

演示 スペクトルの観察

1 目的

- ・天体からの光を分光すると、さまざまな性質を調べることができる。
- ・スペクトルの色の順序が同じであること、輝線、吸収線が存在することを知る。

2 準備するもの

スタンド付き分光プリズム、直視分光器、塩化ナトリウム、アルコールランプ、ナトリウム光源装置、ガスコンロ用パネル、セロハンテープ、(スケッチする場合は色鉛筆)

3 所要時間

(1)全員で見る 5分、(2)ひとりひとりで観察する 20分、(3)黒い炎 10分(点灯準備 20分)

4 実習の方法

(1) 全員で一緒に見る (数分間の演示・観察)

スタンド付きの分光プリズムを窓際に置き、太陽光が入るようにする(図1)。プリズムの角度を調節すると、天井や壁に太陽のスペクトルが映し出される(図2)。太陽との角度が悪いときは大きめの手鏡を使って、スペクトルを反射させて壁などに映す。

T: 雨上がりの時に見える虹の色の順序と同じか違うか。
S: 順序は同じ。

気象分野、天文分野でのスペクトル導入に最も簡単な方法である。色の順序が決まっていることが確認できればよい。さらにすすんで、光は横波の一種で、色の違いは波長の違いであることを説明する。レーザーポインタがあれば、映し出されたスペクトルをさして、紫の外側に紫外線、赤の外側に赤外線が存在することも説明する。

(2) ひとりひとりで観察する

直視分光器(図3)で太陽のスペクトル(連続光と吸収線)、蛍光灯(連続光と輝線)を観察する。

<準備>

直視分光器スリット(図3)をあらかじめ調整しておく。

リングを回してスリットを細くすれば、吸収線、輝線がくっきり見えるが、光量が減るので暗くなる。適当な位置にしてセロハンテープで固定しておく。生徒はピント(視度)調節のみ行う。連続光の帯の上下がくっきりとした線になる位置がピントのあった位置である。



図1 スタンド付き分光プリズム



図2 天井に映し出されたスペクトル



図3 直視分光器とスリット部

① 蛍光灯の連続光と輝線を観察する。

暗幕を閉めて、なるべく蛍光灯の真下で観察する。赤から紫のグラデーション（連続光）が見え、スペクトルと直角方向に輝線が観察できる。（図4）この輝線は水銀（Hg）によるものである。

蛍光灯は両端のヒーターで管内の水銀蒸気を温め、それから発生する紫外線が光のもととなっている。管の内側に塗ってある「蛍光塗料」の素材によって、温暖色、白色、寒冷色などの色合いを出すことができる。

T：プリズムで投影したスペクトルと比較してみよう。

S：色の順序は同じになっている。

ところどころ明るいスジのようなものが見える。

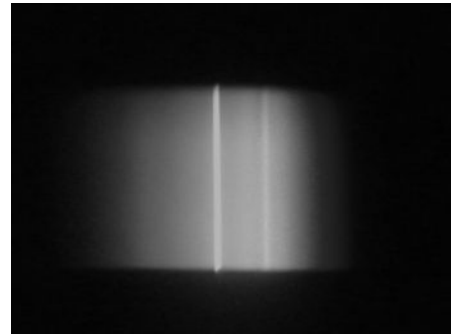


図4 蛍光灯のスペクトル

② 太陽の連続光と吸収線を観察する。

室内の蛍光灯は消し、なるべく窓際で観察させる。

太陽を直接見てもダメ！ 青空に向けさせること。

蛍光灯と同じように、赤から紫のグラデーション（連続光）が見え、スペクトルと直角方向に細い黒い筋のような線（吸収線）が無数に見えることがわかる（図5、図6）。吸収線は、ピントをよく合わせないと見えにくい。蛍光灯と色の並び（連続光のグラデーション）が同じであることを確認させる。

T：蛍光灯のスペクトルと比較してみよう。

S：色の変化は同じになっている。

ところどころ細い黒いスジのようなものが見える。

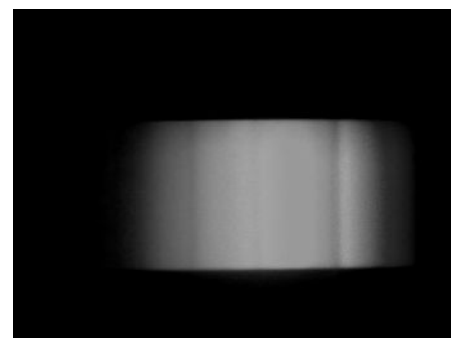


図5 太陽のスペクトル



図6 太陽の吸収線の詳細（左が短波長）

< 発展資料 >

以下の URL から太陽スペクトルの吸収線（フラウンフォーファー線）の詳細画像が得られる。大型プリンター出力し、すべてをつなげると 10m もの迫力ある「スペクトル巻物」ができる。色調整もよくできているので、演示の締めくくりとしてもよい。

<http://paodb.nao.ac.jp/dash4/> （ゲストでアクセスし「太陽、スペクトル」で検索する）

③ ナトリウムの輝線を観察する

暗幕を閉めて部屋を十分暗くしてから、アルコールランプのエタノールに食塩を入れる（ランプの底一面に広がるくらい十分入れる）と、火をつけたときナトリウムの炎色反応が起こる。直視分光器で観察すると、連続光がなく輝線のみで輝いていることがわかる（図7）。化学の炎色反応の実験で見られるものである。

ガスバーナーの炎に、金属元素の塩化物（NaCl、CaCl₂等）の水溶液を霧吹きでかけてもよい。さまざまな金属元素の輝線が見られる。

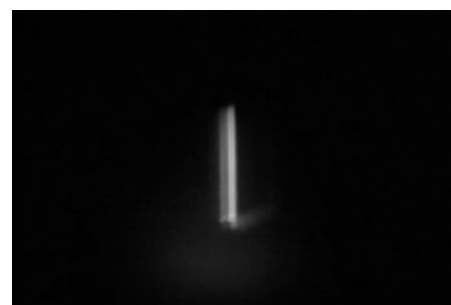


図7 ナトリウムの輝線

T：蛍光灯、太陽と比較してみよう。

S：目で見た炎の色と同じ色で、輝くスジのようなものが見える。色変化のグラデーションがない。

<簡単なスケッチをする>

色鉛筆を使って、連続スペクトルの色変化を着色させたり、輝線、吸収線がどこに見えたかをスケッチさせることも考えられる。ただし、スペクトル幅を狭くした細長い長方形（1cm×10cm くらい）で書かせる。指示がないと塗り絵だけで多くの時間を費やしてしまうので注意。

(3) 黒い炎を見せる

大型ナトリウム光源(図 8)の下で、アルコールランプを使って塩化ナトリウム水溶液の炎色反応を行う。白色光のもとではナトリウムの光はオレンジ色であるが、アルコールランプの炎が黒くなる(図 9)。黒い炎を見せるときは、ガスコンロ用パネルなどで光が拡散しないようにする。

ナトリウム光源とアルコールランプの炎の温度を比較すると、光源の温度の方が高いため、ランプの炎の中の低温のナトリウムが、光源のナトリウムの輝線の光をすべて吸収する。そのため、炎が黒く見える(キルヒホフの法則)。

光源が太陽の光球でアルコールランプ中のナトリウムが彩層であると考えると、太陽の吸収線のでき方がよく理解できる。恒星のスペクトルに見られる吸収線も同じ原理である。



図 8 ナトリウム光源装置



図 9 黒い炎のようす
手前においたアルコールランプの炎が黒く見えている。

5 簡易型分光器を作る

CD や DVD のチップを利用して簡易分光器を作成することもできる。スリットの調整が難しいが、連続スペクトルや蛍光灯の輝線、Na の輝線などは観察できる。(吸収線は観察することは厳しい)

<CD-ROM 分光器作成のための URL>

吉田英一さん 切り抜く工作

<http://www.venus.sannet.ne.jp/eyoshida/index.htm>

■用意するもの

CD-ROM(使用済・未使用問わず)

はさみ、カッター、のり、

セロテープ、黒いマーカー

ダウンロードした PDF ファイルを、少し厚めの紙に印刷する。CD-ROM は分光するだけでなく、装置の底面を支える役割もしている。内側の一部分を黒くぬるだけでスペクトルが見える。スリット部分をていねいに切り取ることが、工作のポイントである。

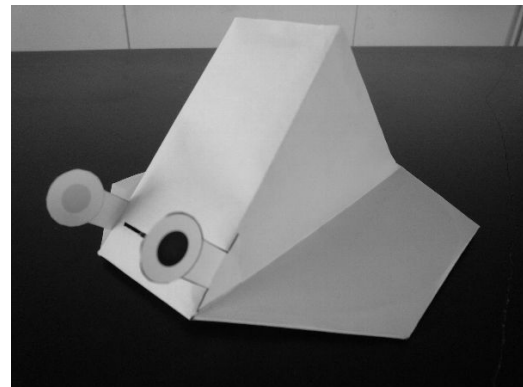


図 10 カタツムリ型分光器

6 中学校までの学習事項

虹の色などから、太陽光にはさまざまな色が含まれることを学習している。

7 実習間のつながり

『宇宙や地球をつくる元素』は、輝線・吸収線スペクトルと強い関連性がある。『演示 星の色と明るさ』の分光器を用いた観察は、この実習と同じ手法でよい。『恒星の分類』の横軸は表面温度であるが、スペクトル型をとることもできる。

8 補足資料

(1) スペクトルの扱いについて

高校物理(Ⅰ、Ⅱ)では取り扱わないような、スペクトルについての観察が入っている。なぜそのように見えるかという説明はなく、スペクトルの活用が中心的な課題である。特に天文分野では、実際に手にとって実験・観察ができないため、スペクトルは天体のさまざまな性質を調べるために有用な手段である。

(2) この実習の展開を豊かにするために

原子構造の理論やボーアモデルなどを学習していなくても、自然光はさまざまな色が混ざり合っていることは定着している。それを確かなものにするのが、この実習の目的でもある。

自ら発光している恒星はその表面温度に見合った放射をしている。惑星などは恒星の反射光である。惑星の光は太陽光を基準として、どのような吸収があるかで、大気、固体表面の組成が推定できる。反射光について多くは触れることはないが、動機付けとして以下のようなことが考えられる。

- | | |
|----------------|--------------------------------|
| 発問 A 黒色とはどんな色か | → すべての色を吸収する色 (黒髪) |
| 発問 B 白色とはどんな色か | → すべての色を反射する色 (ワイシャツ、ブラウス) |
| 発問 C 茶髪はどんな色か | → 青などを選択吸収して、残りの光が反射した色 |
| 発問 D 植物の葉は緑色 | → 光合成で使われる光は青や赤であり、それ以外の光の反射の色 |

ナトリウムランプで照らされた身近なものが、奇妙な色に見えてくるところで、これらの発問が生きてくる。スペクトルを見る前に、虹の色の順番はどうなっているか。色鉛筆などで書かせてみることも考えられる。

連続光の色の順序は同じであることは、この実習の中で体得させるべき最初の知識である。これがそれぞれの色の波長によるものあることは、横波(「つるまきばねによる縦波と横波」実習を参照)としての光の性質と合わせて解説しておきたい。

目で見られたスペクトルの他に、紫の外側には紫外線が存在すること、赤の外側には赤外線が存在することを説明する。さらに、さまざまな電磁波の種類は波長による違いであることも解説しておきたい。

(3) 実際に見られる天体スペクトル

① 輝線スペクトル

- ・流星 砂粒ほどの固体粒子が地球大気に衝突して発光する。6000K以上のプラズマとなり、希薄な状態なので輝線が見える。輝線の種類は、鉄、カルシウム、ナトリウム、マグネシウム、および大気起源の酸素、窒素などである。

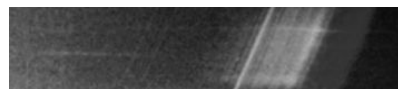


図 11 しし座流星群

- ・彗星 尾の塵の成分は太陽光の反射でありフラウンフォーファー線が見える。ガスの尾は H_2O^+ 、 CO^+ などのイオンでできているため輝線スペクトルである。また本体の核を取り囲むコマとよばれる部分は、希薄なガスでできていて、 C_2 、 CN などのラジカル(活性分子とよばれる)の発光である。これらは特徴的なバンドスペクトルを見せる。



図 12 ハレー彗星

- ・星雲 天の川の近隣に見られる散光星雲は赤い色をしているが、おもに水素の輝線である。惑星状星雲とよばれる星雲は、非常に希薄であるため、通常では見られない酸素、窒素、などの輝線(禁制線とよばれる)で光っている。

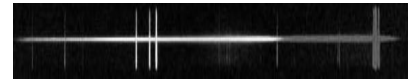


図 13 オリオン大星雲

- ・超新星 恒星の中で質量の大きなものは、末期に大爆発をする。これを超新星とよぶ。高温のガスが急速に膨張するので、さまざまな元素の輝線が観測できる。この輝線により、どのような恒星が、どんな過程で爆発したのか推定することができる。

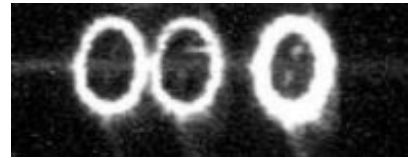


図 14 超新星 1987A
(爆発によってリング状になった H, N の輝線が見える)

②吸収スペクトル

- ・惑星大気

木星型惑星には顕著なメタンの吸収線が見られる。その他の惑星も固有な大気の特徴がスペクトルからわかる。地球では近赤外域において、水蒸気による吸収が顕著である。

- ・固体天体表面

反射スペクトルの観測となる。月の表面の Fe の分布などは、鉱物に特有の波長で観測することができる。



図 15 月

③連続スペクトルと吸収スペクトル、輝線スペクトル

- ・恒星(「恒星の分類」実習を参照)

恒星のスペクトルは太陽と同じように、連続スペクトルと恒星大気に存在する元素の吸収線が見える。この吸収線のあらわれ方は、恒星に含まれる元素の過多を示すのではなく、表面温度による差異である。初期の天体物理学は、この吸収線による恒星の分類(型)から始まった。現在でも、この恒星のスペクトル型を表面温度の代わりに使う。

- ・銀河

銀河は恒星とガスの大集団であるので、そのスペクトルは銀河を形成する恒星のスペクトル、星雲のスペクトルを足し合わせたものと考えてよい。連続スペクトルに混じって、水素などの輝線スペクトルが見える。銀河の視線方向の運動速度によって、この輝線はドップラー効果が観測される。ドップラー効果の量と銀河までの距離の関係を調べたのが、「ハッブルの法則」である。これによって、ほとんどの銀河が我々の銀河系から遠ざかっている(後退速度)ことがわかり、宇宙の膨張という考え方が生まれた。

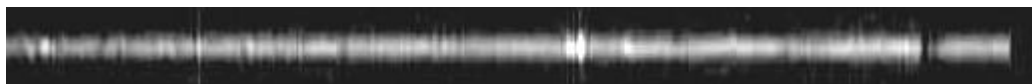


図 16 M51 銀河

- ・宇宙論

ビッグバンによって誕生した宇宙は、陽子、中性子、および電子が自由に飛び回る時代を経て、38 万年後に「宇宙の晴れ上がり」を迎えた。このときの光がドップラー効果によって波長が長くなり、137 億年後の現在においてマイクロ波放射として観測されている。この放射は宇宙背景放射とよばれ、温度に換算すると約 3K である。