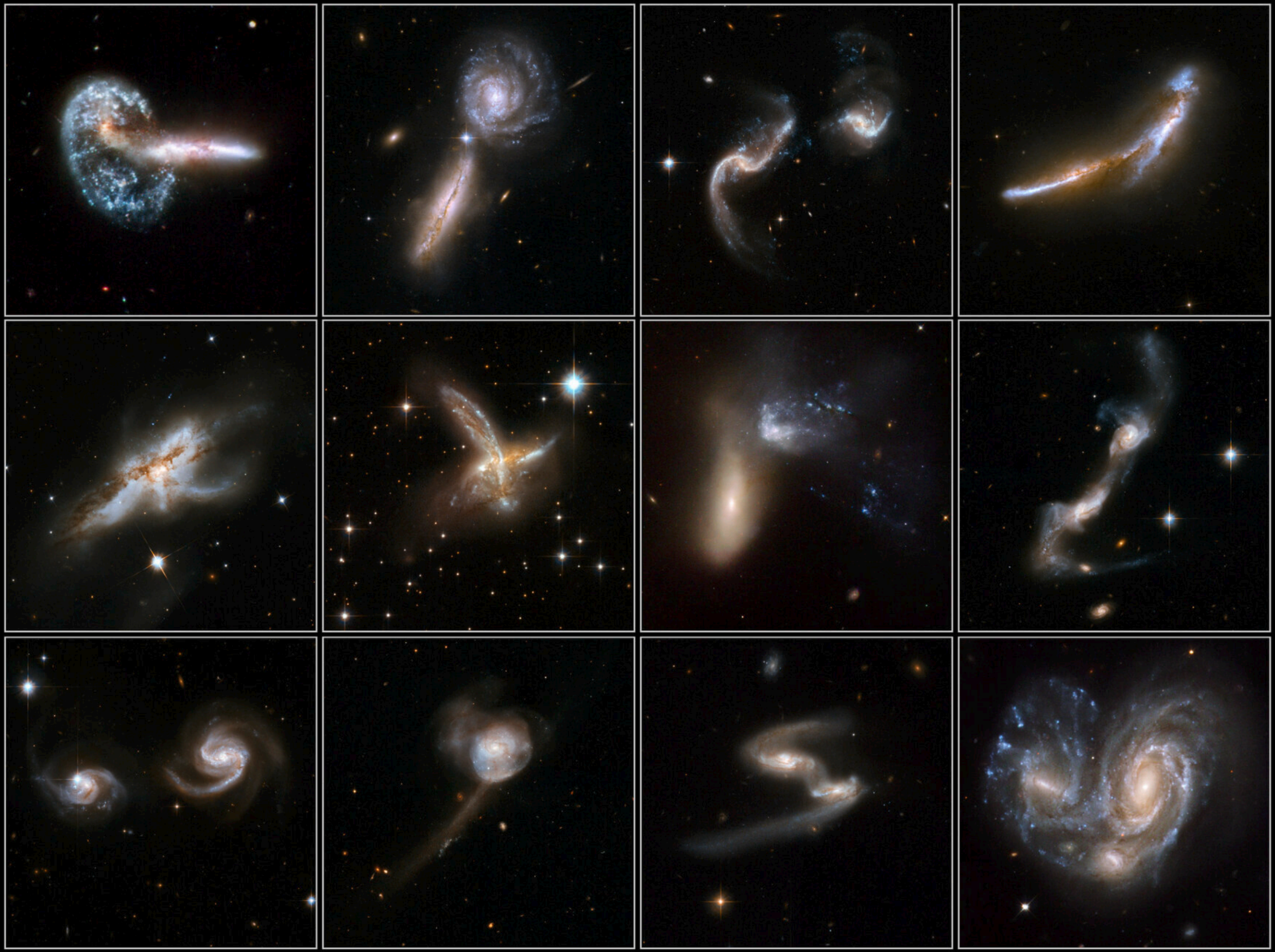
重い星＋軽い星
ガスがある (星の材料)

重い星：より明るい => 寿命が短い (超新星爆発など)


10^{24} cm ~100万光年
~ 300 kpc
銀河群
(十数個の
銀河の集まり)
NGC 7711
Kent Biggs

10^{25} cm ~ 1000万光年
~ 3 Mpc
銀河団
Virgo cluster

衝突する銀河

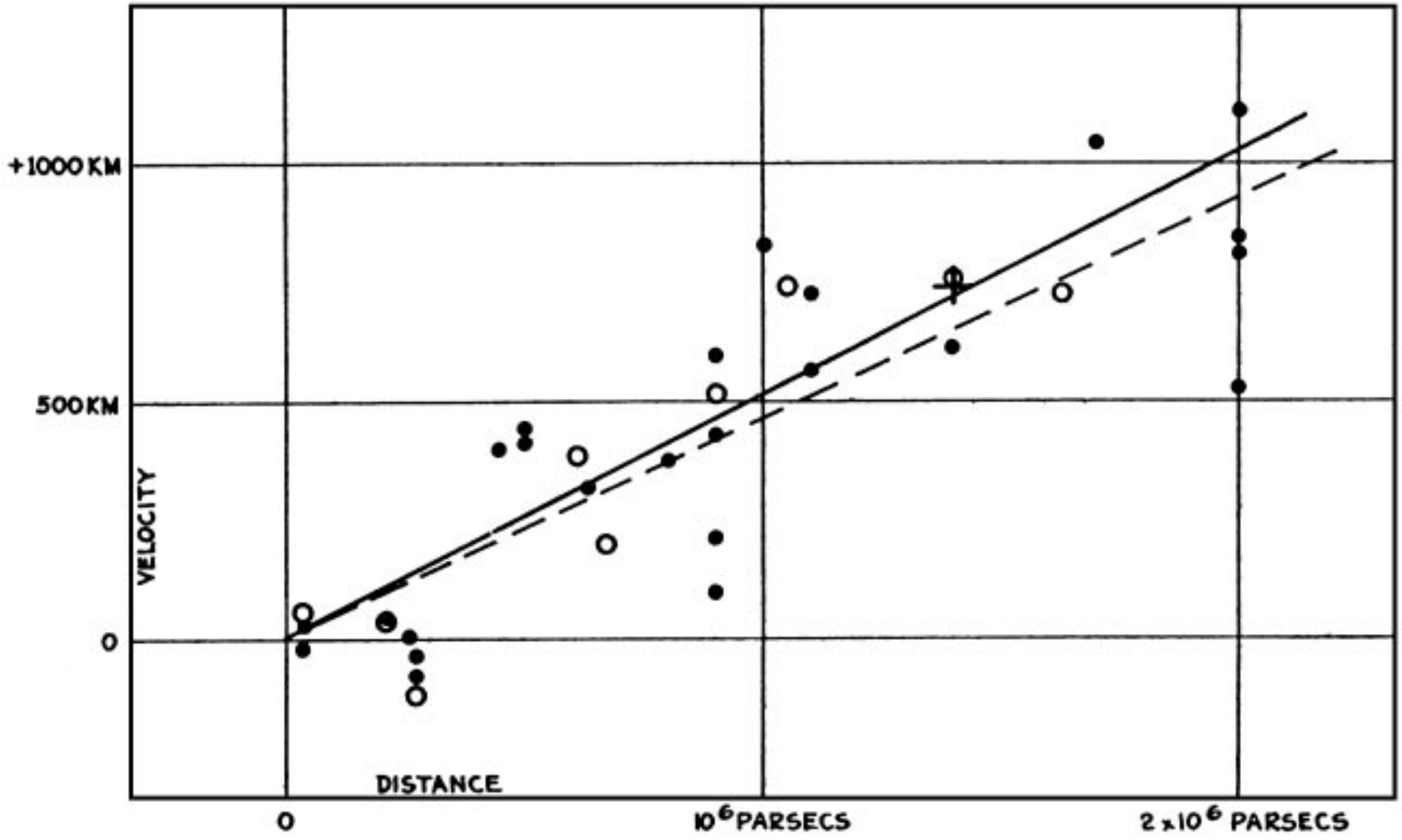


https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Plethora_of_interacting_galaxies_on_Hubble_s_birthday

銀河系とアンドロメダ銀河の合体 (コンピュータシミュレーション)

https://www.cita.utoronto.ca/~dubinski/galaxydynamics/future_sky.html

ハッブルの法則
(ハッブル - ルメートルの法則)

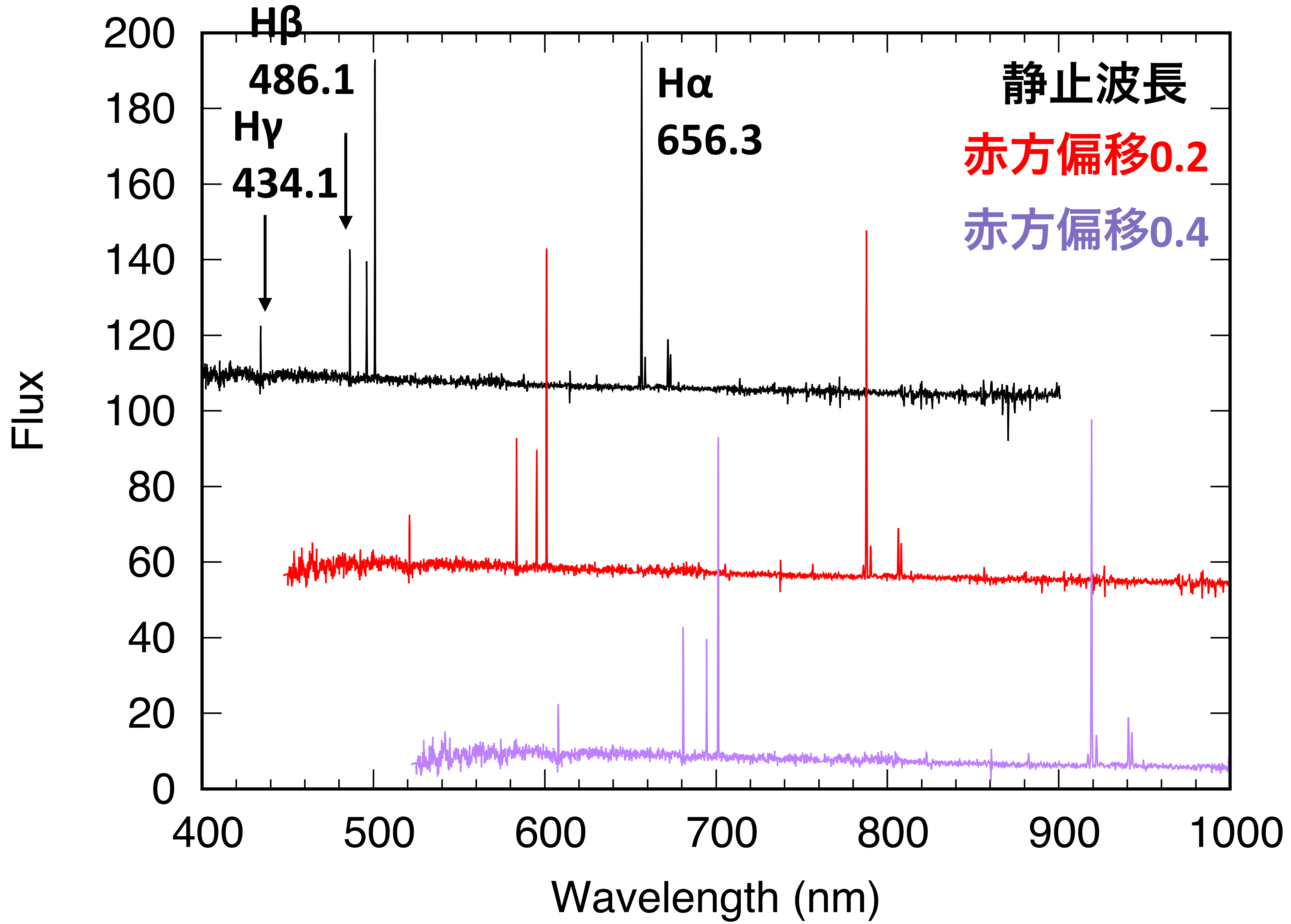


Hubble 1929

遠い銀河ほど速く遠ざかる

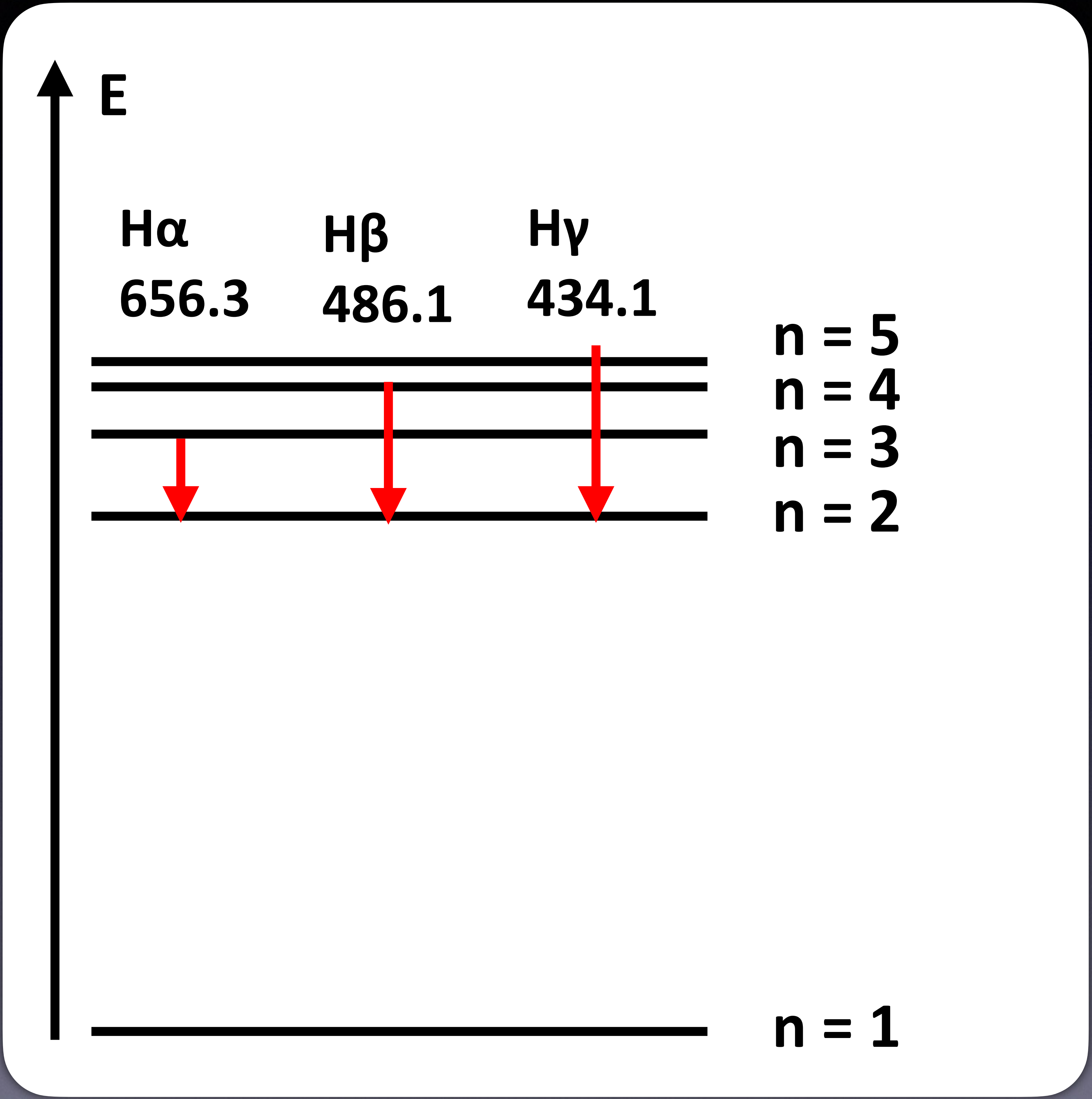
Kirshner 2004

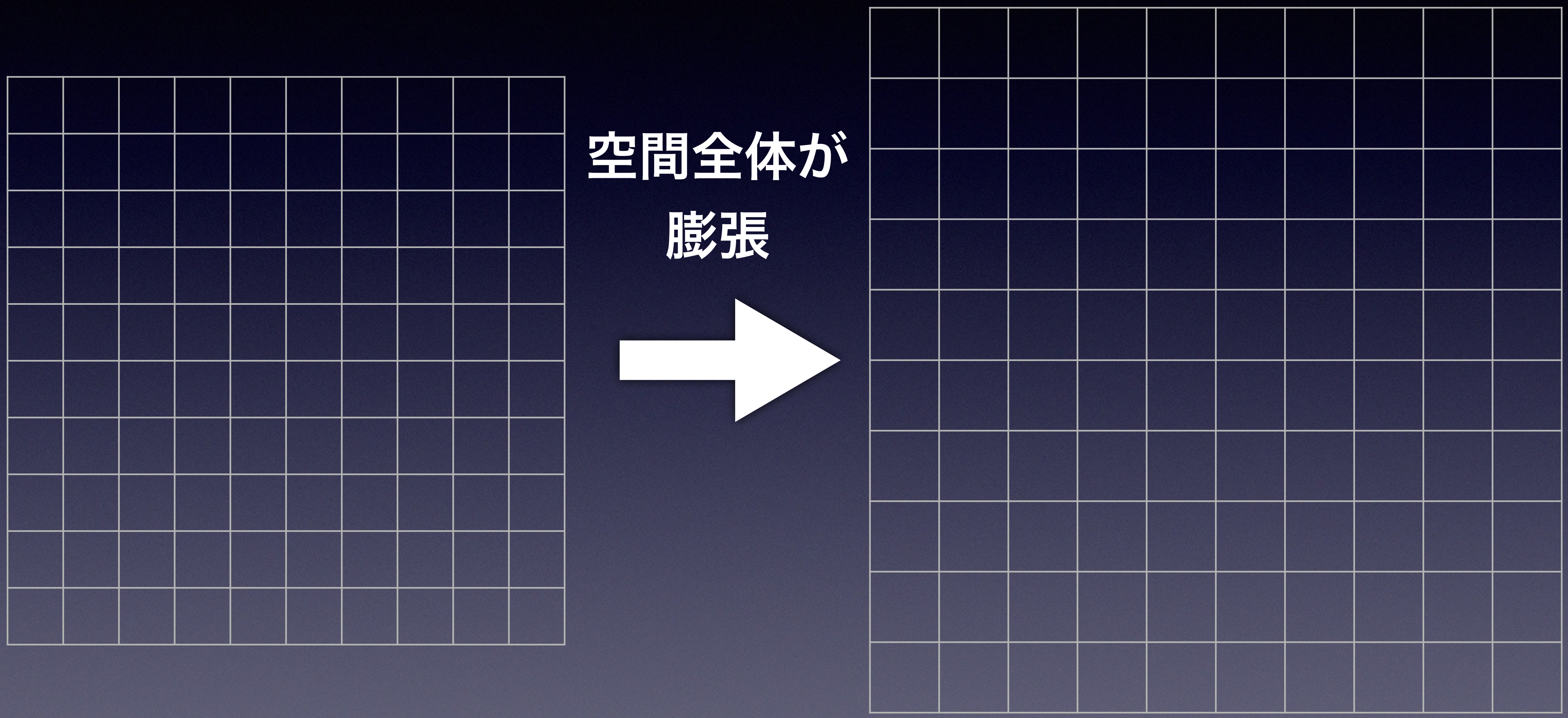
なぜ分かったの？
そこから何が分かるの？

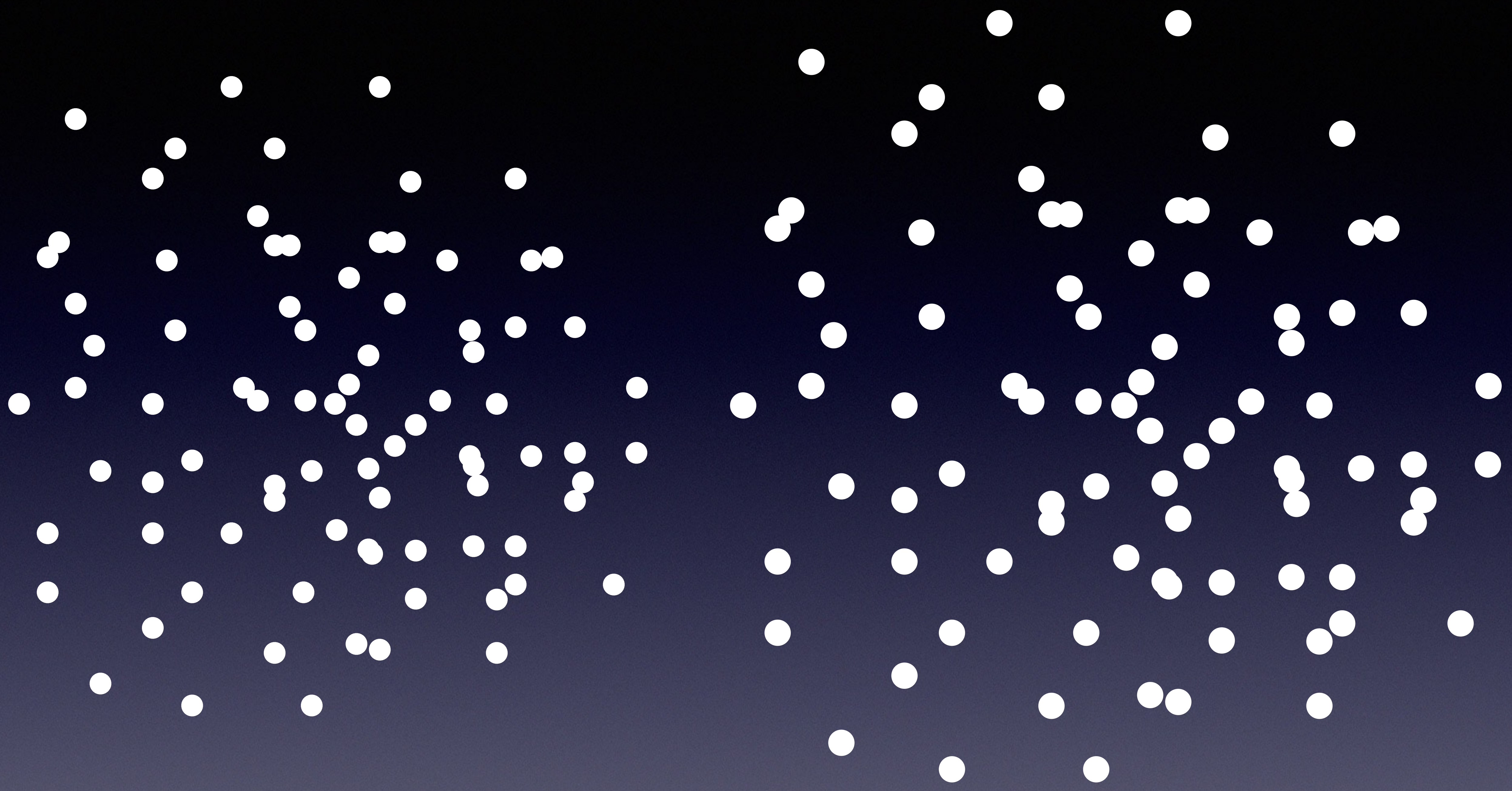


Hβ
486.1
Hγ
434.1
Hα
656.3
静止波長
赤方偏移0.2
赤方偏移0.4
Flux
Wavelength (nm)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
400
500
600
700
800
900
1000

水素のエネルギー準位



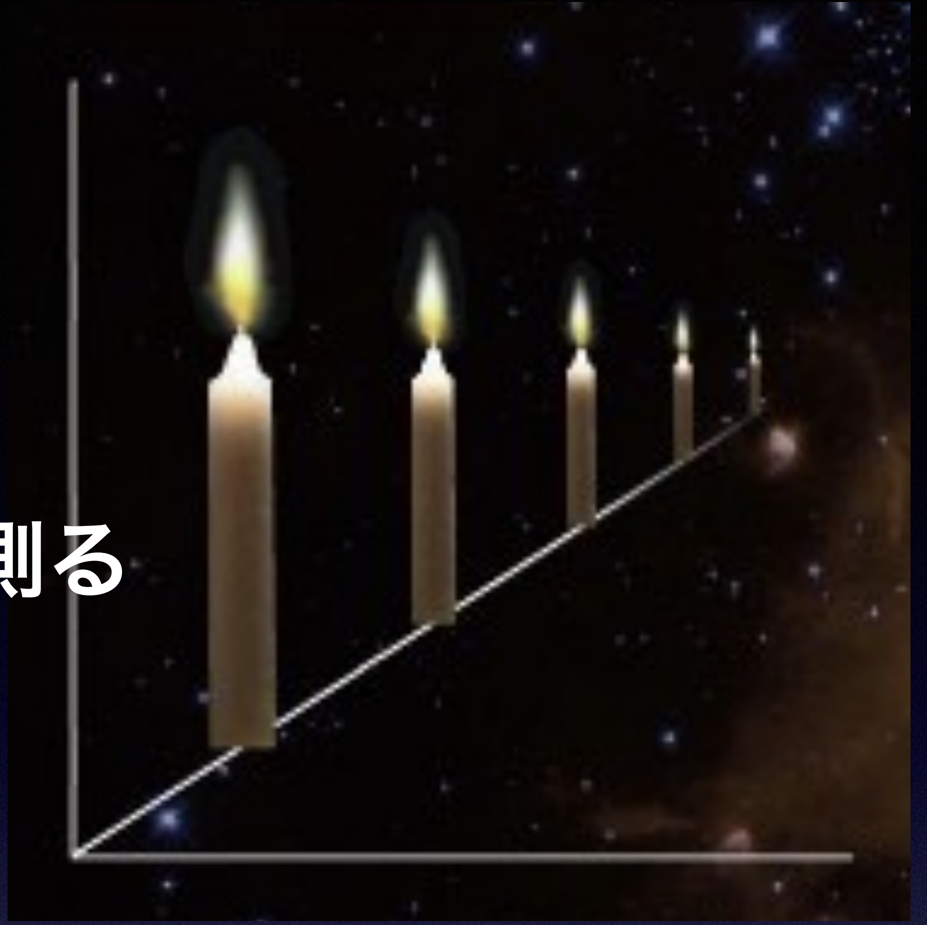

空間全体が
膨張



あらゆる点が全ての点から「離れて」見える
「端」を見られない限りどこが中心かは問えない

脱線

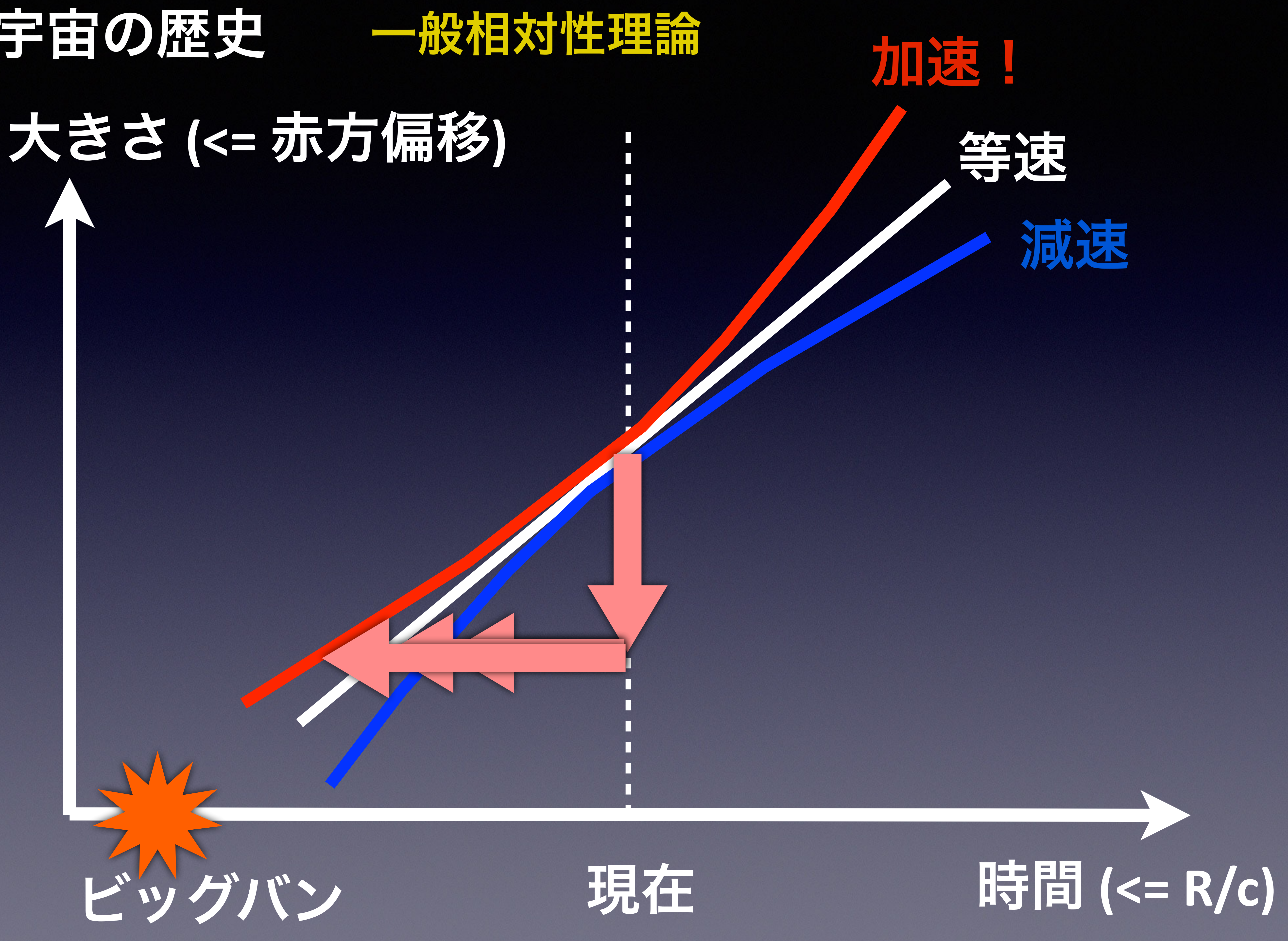
宇宙の「距離はしご」



1. 年周視差で銀河系内の天体までの距離を測る
2. 真の明るさがいつも同じ天体を見つける
   （例：セファイド変光星）
   => 見かけの暗さから距離が分かる
3. 系外銀河までの距離を測る
4. 系外銀河で真の明るさがいつも同じ天体を見つける
   （例：Ia型超新星）

=> 光速(c)は一定なので、超新星がおきたときの
宇宙の時間を測れる (t = R/c)

宇宙の歴史



2011年
ノーベル物理学賞

Photo: U. Montan

Saul Perlmutter

Photo: U. Montan

Brian P. Schmidt

Photo: U. Montan

Adam G. Riess

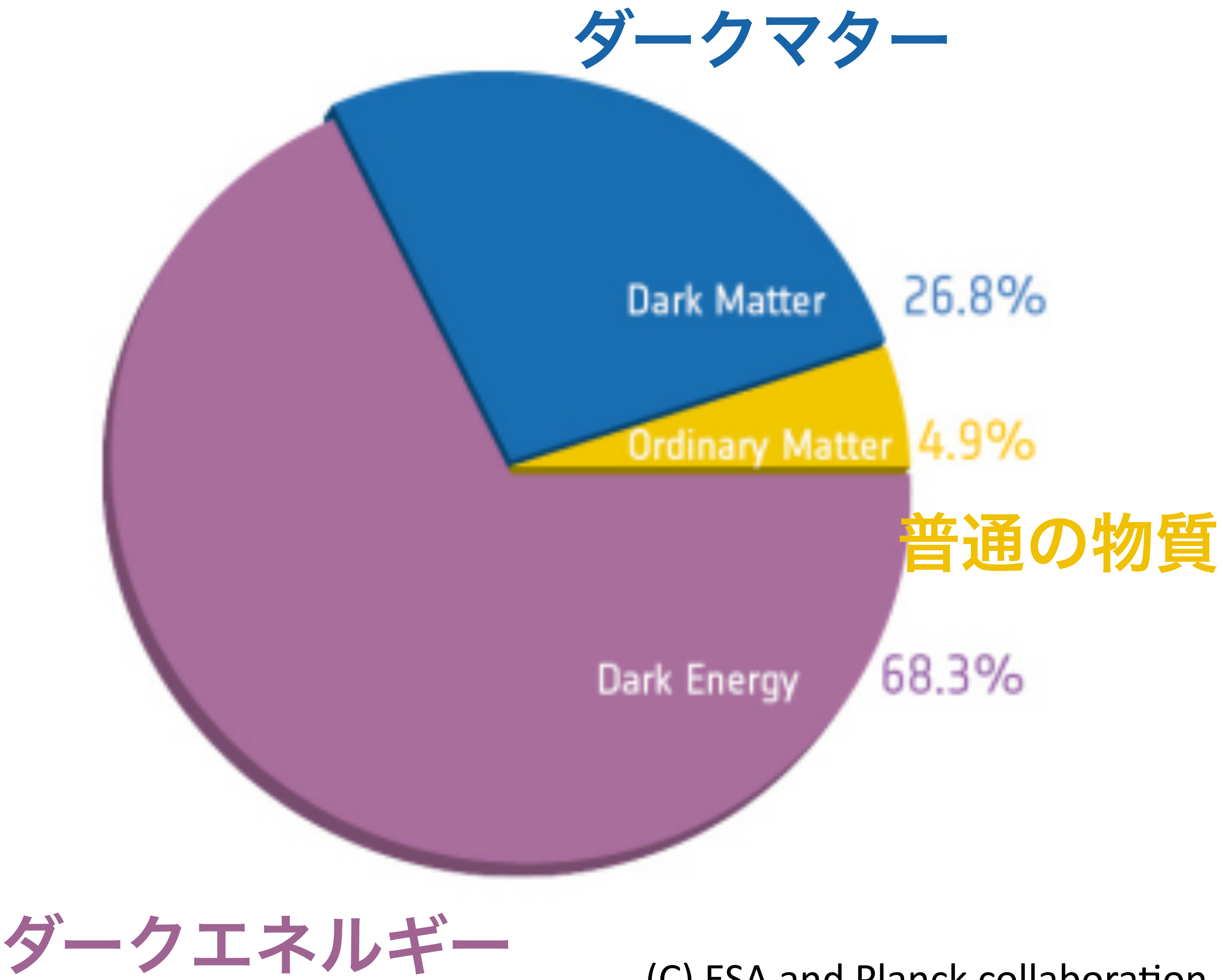
The Nobel Prize in Physics 2011 was divided, one half awarded to Saul Perlmutter, the other half jointly to Brian P. Schmidt and Adam G. Riess *"for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae"*.

超新星を使って宇宙の加速膨張を発見！

なぜ宇宙は加速的に膨張しているのか？

現代物理学最大の謎（ダークエネルギー）

宇宙の構成要素



(C) ESA and Planck collaboration

まとめ

- **系外銀河**
  - 渦巻銀河：星を作っている銀河、ガスがある
  - 楕円銀河：星を作っていない銀河、ガスがない
- **宇宙膨張**
  - ハッブルの法則：距離と後退速度の関係
    (遠い銀河ほど速い速度で遠ざかる)
  - 宇宙は昔は「小さかった」
    => 宇宙の大まかな年齢

この講義の目標

- 物理系全体
  - これまで勉強してきた物理を宇宙に応用して、
    宇宙の天体や天体現象の物理を大まかにつかむ
  - 物理を使って手の届かないものの性質を
    概算できるようにする
  - これから習う物理とその応用先を先取りして学ぶ
- 天文学コース
  - 天体物理学の基礎を学ぶ

熱力学

3セメ

統計力学

5,6セメ

力学

1,2セメ

電磁気学

2,3セメ

宇宙物理学
天体物理学

流体力学

4セメ

原子核物理学

7セメ

量子力学

4,5セメ

相対論

4,7セメ

期末試験 1/21 (火) 13:00 - 14:30

物理系講義棟 第1講義室301

- 持ち込み
  - 自分で書いたノートとレポート
    物理定数表は当日配布します
    iPadなどでも良いですが、
    ネットには繋がないように設定して下さい
  - 電卓（ネットに繋がらないもの = スマホはやめて下さい）
- 出題
  - 講義でやったことの説明・確認 (~ 1/3)
  - 実際の計算 (~1/3)
  - 講義でやった内容の応用 (~1/3)