

西村ゼミ

担当教員

西村まどか (専門:素粒子物理学)

ゼミ生紹介

- 専門演習Ⅰ履修者 (1 名)
佐藤 (3 年, 通称ひさお)
漢字一文字で表すと「竹」
- 公益自由研究出身者 (1 名)
阿部 (2 年, 通称ゆうと)
髪型はポニーテール

今までの研究テーマ

- 熱放射について (佐藤)
- ビックバン宇宙の歴史 (阿部)

研究テーマ解説

シュテファン-ボルツマンの法則の導出 (佐藤)

あらゆる物体はその温度に相当する熱放射を出しています。

壁で包まれた体積 V の空洞があってその温度が T に保たれているとき、空洞の中には電磁波があって振動しています。振動数 ν と $\nu + d\nu$ の間の振動数を持つ固有振動の数は

$$\frac{8\pi}{c^3} V \nu^2 d\nu \quad (1)$$

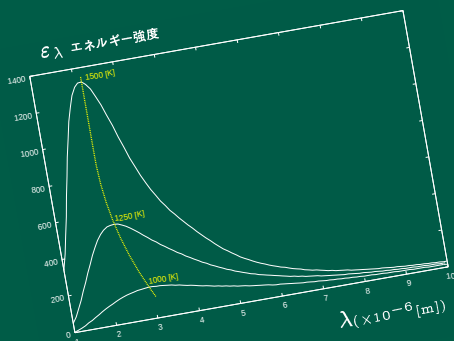
になります。 c は光の速度です。振動数 ν の固有振動のもつ平均エネルギーは

$$\frac{1}{2} \varepsilon_0(\nu) + \overline{\varepsilon(\nu)} = \frac{1}{2} h\nu + \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (2)$$

となっていて、空洞全体のエネルギーは (2) の式から $\frac{1}{2} h\nu$ を取って (1) の固有振動の数をかけて、全ての振動数を足せばいいので積分で書くと

$$\bar{E} = \int_0^\infty \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \frac{8\pi}{c^3} V \nu^2 d\nu$$

図 1: 熱放射



$$= V \int_0^\infty \frac{8\pi}{c^3} \frac{h\nu^3 d\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

で表せます。ここで、 h はプランク定数、 k はボルツマン定数です。単位面積あたりのエネルギーは体積 V で割ってやればいいので

$$\bar{\varepsilon} = \int_0^\infty \frac{8\pi}{c^3} \frac{h\nu^3 d\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (3)$$

です。 ν と $\nu + d\nu$ の間の振動数を持つ振動のエネルギーは (3) を微分して

$$\bar{\varepsilon}_\nu d\nu = \frac{8\pi}{c^3} \frac{h\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu \quad (4)$$

また波長 λ に換算すれば

$$\bar{\varepsilon}_\lambda d\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{d\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (5)$$

となり、図のようになります。

(5) をプランクの熱放射式といいます。

(4) の単位面積あたりのエネルギーを

$$x = \frac{h\nu}{kT} = \frac{hc}{\lambda kT}$$

の変数で書き変えると

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon} &= \frac{8\pi}{c^3 h^3} k^4 T^4 \int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} \\ &= \frac{8\pi^5 k^4}{15 c^3 h^3} T^4 \end{aligned}$$

となります。 π, k, c, h は定数で一定の値なのでエネルギーの総量は T^4 に比例します。これがシュテファン-ボルツマンの法則です。

ハッブル定数について (阿部)

ハッブルは 2 つの現象を調べ、宇宙のはてまでの距離を知ろうとしました。

天体までの距離の測定方法

標準光源とは、遠くにある明るい星と、近くにある暗い星を見分けるための基準のことです。ハッブルは標準光源を用い、天体までの距離を測定する方法を発見しました。そして、天体までの距離から、宇宙の大きさを計ろうとしたのです。

変光星は周期的に明るさの変わる天体のことです。変光星の周期を調べると、その絶対光度が分かります。これをもとにして、天体までの距離を調べると、調べたいいくつかの天

体の位置が天の川銀河のはるか外側であることが分かります。

これによって、宇宙の大きさはいくつもの銀河を含むことが分かったのです。

光のドップラー効果

ド・ジッターは遠くの銀河ほど離れる速度が速いと提唱しました。そこで、ハッブルは 24 個の銀河についてドップラー効果を調べました。

ドップラー効果は、音源と観測者の相対速度により、波長の長さが変わる効果です。これを光へ適用したのです。

その天体が遠ざかっているときは、光の波の数は変わりませんが、相対速度が長くなるため、波長は長くなります。そのため黄色い星は赤みがかって見えるのです。これを赤方偏移といいます。

ハッブルの結論

ハッブルは、全ての銀河が赤方偏移を起こし、銀河までの距離と、銀河が離れていく速度は比例関係にあるとしました。

この、銀河までの距離と銀河の速度についての比例定数は、ハッブル定数と呼ばれるようになりました。

宇宙からの熱放射

宇宙のはてからの熱放射についてですが、WMAP という探査機で調査が行われています。毎年更新されており、

http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/current/m_images.cfm

からダウンロードできます。

ゼミの PR

- 長時間の計算が苦にならない人
- 宇宙に興味がある人
- ゼミ生募集中

今後の予定

- 素粒子の統計について (佐藤)
- 元素合成について (阿部)

参考文献

- [1] 宇宙創成はじめの三分間, S. ワインバーグ, ダイヤモンド社
- [2] 統計力学, 久保亮五, 共立出版
- [3] パラレルワールド - 11 次元の宇宙から超空間へ, ミチオカク, 日本放送出版協会