

Section 11.

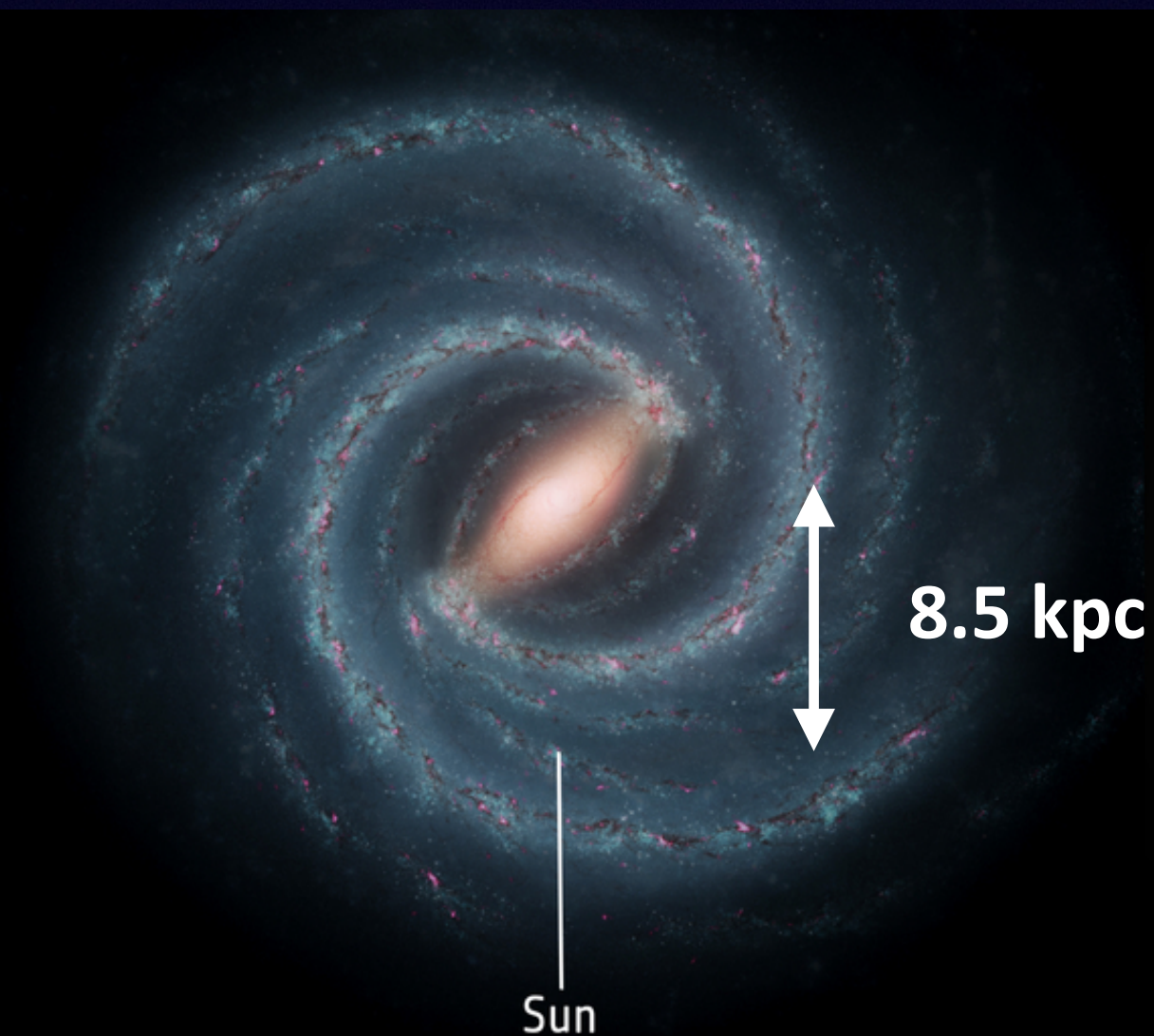
系外銀河と宇宙膨張

11.1 宇宙膨張

11.2 銀河団

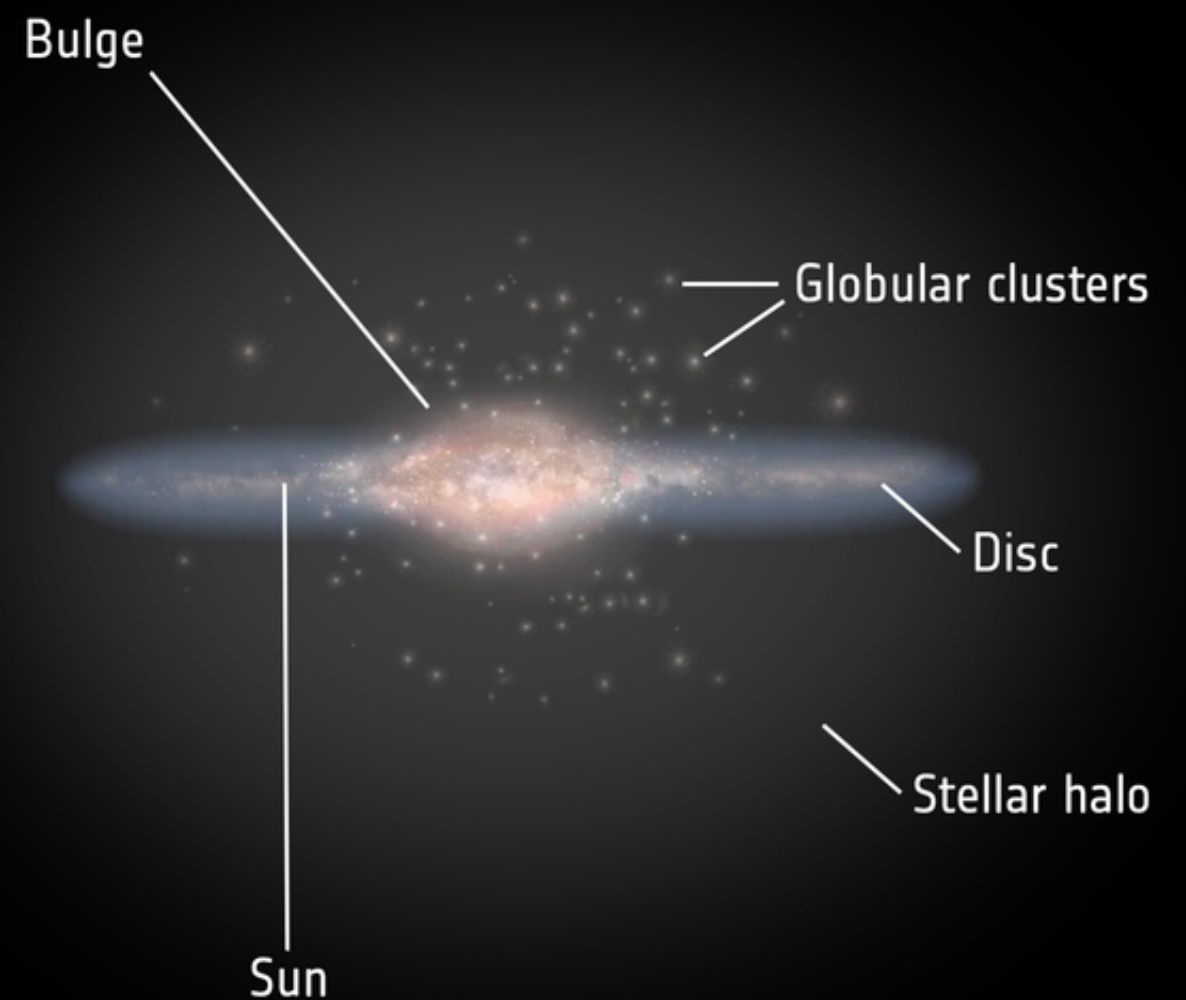
銀河系 (観測に基づく想像図)

上から



www.esa.int

横から



European Space Agency

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)

$10^{22} \text{ m} = 10^{24} \text{ cm} \sim 100 \text{ 万光年}$

$\sim 300 \text{ kpc}$

銀河群
(十数個の
銀河の集まり)

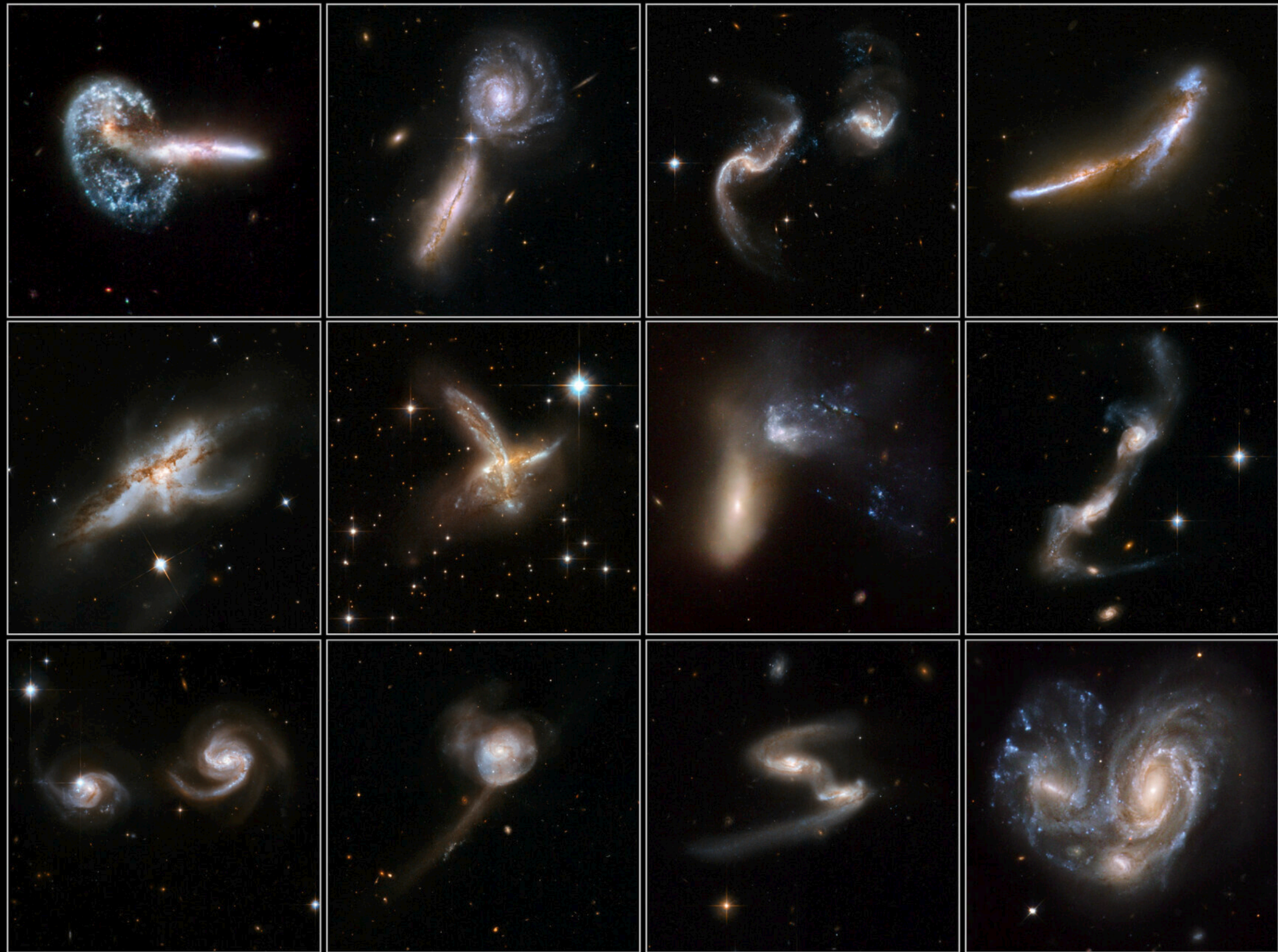
NGC 7711
Kent Biggs

$10^{23} \text{ m} = 10^{25} \text{ cm} \sim 1000\text{万光年} \quad \sim 3 \text{ Mpc}$

銀河団

Virgo cluster

衝突する銀河

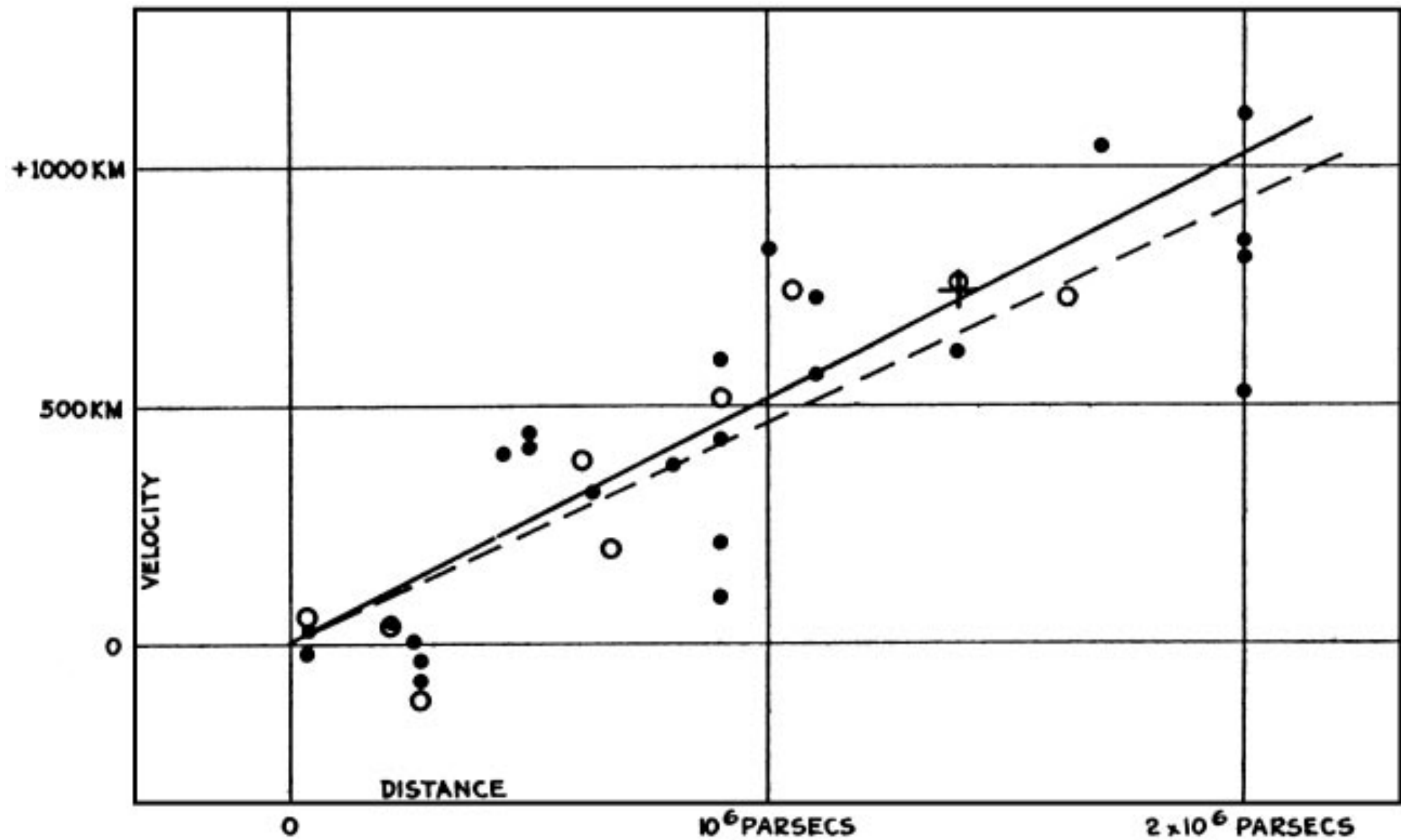


[https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/
Plethora_of_interacting_galaxies_on_Hubble_s_birthday](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Plethora_of_interacting_galaxies_on_Hubble_s_birthday)

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)

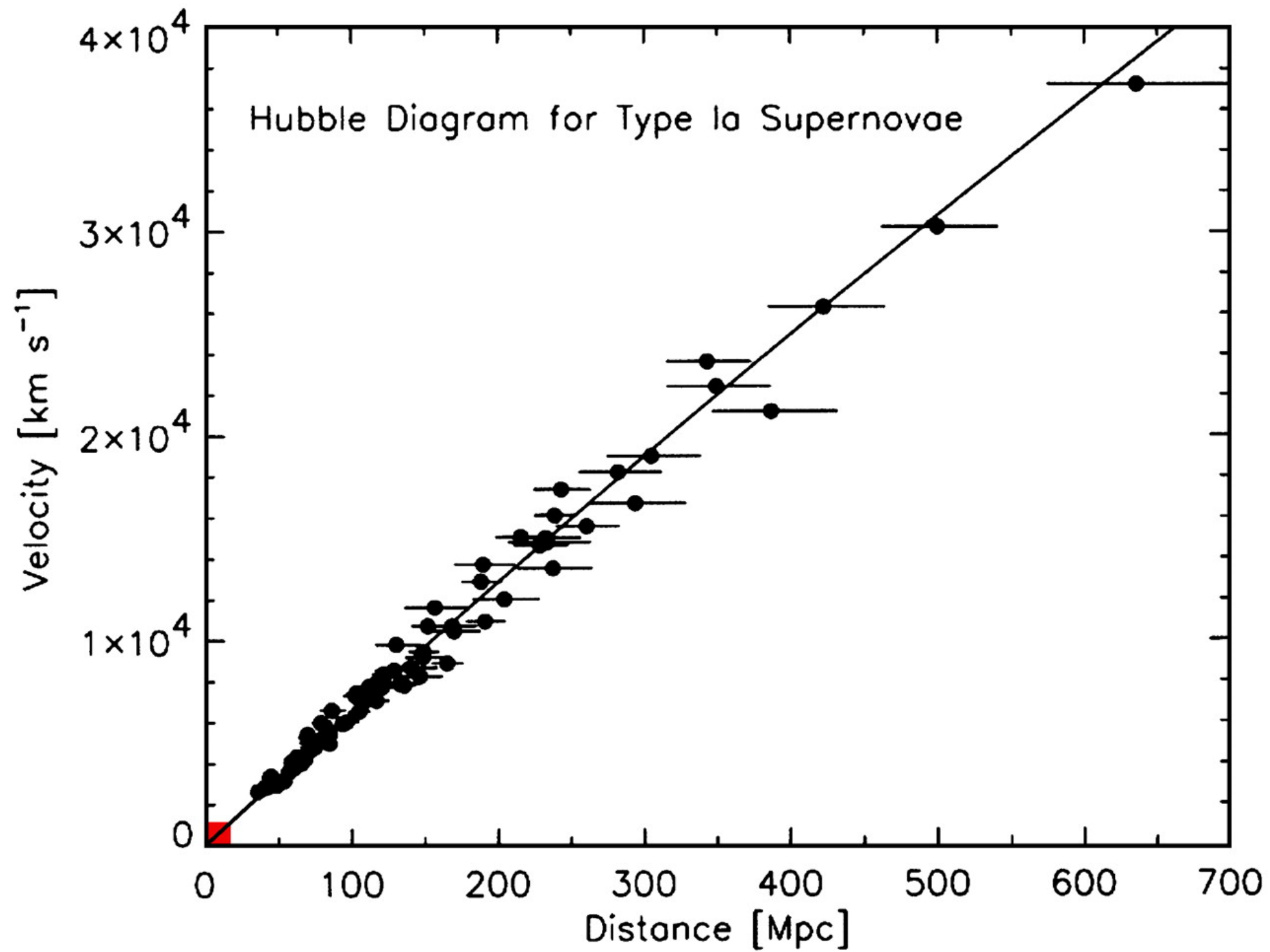


ハッブルの法則 (ハッブル - ルメートルの法則)



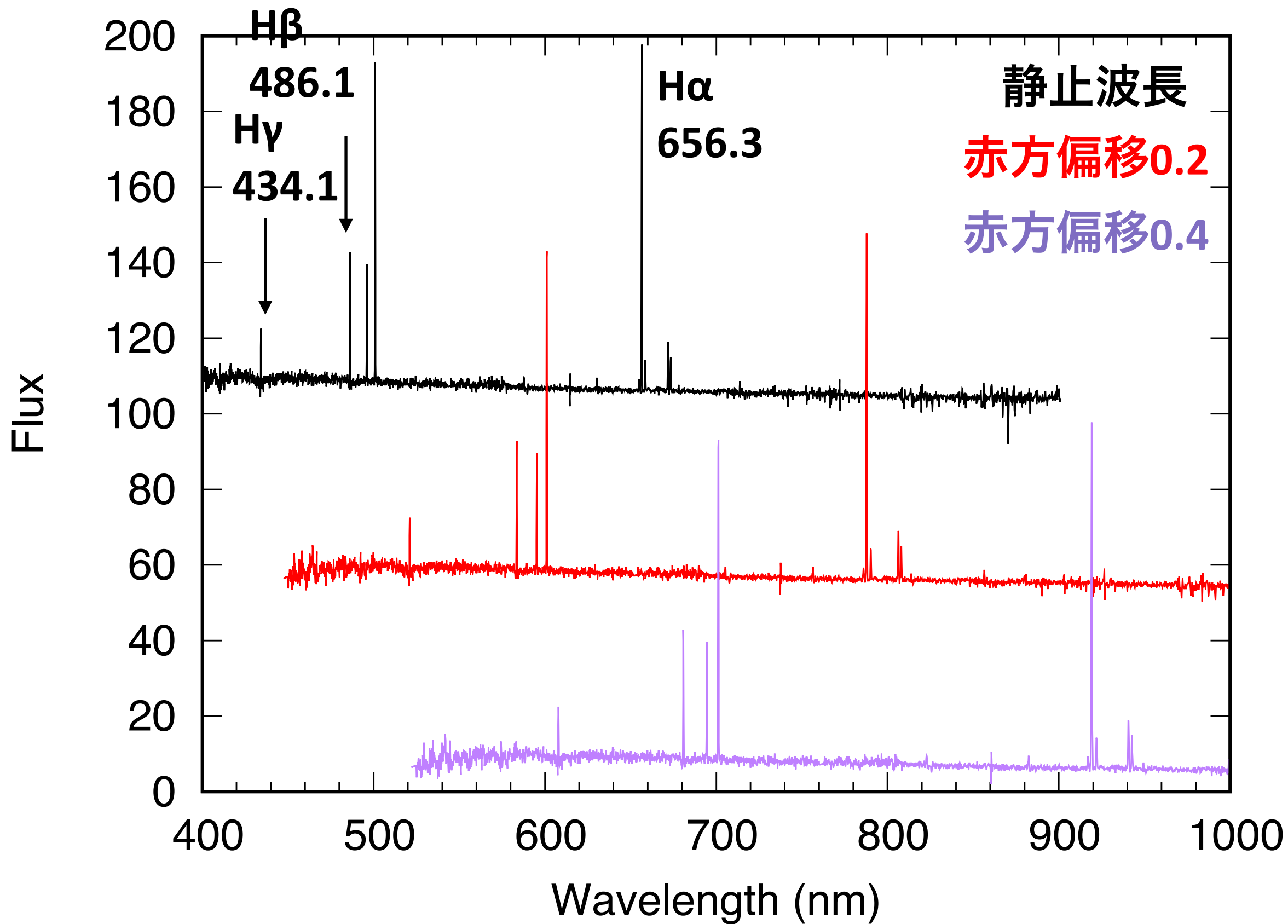
Hubble 1929

遠い銀河ほど速く遠ざかる



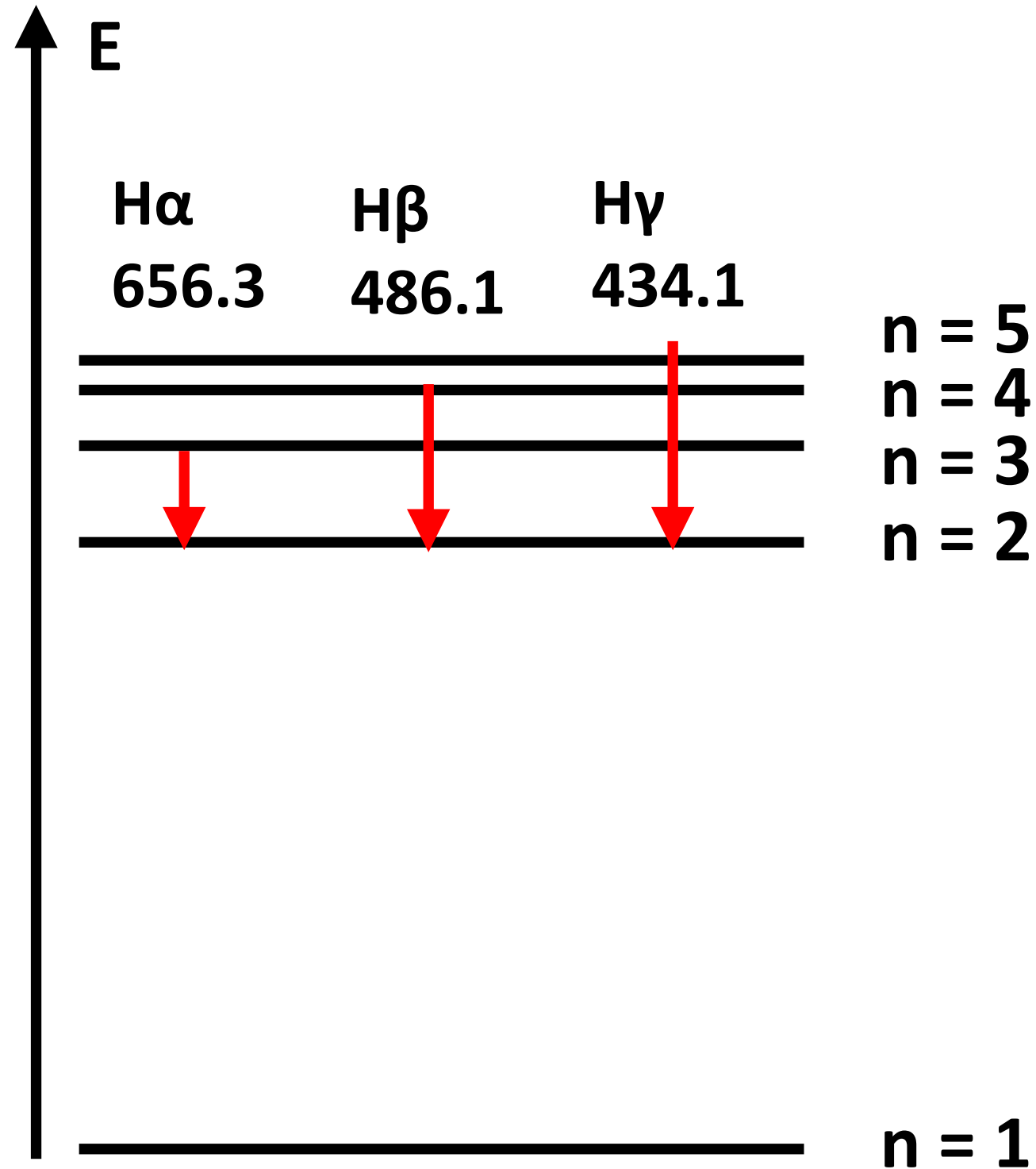


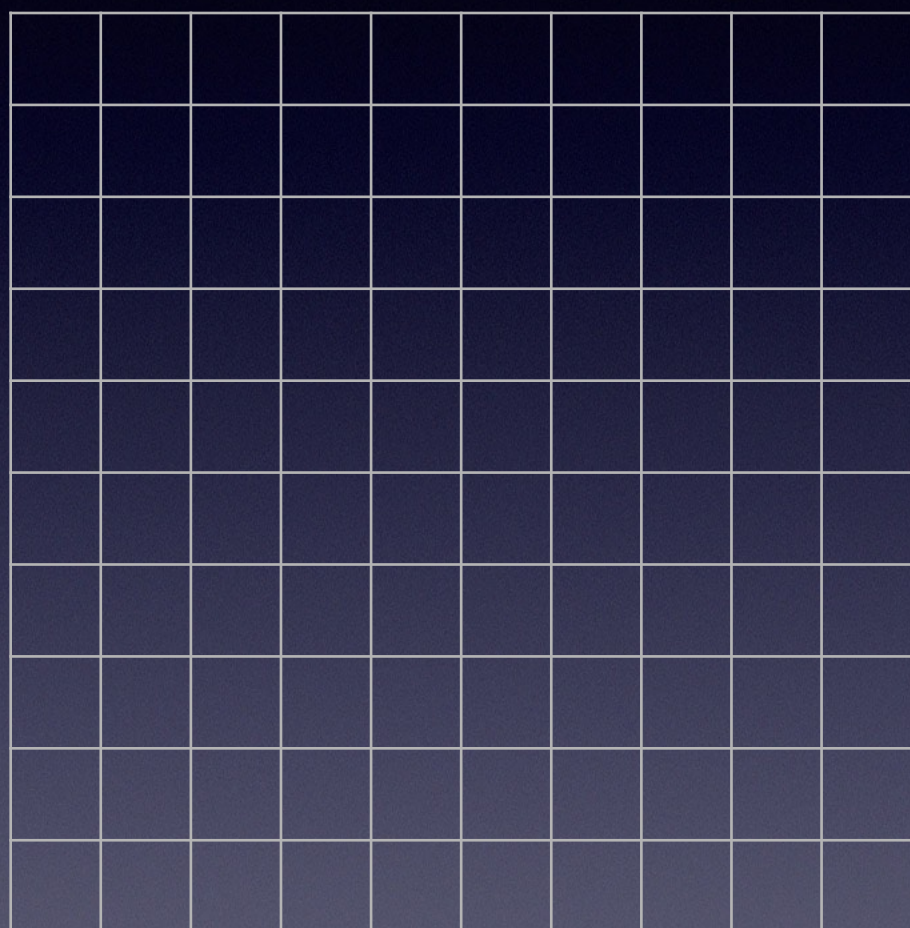
なぜ分かったの？
そこから何が分かるの？



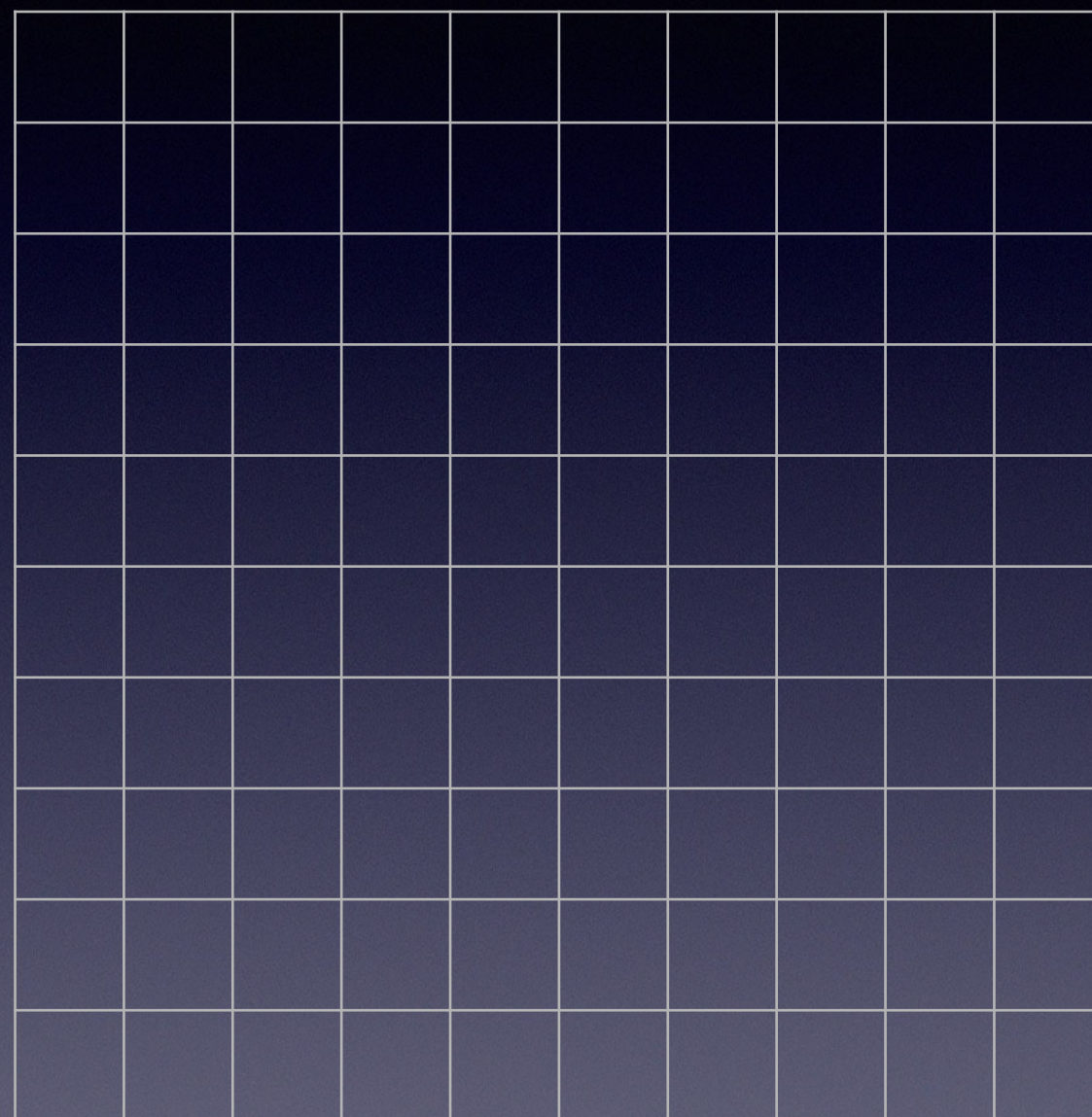
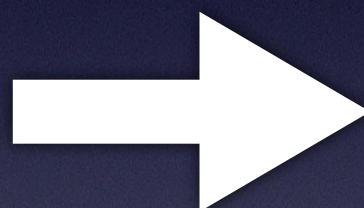
水素のエネルギー準位

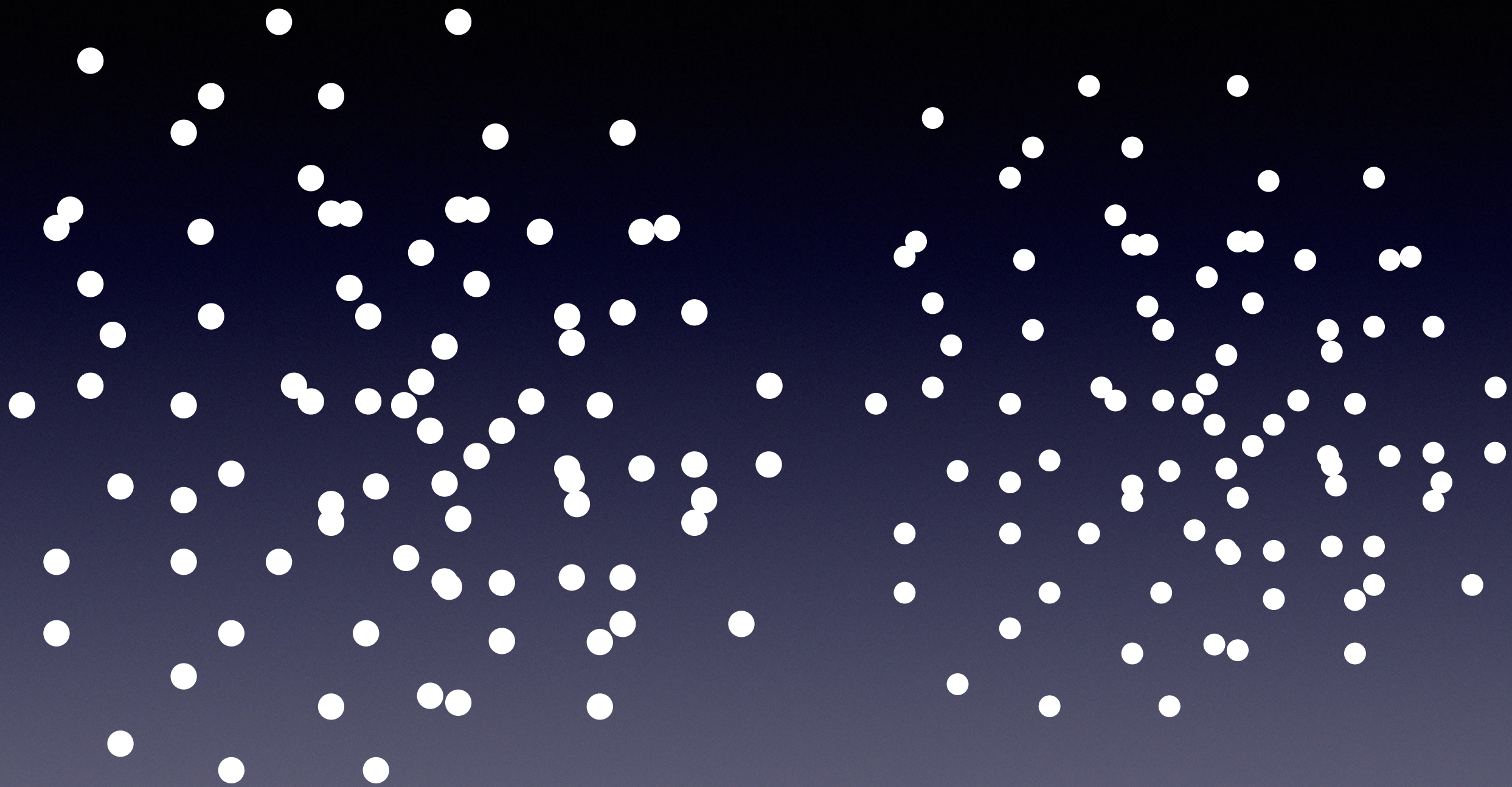
量子力学





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

一般相対性理論

大きさ ($\leq$ 赤方偏移)

加速！

等速

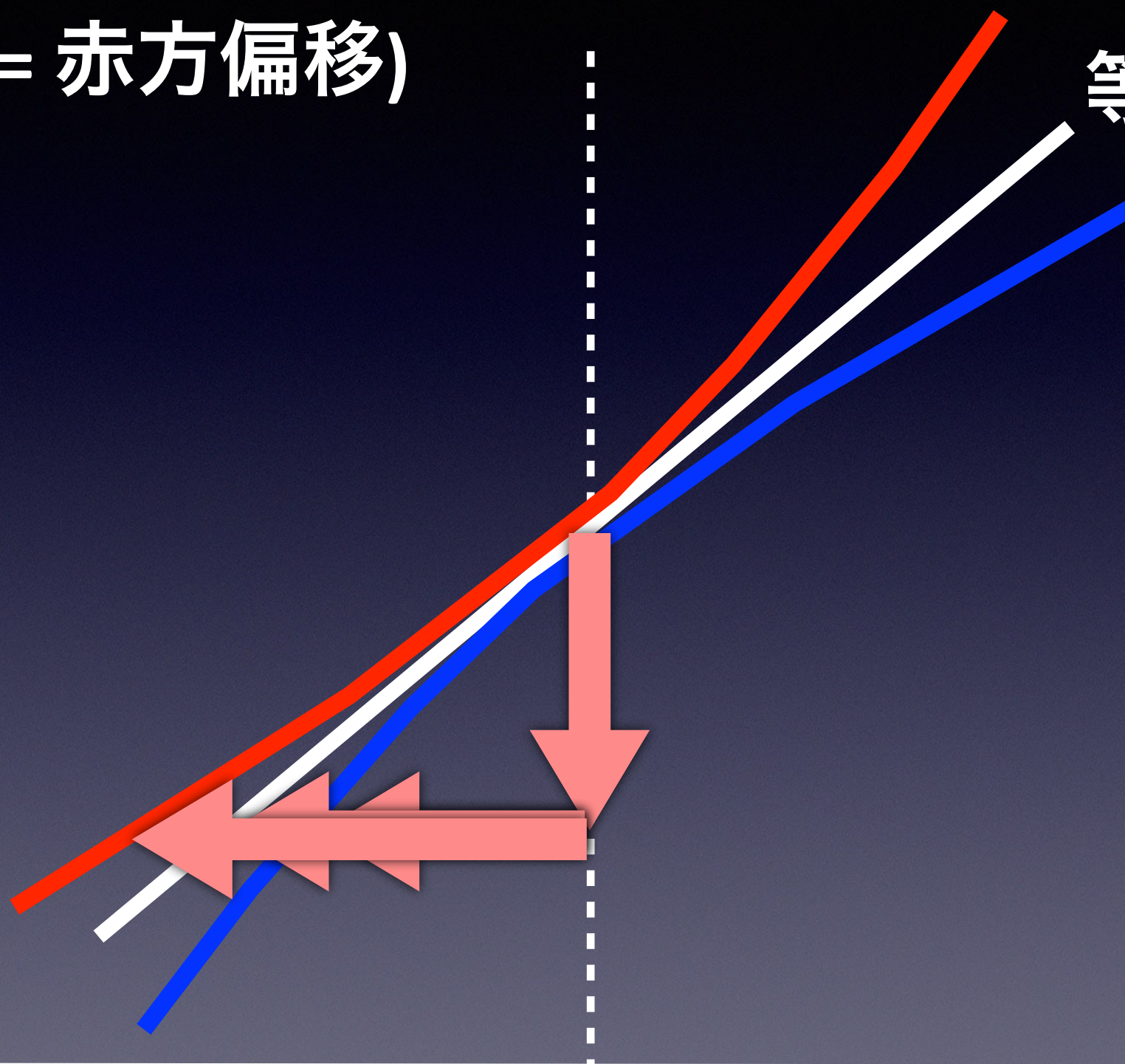
減速



ビッグバン

現在

時間 ($\leq R/c$)



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

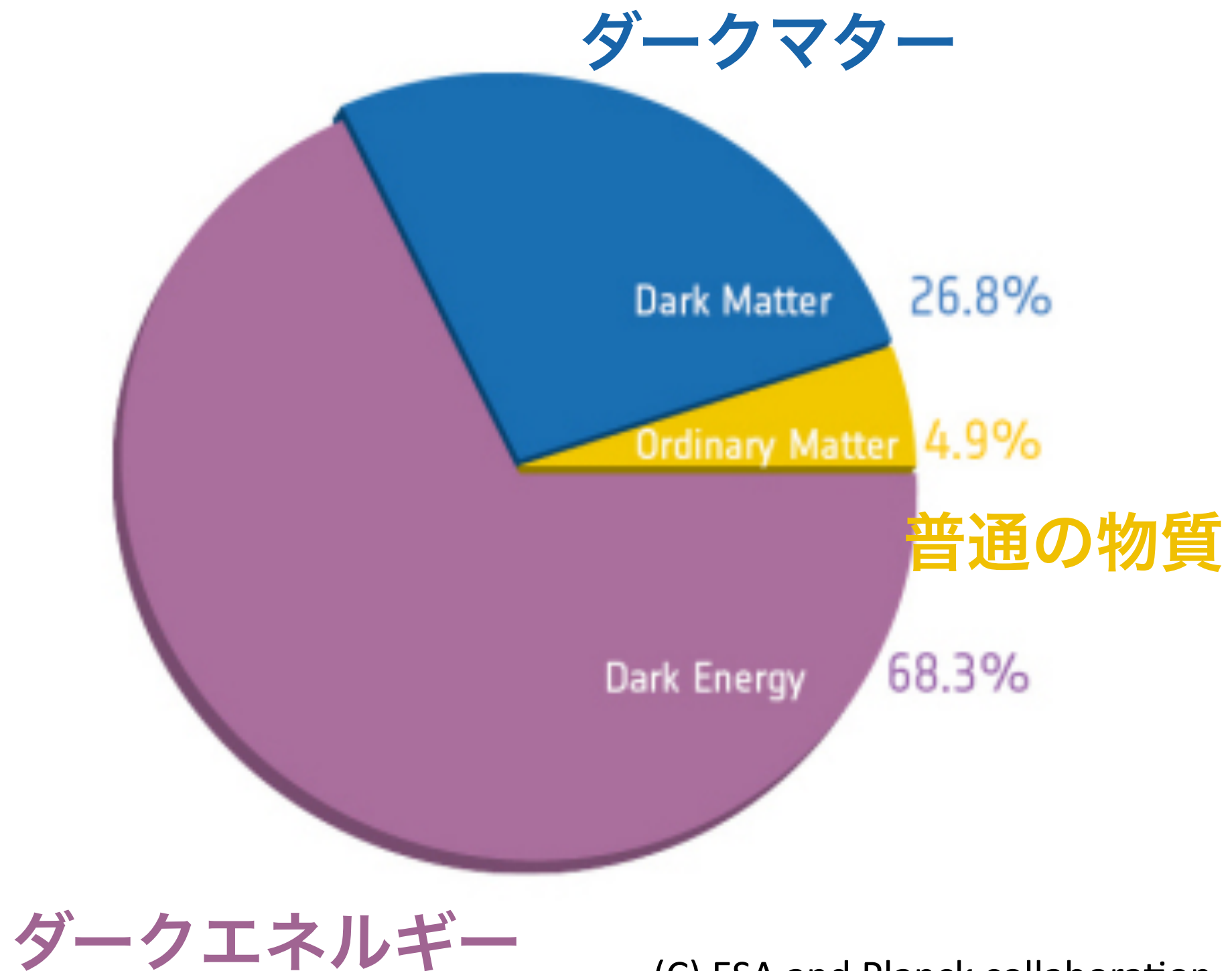
The Nobel Prize in Physics 2011 was divided, one half awarded to Saul Perlmutter, the other half jointly to Brian P. Schmidt and Adam G. Riess *"for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae"*.

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

Section 11.

系外銀河と宇宙膨張

11.1 宇宙膨張

11.2 銀河団

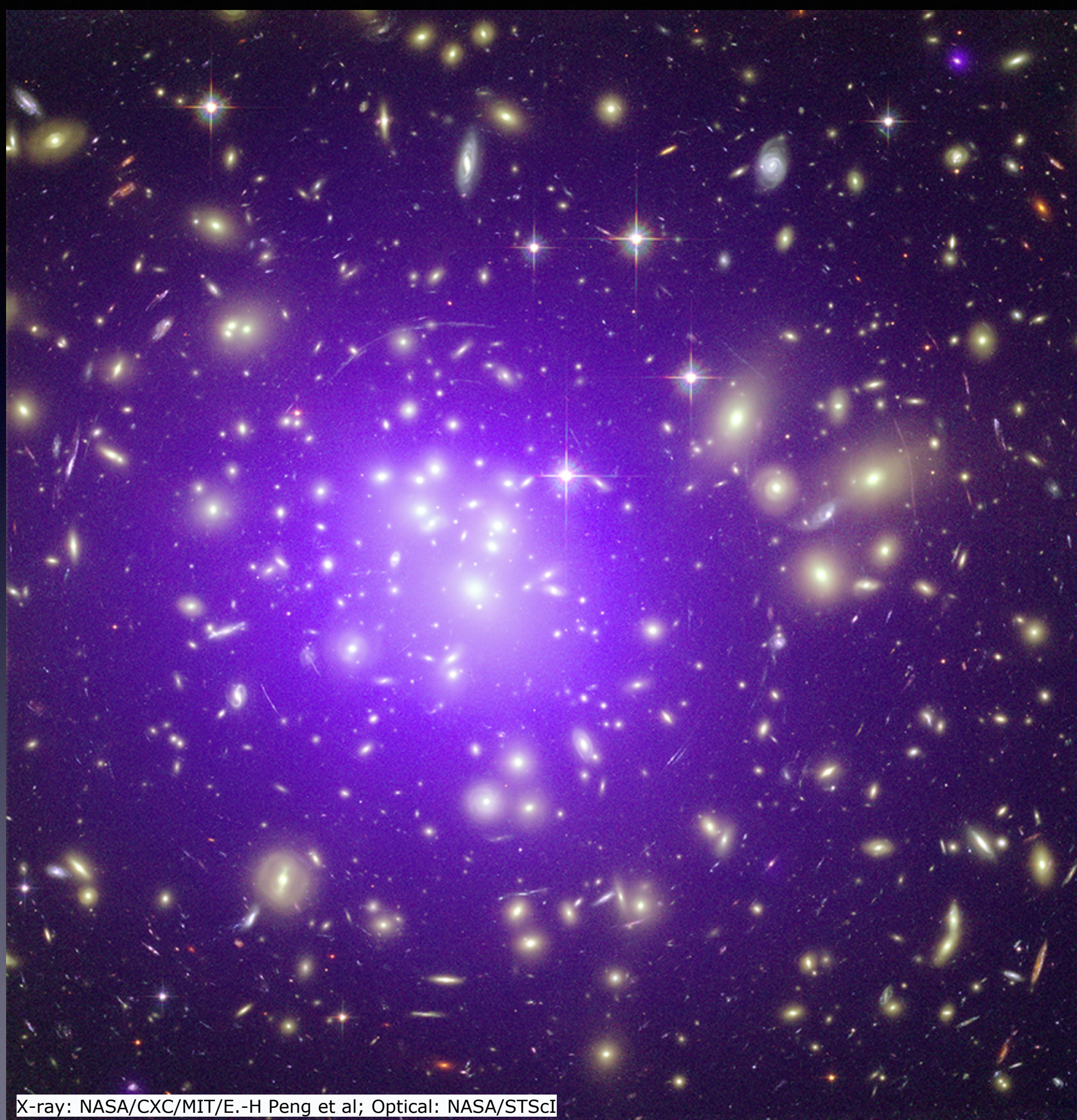
$10^{23} \text{ m} = 10^{25} \text{ cm} \sim 1000\text{万光年} \quad \sim 3 \text{ Mpc}$

銀河団

Virgo cluster

可視光
(銀河)

X線
(銀河団ガス)



X-ray: NASA/CXC/MIT/E.-H Peng et al; Optical: NASA/STScI



銀河団ガスはなぜ超高温に？

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

- 銀河団

- 銀河の集団（重力の大部分はダークマター）
- 静水圧平衡の銀河団ガス => X線を放射

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