

第 13 回 講義内容

2023/12/18

お知らせ

- レポート課題 (第 2 回) を出しています。締め切りは、12 月 27 日 (水) 23:59 です。
- レポート課題 (第 3 回) を出しています。締め切りは、1 月 29 日 (月) 23:59 です。

配布物

- 13.Cosmology_contents.pdf このファイル
宇宙論のスライドを抜粋して添付しています。 Google classroom, web
- 00.Planets2024.pdf 別のファイル
クリスマスプレゼント。2024 年の天体観測の見どころ。 Google classroom
- 13.Cosmology2023_Viewgraph.pdf スライド
スライドファイルは、月曜朝に配布します。 Google classroom, web

講義内容 (予定)

- §5.2 ビッグバン標準宇宙論
- §5.3 インフレーション宇宙論
- §5.4 宇宙のはじまり

本日の復習課題例

こんなことを観たり、調べたり、考えてもらったら面白いかな、という程度のおまけ。

- 宇宙年齢はどうやって分かったのか。
- 宇宙年齢は 138 億年と言われ、過去への距離を測ると 138 億光年になる。一方で、宇宙の半径は 480 億光年と言われている。矛盾はしないか。

次回の予習項目

こんなことを調べてもらったら面白いかな、という程度の課題。

- ダークエネルギーとは何か。
- ダークマターとは何か。
- インフレーション宇宙モデルの証拠は何か。

よい年末年始を。年明け授業は、1 月 16 日と 23 日です。

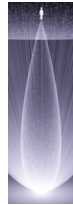
第5章「宇宙論」の説明スライドから

宇宙図の見方

ルール1 宇宙を見ることは、昔を見ること
太陽は、8分ほど昔の姿、すばる(散開星団M45)は400年ほど昔の姿、遠くを見るほど、過去の姿をみている。

ルール2 見える宇宙と見えない宇宙がある
我々は「現在の宇宙」を見ることはできない。見えるのは、中央の「しずく」の部分。

ルール3 宇宙では、遠くの距離は要注意
我々が見える一番遠くからきた光は、「137億光年」先。しかし、そのときに放たれた光源は、宇宙膨張によって、470億光年のかただ。



私たちに見える宇宙=しずく形の表面。
宇宙がどうやって誕生したのか = ラッパ形の底の部分がどうなっているのか。
宇宙がどのように広がってきたか = ラッパ形の表面の形はどうなっているのか。
宇宙は我々の宇宙だけか = ラッパ形の向こうにも宇宙は他にあるのか。

5. 宇宙論 >> 5.2 ビッグバン標準宇宙論 教科書 p159

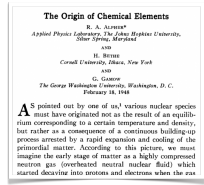
火の玉宇宙論の誕生



ガモフ

宇宙膨張が本当なら、過去には小さな宇宙だったはず。宇宙のはじまりは、すべての物質とエネルギーが集まり、非常に高温で高密度の状態だったことになる。

1946年、ガモフ、「宇宙が高温高密度の火の玉の状態だったときに、短時間で元素が合成されていった」
1948年、 $\alpha\beta\gamma$ 、「高温高密度の宇宙初期における核反応で、すべての元素がつけられる」

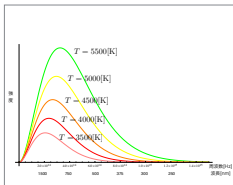


Physical Review, 1948/4/1 22

5. 宇宙論 >> 5.2 ビッグバン標準宇宙論 教科書 p162

宇宙マイクロ波背景放射

Cosmological Microwave Background Radiation (CMB)



黒体放射(黒体放射)
= 物体は、温度に応じて熱を電磁波の形で放射する

過去に宇宙が高温だったら、その証拠の「放射」があるはず

宇宙誕生後、30万年ほど経つと、光がさえぎられずに直進できるようになる。その時の温度(約3000K)が放射されて残っているはず。
宇宙膨張で温度下がって 5~7K (-268~-266°)位

27

5. 宇宙論 >> 5.2 ビッグバン標準宇宙論 教科書 p162

宇宙マイクロ波背景放射の発見

Discovery of CMB



Arno A. Penzias (1933-) Robert W. Wilson (1936-)

ベル研究所、電波通信の実験
「どうしても取り除けないノイズがある」
「昼夜によらず、季節によらず、方向によらないノイズがある」

1978年、ノーベル物理学賞受賞

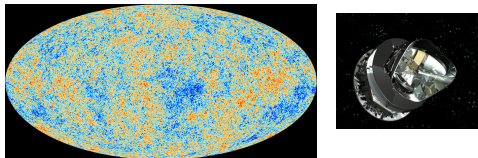
宇宙誕生後、30万年ほど経つと、光がさえぎられずに直進できるようになる。その時の温度(約3000K)が放射されて残っているはず。
宇宙膨張で温度下がって 5~7K (-268~-266°)位

28

5. 宇宙論 >> 5.2 ビッグバン標準宇宙論 教科書 p162

Planck衛星によるCMBの測定

Planck, 2013



38万年 宇宙の年齢は138±0.5億年、と報告

宇宙誕生後、37万9000年ほど経つと、光がさえぎられずに直進できるようになる。その時の温度(約3000K)が放射されて残っているはず。
宇宙膨張で温度下がって 2.725K (-270°)位

2.72548±0.00057 K

51

5. 宇宙論 >> 5.2 ビッグバン標準宇宙論 教科書 p169

ビッグバン標準宇宙モデル:まとめ

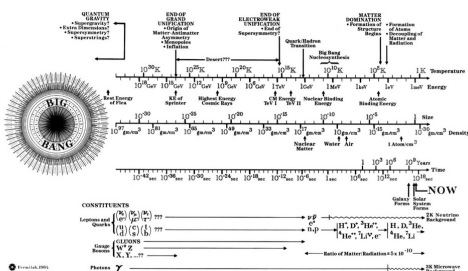
- (1) 宇宙膨張の発見 (1929)
遠くの銀河は私たちの銀河からの距離に比例した速度で一樣に遠ざかっている。
- (2) 宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の発見 (1964)
等方的に、かつて宇宙が高温だったことを示すマイクロ波が観測された。
- (3) He, 重水素の存在比の観測
初期宇宙の熱核反応で、陽子と中性子から生成されると考えられる He と重水素の存在比が、星間空間で観測される値とほぼ一致した。

標準ビッグバン宇宙論は正しい

52

5. 宇宙論 >> 5.2 ビッグバン標準宇宙論 >> 5.2.4 宇宙の熱史

FermiLab Photograph 85-138CN



5. 宇宙論 >> 5.3 インフレーション宇宙モデル 教科書 p170

ビッグバン宇宙モデルの問題点

- (A)地平線問題。なぜ、CMBは全天で一様に近い温度分布を示すのか。
- (B)平坦性問題。なぜ、現在の宇宙は平坦(曲率が0)に見えるのか。
- (C)構造形成の種問題。星や銀河など物質ができるためのゆらぎはどうやって生まれたのか。
- (D)モノポール問題。宇宙初期の相転移で生じる位相欠陥のうち、とくにモノポールはどのように消滅していくのか。
- (E)バリオン数生成の問題。なぜ、宇宙には物質だけ存在して反物質が存在しないのか。
- (F)宇宙の初期特異点問題。時刻0のとき、宇宙は密度が無限大の特異点になる。物理的にどうやって説明するのか。
- (G)時空の次元問題。私たちの住む時空は、なぜ、4次元であって3次元や5次元でないのか。

70

5. 宇宙論 >> 5.3 インフレーション宇宙モデル 教科書 p172

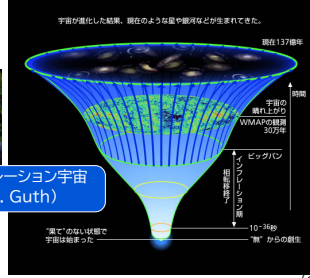
インフレーション宇宙モデル

宇宙の初期に急激な膨張があった、と考える (インフレーション宇宙モデル 1981年)



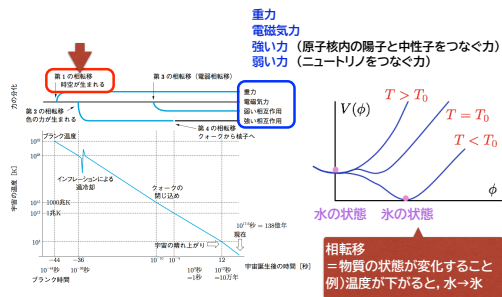
インフレーション宇宙 (A. Guth)

初期の宇宙は指数関数的膨張 (佐藤勝彦)



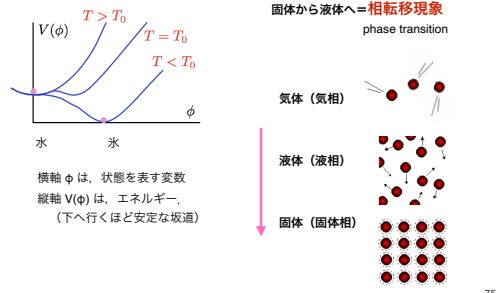
5. 宇宙論 >> 5.2 ビッグバン標準宇宙論 >> 5.2.5 力の分化 教科書 p167

宇宙初期の力の相転移



相転移現象

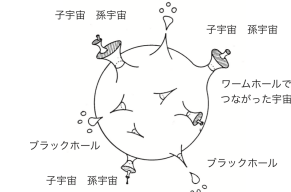
冷蔵庫にいたいたペットボトルの水を出すと、一瞬で凍った。 = 過冷却現象



5. 宇宙論 >> 5.3 インフレーション宇宙モデル 教科書 p173

インフレーション宇宙モデル

宇宙は我々の宇宙だけではなかった

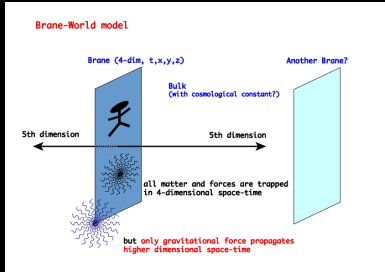


universe multiverse

5. 宇宙論 >> 5.4 宇宙のはじまり 教科書 p178

膜宇宙論 (Brane-world cosmology)

私たちは高次元中の4次元時空にtrapされている。小さなスケールでは高次元かもしれない。



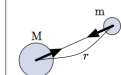
5. 宇宙論 >> 5.4 宇宙のはじまり 教科書 p178

膜宇宙論の由来

万有引力の法則は、小スケール(0.1mm以下)では、まだ確認されていない。

Advanced 万有引力の法則 質量 m と M の質点が r だけ離れて置かれているとき、両質点にはたらく力 F は、大きさが

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$



でつねに引力である。G は定数であり、万有引力定数と呼ぶ。

もしかしたら、破れているかもしれない。空間3次元 (4次元時空) なら 空間4次元 (5次元時空) なら

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

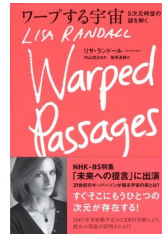
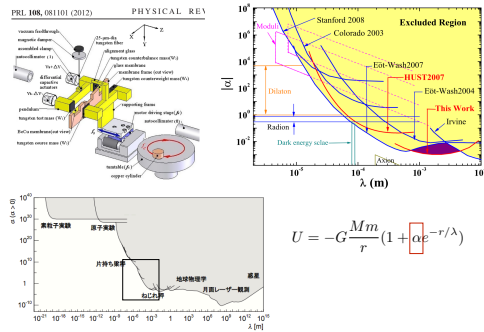
$$F = G \frac{Mm}{r^3}$$

$$U = -G \frac{Mm}{r}$$

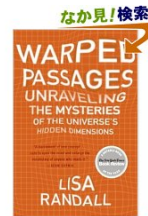
$$U = -G_5 \frac{Mm}{r^2}$$

$$U = -G \frac{Mm}{r} (1 + \alpha e^{-r/\lambda})$$

万有引力の法則は、どこまで正しいか？



ナカ見! 検索



*They include Juan Garcia-Bellido, Andrew Chamblin, Roberto Emparan, Ruth Gregory, Stephen Hawking, Gary T. Horowitz, Nima Kaloper, Robert C. Myers, Henry S. Reall, Hiroyuki Shimizu, Tomoo Shiromizu, and Eloy Valiente.