

第9回 講義内容

2024/11/18

配布物

- 09_Cosmology_contents.pdf このファイル Google classroom, web
- 09_Cosmology2024_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。
- 09_Cosmology_report2.pdf 別ファイル Google classroom, web
レポート課題です。
- 09_Cosmology_report2ref.pdf 別ファイル Google classroom
朝永振一郎の「光子の裁判」(「量子力学の世界像」所収)。レポート課題の基礎資料です。
著作権があるものなので、Google classroom だけに置きます。

レポート (第2回)

- 読んでもらう基礎資料と課題を今回配布します。資料については、授業で位置づけを紹介します。

講義内容 (予定)

- §3.3 一般相対性理論
ブラックホール, 特異点定理, 重力波

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。

- ブラックホールは天の川銀河中にいくつ発見されているだろうか。
- 重力波のイベントはこれまでにいくつ発見されたか。

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。

- 光は波である、という証拠は何だろうか。
- 「光子の裁判」を読み始めてみる。

光も脱出できない天体とは...

ボールを速く投げ上げると、高くまで飛ぶ

地球からの脱出速度 秒速 12 km

光は当然 脱出できる

秒速 30万 km

光も 脱出できない

地球質量が半径9mmになったら、ブラックホール

ブラックホール

はくちょう座 X-1 はブラックホール

6000光年先

はくちょう座 X-1 の光度曲線 (energy band 1~37keV)

光の速さで1秒以下 (地球7.5周以下) 質量は太陽の10倍以上 重くて小さな天体

ブラックホール
ブラックホールが存在することは、どうしてわかったのか？

落下していくガスが
高い温度で輝く
(降着円盤 accretion disk)
「ブラックホールは明るい天体」

41

ブラックホール
ブラックホールが存在することは、どうしてわかったのか？

銀河中心からジェットが吹き出す
(活動銀河核 active galactic nuclei)

42

ブラックホールの直接撮像に成功!
2022年5月12日、「天の川銀河中心のブラックホールの直接撮像に初めて成功」

Sgr A*	M87
400万太陽質量	65億太陽質量
8 kpc	16.8 Mpc

3桁大きな目印が
3桁速くいるので、
同じ位の大きさに見える

43

Nobel Prize
ノーベル物理学賞受賞者 2020年
Nobel Laureates in Physics 2020

「ブラックホール」

ロジャー・ペンローズ (89) 高オックスフォード大
「ブラックホール形成が一般相対性理論におけるごく自然な帰結となることを発見に対して」

ライムホルト・クワンツェル (68) 独マックスプランク研究所
アンデレアズ・ゲイツ (55) 米カリフォルニア大学バークレー校
「天の川銀河の中心に超大質量なコンパクト天体を発見したことに對して」

Roger Penrose "for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity"
Reinhard Genzel and Andrea Ghez "for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy."

44

3.4.3 ブラックホールの未解決問題:時空特異点をどう解決するのか 教科書p97

特異点定理 (ペンローズ, 1965年)

ブラックホールの定義 = 光が無制限まで届かない空間領域(事象の地平の内側)

光円錐(light cone)

事象の地平面 (Event Horizon)

ブラックホール (singularity) 特異点

見かけの地平面 (Apparent Horizon)

捕獲面 (Trapped Surface)

時空の対称性に関係なく、特異点は形成される!

45

3.4.3 ブラックホールの未解決問題:時空特異点をどう解決するのか 教科書p98

宇宙検閲官仮説 (ペンローズ, 1969/79年)

特異点が発生すると、物理の議論ができなくなって、特異点発生は、物理的に禁止されているのではない?
cosmic censorship conjecture

弱い宇宙検閲官仮説 R. Penrose (1969)
適切なエネルギー条件を満たす漸近平時時空では、重力崩壊によって発生するすべての特異点は、ブラックホールの事象の地平面に覆われる。
「裸の特異点は、見えてはならない」

強い宇宙検閲官仮説 R. Penrose (1979)
適切なエネルギー条件を満たす漸近平時時空では、裸の特異点は形成されない。
「裸の特異点は、存在しない」

46

Nobel Prize
ノーベル物理学賞受賞者 2017年
Nobel Laureates in Physics 2017

重力波の初観測に成功したアメリカの重力波検出グループLIGO (ライゴ, Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory)の3名へ。

受賞理由は、"for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves" (LIGO検出器開発への貢献と重力波の観測)

47

重力波の発生と伝播

連星ブラックホールや
連星中性子星

レーザー干渉計
LIGO=Laser Interferometer
Gravitational-Wave Observatory

48