

第 10 回 講義内容

2025/11/26 (Wed)

配布物

- 10.Cosmology_contents.pdf このファイル Google classroom, web
- 10.Cosmology2025_Viewgraph.pdf スライド Google classroom, web
スライドファイルは、当日朝に。

講義内容（予定）

- §3.3 一般相対性理論
重力波, タイムマシン
- §4.1 光は波なのか, 粒子なのか
溶鉱炉の温度の問題, プランクの量子仮説, アインシュタインの量子仮説
- §4.2 原子の構造
原子模型, 水素原子から出る輝線

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.

- 光を波と考えなければならない事実はどんなものがあるか.
- 光を粒子と考えなければならない事実はどんなものがあるか.
- 上記 2 つは, なぜ矛盾するのだろうか.

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.

- 水素のイオン化エネルギー
- シュレーディンガーの猫

【実験ですよ】 光は横波である

自然光 偏光 透過光

振動の方向 光の振動 光の振動

<http://www.sasvitz.com.co.jp/hankubun.html>

66

【実験ですよ】 光は波である 2重スリットによる干渉実験

2重スリットで干渉縞ができる

単スリットでもできる

Figure 16.12 Light from the source passes through a single slit before entering the double-slit aperture. The resulting interference pattern is observed on the screen. The spacing of the double-slit aperture and the distance to the screen are indicated.

Figure 16.13 When the path difference between the two waves is equal to half a wavelength, the two waves arrive at the screen with a phase shift of π , producing destructive interference.

Figure 16.14 When the path difference between the two waves is equal to a full wavelength, the two waves arrive at the screen in phase, producing constructive interference.

69

4. 現代物理2-原子・素粒子の理論(量子論) 4.1 光は波か粒子か 教科書 p114

4.1.1 溶鉱炉の温度の問題

「色と温度が関係ありそうだ」
温度が上がると赤、さらに上がると白

光のエネルギーの大きさ

このグラフを説明する理論は??

赤い色 ← → 青い色

70

4. 現代物理2-原子・素粒子の理論(量子論) 4.1 光は波か粒子か 教科書 p116

4.1.1 溶鉱炉の温度の問題

プランクの法則
「2つの式を合わせるとピッタリ」

レイリーの公式
プランクの公式=実験値
ウィーンの公式

Max K. E. L. Planck (1858-1947)

$$I(\nu, T) = \frac{2\nu^2}{c^2} kT$$

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

何か本質が隠れていそう。

74

4. 現代物理2-原子・素粒子の理論(量子論) 4.1 光は波か粒子か 教科書 p118

4.1.2 プランクの量子仮説

プランクの量子仮説 (1900年)

光のもつエネルギーには最小単位があってとびとびの値をとる。その最小単位は、振動数 ν に比例して変わる。

式で表すと、光のエネルギー E が、比例定数を h として、

光のもつエネルギーには最小単位がある!

$$E = h\nu$$
 (4.6)

Max K. E. L. Planck (1858-1947)

76

4. 現代物理2-原子・素粒子の理論(量子論) 4.1 光は波か粒子か 教科書 p118

4.1.3 アインシュタインの光子仮説

光電効果 = 金属に光を当てると、電子が飛び出すことがある。

ただし、光の振動数がある値から大きいときに限る。そうであれば、どんなに弱い光でも電子が飛び出す。

なぜ? 光が波ならこうはならない。

「光が波だと考えると不思議。粒子だと考えよう。」 1905年

光が1つ2つと数えられる粒子(光子)と考える。光子1つの持つエネルギーが $E = h\nu$ と考える。(h は振動数[1/秒])

そう考えると、ある程度エネルギーの大きな光を照射すれば電子が飛び出すことになる。

Albert Einstein (1879-1955)

77

4. 現代物理2-原子・素粒子の理論(量子論) 4.2 原子の構造 教科書 p122

ガイガーとマースデンの実験(ラザフォードの実験)1909

金箔に α 粒子 (He原子核) を照射

スリット 真空 金箔 放射線 放射線 放射線

放射線に α 粒子が当たると、蛍光を発する。

原子核のそばを通る α 粒子の軌跡

原子核

原子

ときどき大きな反射角で散乱する
→ 中心に「核」があるにちがいない。

80

4. 現代物理2-原子・素粒子の理論(量子論) 4.2 原子の構造 教科書 p122

4.2.1 原子模型

原子の構造はどうなっているのか? プラスとマイナスの電気が存在していることは既知。

トムソン模型 1903 長岡模型 1903 ラザフォード模型 1909

トムソンの原子模型 長岡の原子模型 ラザフォードの原子模型

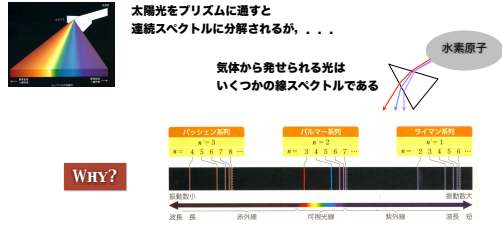
問題点あり
「加速度をもって飛び回る電子は、電磁波を放射してエネルギーを失っていくはずなのに、何故回り続けていられるのか」

やっぱり問題は残る
Why?

81

4. 現代物理2：原子・素粒子の理論(量子論) 4.2 原子の構造 教科書p123

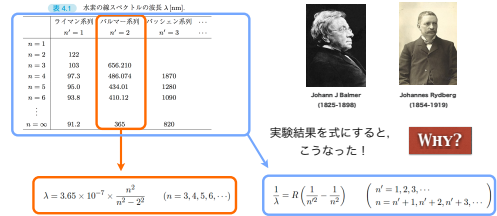
4.2.2 水素原子から出る輝線



82

4. 現代物理2：原子・素粒子の理論(量子論) 4.2 原子の構造 教科書p123

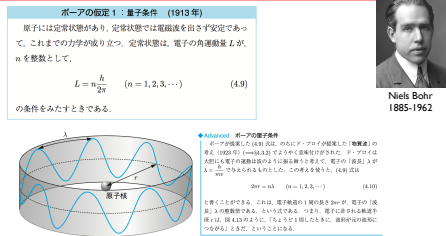
4.2.2 水素原子から出る輝線



84

4. 現代物理2：原子・素粒子の理論(量子論) 4.2 原子の構造 教科書 p125

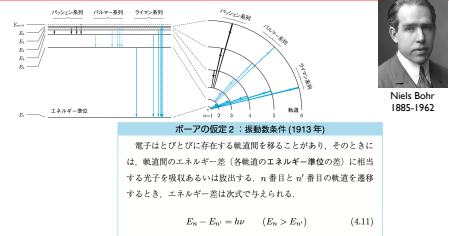
4.2.3 ボーアの原子モデル



86

4. 現代物理2：原子・素粒子の理論(量子論) 4.2 原子の構造 教科書 p125

4.2.3 ボーアの原子モデル



87

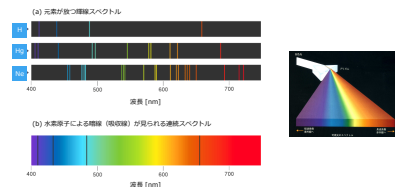
光粒子仮説 (光を粒子と考える理由)

- 溶鉱炉の温度の問題
光のエネルギー分布は、光のもつエネルギーには最小単位があると考えると理解できる (プランク、光量子仮説)
- 光電効果の理論
金属に光を当てると電子が飛び出す。どんなに弱い光でも、ある周波数以上の光ならOK。
→ 光を粒子と考える (アインシュタイン、光子仮説)
- 光は質量ゼロの粒子
光のエネルギー E は、 $E = h\nu$

原子模型

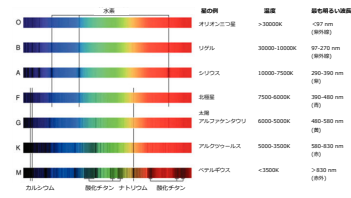
- ラザフォードの実験
 α 粒子を当てると、散乱角が大きいきがある。
→ 原子には、核がある。
→ 電子が核のまわりを回り続けるのは何故か？
(すぐに落ち込んでしまうはず)
→ 電子は軌道が決まっている (ボーア)
- 光の輝線スペクトルの発見
決まった振動数 (波長) の光が発せられる。
→ 何故か？
→ 電子が軌道間を遷移することで、光を発したり、吸収する。 (ボーア)

【物理】 輝線スペクトル・連続スペクトル 教科書p217



31

【物理】 星のスペクトル型 OBAFGKM 教科書p218



33