

第7回 講義内容

2023/11/6

配布物

- 07.Cosmology_contents.pdf このファイル Google classroom, web
これまで話した内容の確認事項と、第3章でのまとめスライドを載せています。
- 07.Cosmology2023_Viewgraph.pdf スライド Google classroom, web
スライドファイルは当日朝に配布します。
- 202108_Newton タイムトラベル.pdf 雑誌コピー Google classroom
Newton 2021 年 8 月号から。
- 202207_Newton_SF 映画.pdf 雑誌コピー Google classroom
Newton 2022 年 7 月号から。

講義内容 (予定)

- 皆既月食の話
- §3.2 特殊相対性理論
 $E = mc^2$. 核分裂反応と核融合反応, 星の一生, 超新星爆発のしくみ。

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.

- 原子力発電は, 放射線漏れの危険を伴うが, それ以外にも「放射性廃棄物問題」がある. これは何が問題なのか. (ミニッツペーパーの質問の1つ)
- フェルメールの絵の贋作問題. 絵の年代測定方法.

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.

- 次回は, いよいよ, ブラックホール・宇宙膨張・重力波の理論となる一般相対性理論

レポート・お知らせ

- レポート課題 (第2回) は, 11月20日に課題を発表し, 12月25日 (月) 23:59 締め切り. レポート課題 (第3回) は, 12月18日に課題を発表し, 1月29日 (月) 23:59 締め切りとする予定です.

第3章までの確認事項

1 宇宙の階層構造

- 太陽系の大きさ。星座盤に惑星が載っていない理由。
- 2006年に惑星の定義が変更された理由。
- 流星群とは何か。彗星との関連は何か。
- 夜空に見える星までのおよその距離。銀河系内の太陽系の位置。
- 隣の銀河系までの距離。銀河群、銀河団、宇宙の大規模構造。
- 宇宙が膨張していることは、どのようにしてわかったか。地球は宇宙膨張の中心なのか。
- (物理現象) 音のドップラー効果。光のドップラー効果。

2 近代物理学の幕開け

- コペルニクス・ブラーエ・ケプラー・ガリレイ・ニュートンの業績。地動説が生み出された理由は何か。ティコの超新星の持つ歴史的意义は何か。ケプラーの法則とは何か。地動説の説明に、慣性の法則が使われた理由。
- コペルニクス・ブラーエ・ケプラー・ガリレイ・ニュートンが成し得た「科学的な考え方」。
- ニュートン力学が確立した経緯。
- 物理学史における、1905年の持つ意義。近代物理学と現代物理学の違い。
- (物理現象) ブラックホールが存在することは、どのように確認されるのか。
- 高次元時空モデル・ブレーンワールドモデルが考え出された背景は何か。

3 相対性理論

- 特殊相対性理論と一般相対性理論。それぞれ誕生した背景・目的・理論の骨子と帰結。
- 特殊相対性理論と一般相対性理論のそれぞれ検証された事実と結果。
- アインシュタインの語る「生涯最大の発見」と「生涯最大の失敗」はそれぞれ何か。
- (特殊相対性理論) 時間の進み方が観測者によって異なることになる理由。双子のパラドックス。 $E = mc^2$ の式の意味とその応用。核融合と核分裂。どちらも起こりえる理由は何か。宇宙の歴史と元素の起源。
- (一般相対性理論) ブラックホールの定義は何か。時空特異点とは何か。解決策は何か。重力波の観測で何がわかるのか。
- (物理現象) 星の一生。
- (物理現象) 超新星爆発のしくみ。
- GPSのしくみ。

第3章でのまとめスライド

(特殊) 相対性理論(1905年)

- 発端：
電磁気学の式に出てくる「光速c」は誰から測った速さなのか。光は真空中でも伝わるのか。
- 当時の考え：
光はエーテル中を伝わる。「光速c」は座標系によって変化するはずだ。ただし、エーテルは未発見。...
- アインシュタインの考え：
光速度は誰から見ても一定、光は真空中でも伝わり、物理法則は座標系によらず不変のものでなければならない。

$E = mc^2$

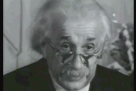
- 発端：
相対性理論の考えにより、運動法則をどの座標系から見ても同じ形になるように書き換えると登場した。
- 意味するもの：
質量とエネルギーは同じ。原子核反応により、世の中から質量がわずかでもなくなれば、莫大なエネルギーが得られる。
- 応用：
核融合反応：星の輝く原理、水素爆弾
核分裂反応：原子爆弾、原子力発電

特殊相対性理論は正しいか？

- 光速一定
疑う余地なし
- 時間の遅れ
宇宙線による素粒子の寿命
原子時計を用いた飛行機実験
GPS衛星からの電波
- $E=mc^2$
原子核実験、原子力発電に應用
- 素粒子理論は特殊相対性理論をベースにして構築されており、この前提が崩れればたいへんなことになる。

超新星爆発のしくみ

- 星の内部で原子核融合が進む：
水素 H → ヘリウム He → リチウム Li
..... → 鉄 Fe
- 質量を失って、膨張する。放射の力 > 重力
- 核融合が生じなくなる。放射の力 < 重力
急速に潰れる。
- 星の内部は押しつぶされて、
原子核は中性子の固まりに
- 大爆発：
外から降り積もってきた物質が中性子核ではね返る

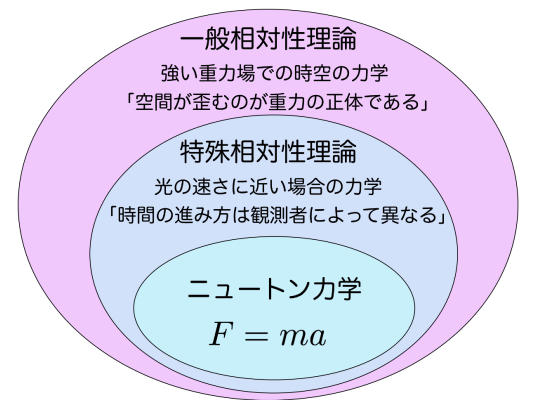


Einstein 自身による $E = mc^2$ の説明

It followed from the special theory of relativity that mass and energy are both but different manifestations of the same thing — a somewhat unfamiliar conception for the average mind.

Furthermore, the equation $E = mc^2$, in which energy is put equal to mass, multiplied by the square of the velocity of light, showed that very small amounts of mass may be converted into a very large amount of energy and vice versa.

The mass and energy were in fact equivalent, according to the formula mentioned before. This was demonstrated by Cockcroft and Walton in 1932, experimentally.



一般相対性理論 (1915年)

- 発端：
1905年の相対性理論では、加速度を扱えなかった。
加速度の正体は何だろうか？
加速度を生じさせる重力とは何だろうか？
- ブレークスルー：
エレベータの自由落下で重力が消せる！
だけど、地球の大きさのエレベータでは消せない。
- アインシュタインの結論：
重力の正体は時空の歪みである。

一般相対性理論は正しいか？

- 時空のゆがみ
水星の近日点移動が説明できた
地球重力の検証では理論に反しない
- 光の曲がり
重力レンズ効果、皆既日食でも、銀河レンズでも、
GPS衛星からの電波の修正項
- 強い重力の影響
ブラックホール 存在は確認、直接観測はまだ。
宇宙論 理論どおり (ただし...)
重力波 2015年9月に直接観測。