

第 10 回 講義内容

2024/11/25

配布物

- 10_Cosmology_contents.pdf このファイル Google classroom, web
第 4 章のまとめスライド付き.
- 10_Cosmology2023_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

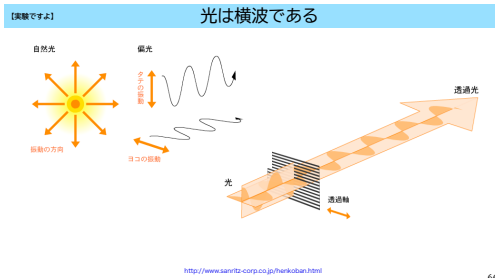
こんなことを観たり, 調べたり, 考えてもらったら面白いかな, という程度のおまけ.

- 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.

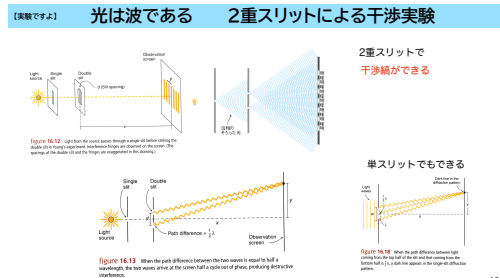
次回の予習項目

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



66

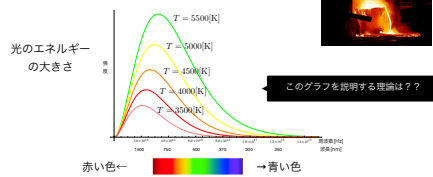


69

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

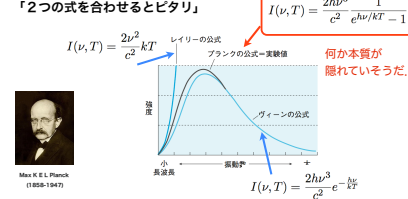


70

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

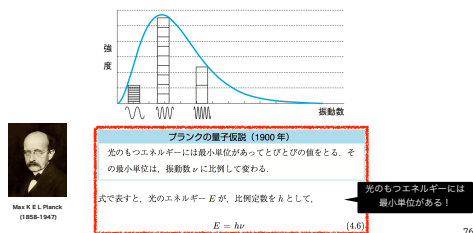
プランクの法則
「2つの式を合わせるとビタリ」



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

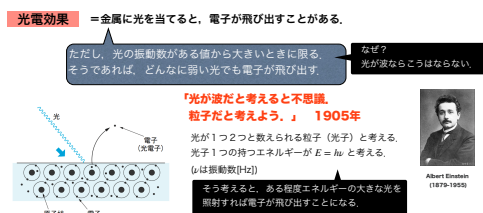
4.1.2 プランクの量子仮説



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

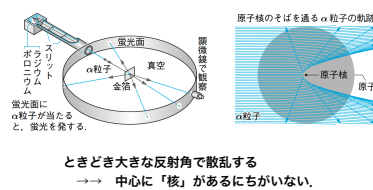


77

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



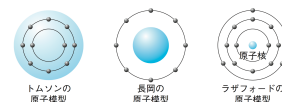
80

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



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

太陽光をプリズムに送ると連続スペクトルに分解されるが、...

気体から発せられる光はいくつかの線スペクトルである

水素原子

WHY?

パッシェン系列 (n=5, 6, 7, ... → n=3), バルマー系列 (n=4, 5, 6, ... → n=2), ライマン系列 (n=2, 3, 4, ... → n=1)

可視光線, 紫外線, 可聴域, 超音波

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

表4-10 水素の線スペクトルの波長 λ (nm)

ライマン系列 ($n_f=1$)	バルマー系列 ($n_f=2$)	パッシェン系列 ($n_f=3$)
$n=2$: 121.6	$n=3$: 656.3	$n=4$: 1875
$n=3$: 102.5	$n=4$: 486.1	$n=5$: 1282
$n=4$: 97.3	$n=5$: 434.0	$n=6$: 1094
$n=5$: 94.9	$n=6$: 410.2	
$n=6$: 93.8		
$n=7$: 93.2		

実験結果を式にすると、こうなった!

WHY?

$$\lambda = 3.65 \times 10^{-7} \times \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \quad (n = 3, 4, 5, 6, \dots)$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \left(\begin{array}{l} n_f = 1, 2, 3, \dots \\ n = n_f + 1, n_f + 2, n_f + 3, \dots \end{array} \right)$$

John J. Thomson (1856-1940), Johannes Rydberg (1854-1919)

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

ボーアの仮定1: 量子条件 (1913年)

原子には定常状態があり、定常状態では電磁波を放射せず安定であって、これまでの力学が成り立つ。定常状態は、電子の角運動量 L が、 h を整数として、

$$L = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.9)$$

の条件を満たすときである。

Niels Bohr 1885-1962

ボーアの仮定2: 振動数条件 (1913年)

電子はとびとびに存在する軌道間を移ることがあり、そのときには、軌道間のエネルギー差 (各軌道のエネルギー差の差) に相当する光子を吸収あるいは放出する。n 番目と n' 番目の軌道を選択するとき、エネルギー差は次式で与えられる。

$$E_n - E_{n'} = h\nu \quad (E_n > E_{n'}) \quad (4.11)$$

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

ボーアの仮定1: 量子条件 (1913年)

電子はとびとびに存在する軌道間を移ることがあり、そのときには、軌道間のエネルギー差 (各軌道のエネルギー差の差) に相当する光子を吸収あるいは放出する。n 番目と n' 番目の軌道を選択するとき、エネルギー差は次式で与えられる。

$$E_n - E_{n'} = h\nu \quad (E_n > E_{n'}) \quad (4.11)$$

Niels Bohr 1885-1962

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。
→ 光を粒子を考える (アインシュタイン、光粒子仮説)
- 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、散乱角が大きいときがある。
→ 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

(a) 元素が放つ輝線スペクトル

(b) 水素原子による連続線 (吸収線) が認められる連続スペクトル

太陽光のスペクトルに暗線(吸収線)がみられる理由は何か。

31

【物理】 星のスペクトル型 OBAFGKM 教科書p218

星の型	色	表面温度 (K)	最も輝く波長 (nm)
O	青	>30000K	<37 nm (紫外線)
B	青白	30000-10000K	97-270 nm (紫外線)
A	青白	10000-7500K	280-390 nm (紫外線)
F	青白	7500-6000K	390-480 nm (可視光)
G	青白	6000-5000K	480-580 nm (可視光)
K	赤	5000-3500K	580-830 nm (可視光)
M	赤	<3500K	>830 nm (赤外線)

遠方の星が赤方偏移していることから宇宙膨張が発見されたが、遠方(宇宙初期)には赤い星が多い、と考えなかった理由は何か。

33