

物理実験(分光スペクトル)演示装置の製作

増田 健二

工学部技術部学科系技術支援室

1. 物理実験種目の変遷

平成 12 年度からの静岡大学工学部の 4 年一貫教育に伴う 2 年次物理実験の種目としては、図 1 の 13 種目を行っている^[1]。物理実験は、12 人で 1 班を作り 2 人 1 組で 1 つの実験装置を使用する。1 クラスは、最大 156 人 (13 種目(班)×12 人) で 5 クラス (4 学科 + 夜間主) 合計 600 人以上が受講している。実験種目は、半分近くがどの大学でも展開している一般的な実験となっているが、印の 7 種目は、独自に教材開発した種目となっている。授業回数は、13 回の実験とガイダンス 1 回の半期 14 回の形態となっている。平成 19 年度からは、1 年次通年の「創造教育実習」が開始され、物理化学実験 (半期) となり授業回数が半分 (実験 6 回、ガイダンス 1 回) となった関係で、独自に開発した種目を中心に表 1 の 8 種目となった^[2]。この中で 印の 5 種目は、実験装置を 6 セット増設し受講学生は 24 人(装置は 12 セット)となり、残りの 3 種目は予算の関係で従来の 6 セットの装置による 12 人構成で展開している。

来年度(平成 21 年度)からは、JABEE 対応で講義 15 回 + 試験 1 回の授業形態になるため、実験も 15 回行うことになり、物理化学実験も物理実験 7 回 + 化学実験 7 回 + ガイダンス 1 回で展開することになった。これに伴い、分光器スペクトルの装置を 6 セット増設して、12 セット受講学生 24 人の構成にすることにした。この実験は、ティーチング・アシスタントが担当する種目のため、説明においても多人数に対応した説明方法が必要となる。そこで、直視分光器とデジタルカメラを組み合わせた演示実験装置を製作し、活用することを考えている。

物理実験アンケート(H16後期~H17前期:工学部628名)

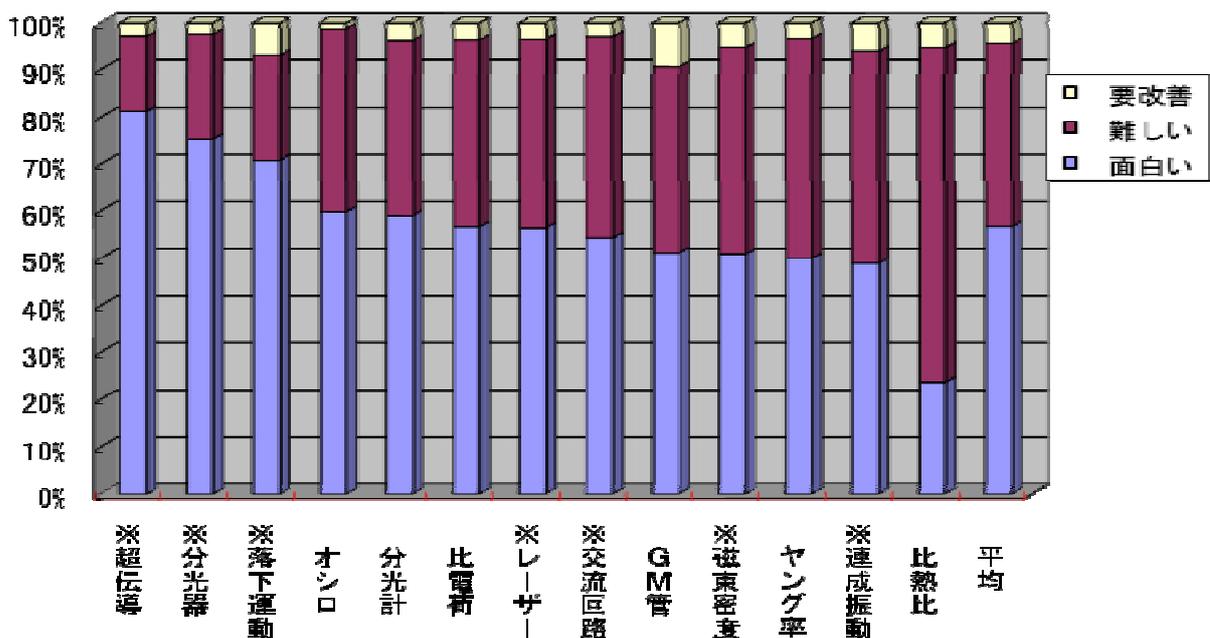


図 1 工学部 4 年一貫教育に伴う物理実験種目とアンケート結果 (教材開発種目)

超伝導	連成振動	分光器によるスペクトル測定
磁束密度	落下運動	G・M計数管による線測定
レーザー光	電子の比電荷	印は装置を12セットに増設

表1 物理化学実験の種目と装置のセット数

2. 光を放出する原理と演示実験装置の仕組み

図2に分光スペクトル演示装置の全景および拡大写真を示す。放電装置は、水素ガスなどを注入したガラス管の両端の電極にネオントランス(1次:100V, 2次6000V)を可変変圧器で調節し2000V(10mA)の高電圧をかける。電極が高温になって熱電子が飛び出し、電場によって加速された熱電子が水素ガスなどの原子にぶつくと物質を構成している原子は、エネルギーの低い安定状態(基底状態)から、エネルギーの高い状態(励起状態)に移る。しかし励起状態は不安定なため、物質は光などの形でエネルギーを放出して基底状態に戻る。さらに外部からのエネルギー供給が続くと、熱電子を受ける物質は基底状態と励起状態を繰り返し、そのたびに光(電磁波)を放出する。

放電管からの光が直視分光器(エドモンド90665)のプリズムを通過すると、いろいろな色の光に分かれる。この現象を分散といい、分かれた色の列をスペクトルという。このスペクトルをデジタルカメラで撮影する。同時に、ファイバーを通してイメージセンサ(フォトダイオードアレー)分光器(Ocean Optics USB2000)に取り入れ、スペクトル解析を行う。

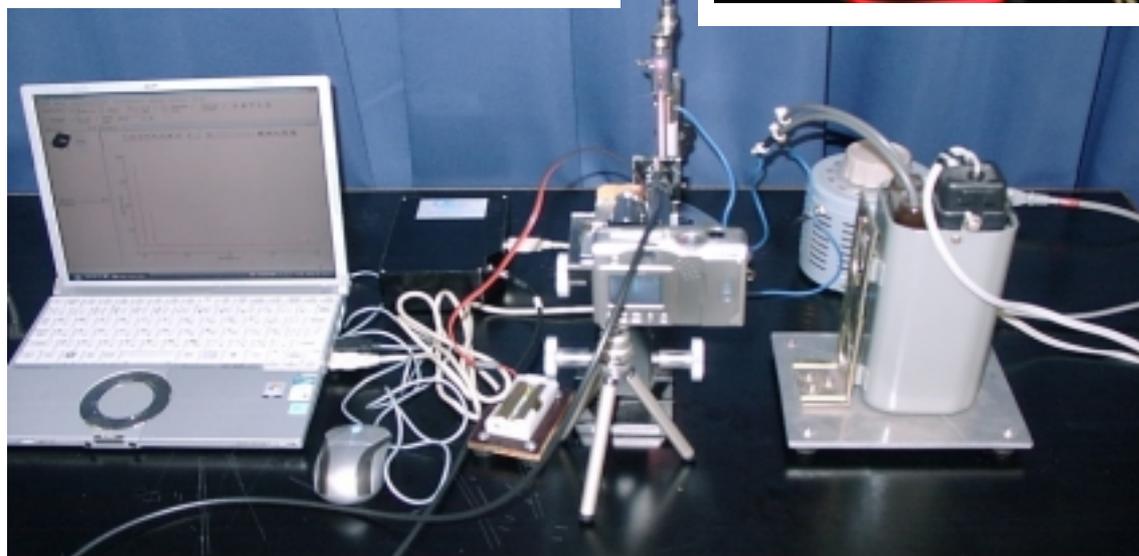
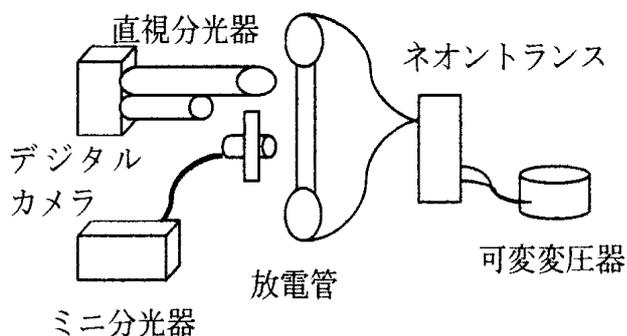


図2 分光スペクトル演示装置の写真

3. 測定結果と活用方法

直視分光器で測定したヘリウム（図3(a)）とナトリウム（図4(a)）の輝線スペクトルの写真を示す。次に、イメージセンサ分光器で測定したヘリウム（図3(b)）とナトリウム（図4(b)）のスペクトル解析データを示す。理科年表の定数値^[3]（表2：ヘリウム，表3：ナトリウム）とイメージセンサ分光器のテキストデータを比較すると0.5nm程度の誤差と高精度な測定となっている。直視（プリズム）分光器の「5」の目盛は、ほぼ500nmを示しているので、最少目盛の1/2（5nm）程度で読み取ることができる。プリズム分光器は、プリズムの設置角度やフリントガラスの材質などにより微妙に異なる。そこで、既知波長のスペクトル光源として、水銀ランプとヘリウム放電管を用いて較正曲線を作成する。物理実験では較正曲線を作成し、これを利用して、水素、カドミウム、ナトリウム、アルゴン、蛍光灯などのスペクトル線の波長を測定する。

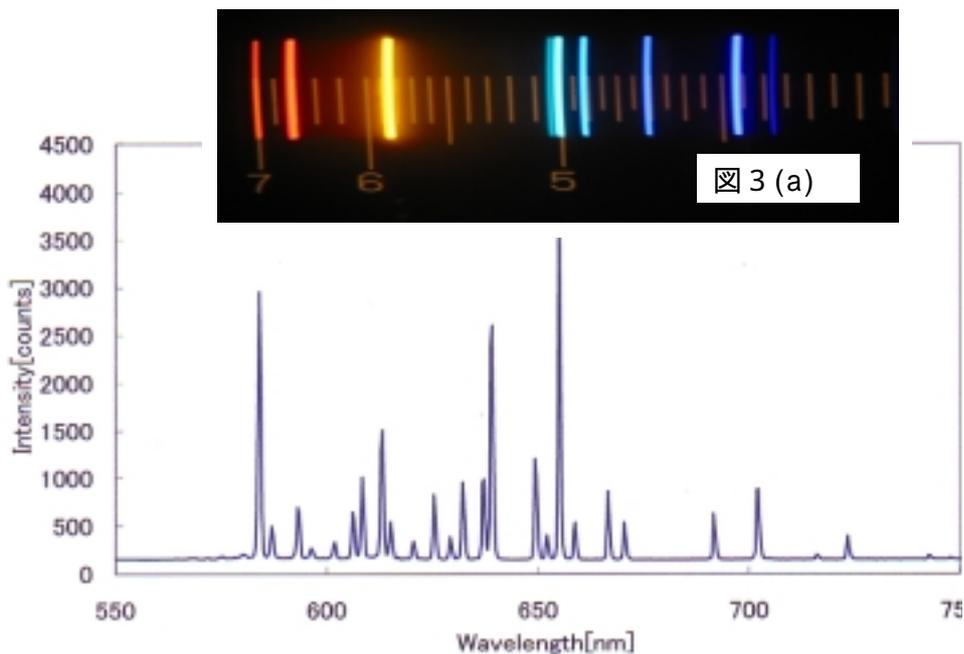


図3(b) ヘリウム(He)スペクトル解析

波長[nm]	色
706.52	赤
667.82	赤
587.56	黄
501.57	緑
492.19	緑青
471.31	青
447.15	青
402.62	紫

表3 He 定数値^[3]

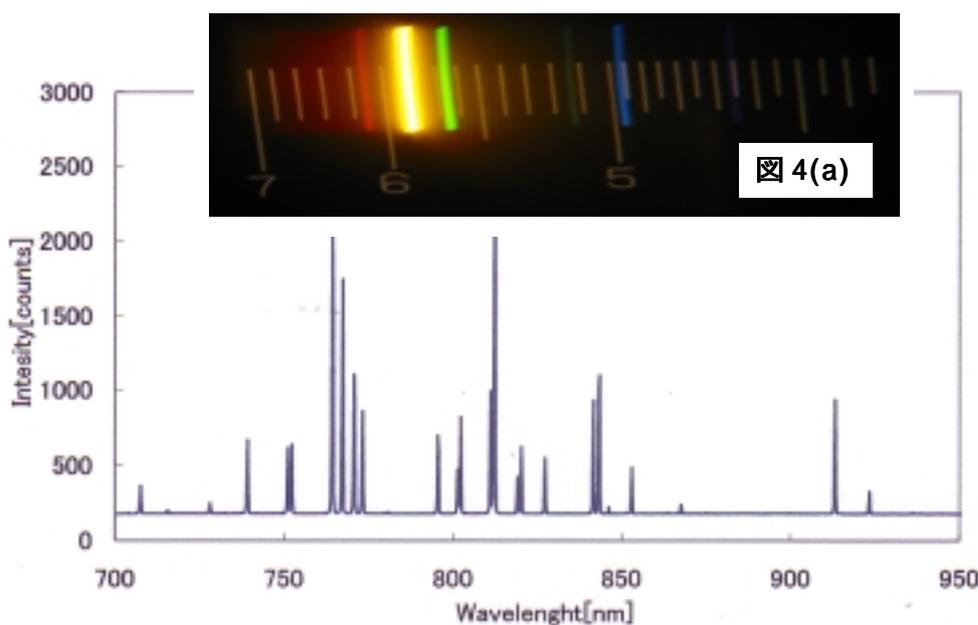


図4(b) ナトリウム(Na)スペクトル解析

波長[nm]	色
616.076	赤
589.592	黄(D ₁)
588.995	黄(D ₂)
568.882	緑
498.285	青

表4 Na 定数値^[3]

4. 蛍光灯・白熱電球・太陽光のスペクトル分布

蛍光灯のスペクトル分布を図5に示す。蛍光灯は管内に低圧のアルゴンガス（不活性ガス）と水銀蒸気が封じ込められている。蛍光灯の両端の電極に高電圧をかけると、熱電子が放出され水銀電子と衝突して波長 253.7nm の紫外線が多量に発生する。この紫外線が放電管内壁の蛍光体にあると蛍光体特有の可視光（白色光）に変換される。

物体を高温にしたとき発光する現象、いわゆる熱放射を利用した光源が白熱電球であり、可視波長域から近赤外波長域の広い波長領域にわたる連続スペクトルを発光する（図6）。分光放射率が波長に関係なく一定である場合、最大発光波長 λ_{\max} と絶対温度 T の積は一定というウィーンの変位則の関係にある。図6のグラフより $\lambda_{\max} = 880 \text{ nm}$ であり、式(1)のウィーンの変位則を用いて絶対温度 T を算出する。フィラメントの絶対温度は $T = 3395 \text{ K}$ となる。タングステンは、金属中で融点 (3654K) が最も高く、かつ蒸気圧が最も低いため、可視および近赤外域用の熱放射光源（白熱電球のフィラメント）として用いられている。

熱放射の代表には太陽があり、連続スペクトルを描く光線が発生させている。ここの色(波長)ごとの要素の中で赤外域から赤色(770nm)から紫色(366nm)を過ぎ、紫外線にいくにしたがって高温になっていく。太陽の散乱光（天空光）の分光スペクトル分布を図7に示す。最大発光波長 λ_{\max} は 480 nm であり、式(1)より温度 $T \approx 6000 \text{ K}$ となる。

$$\lambda_{\max} \times T = 2897.8 \mu\text{m} \cdot \text{K} \quad (1)$$

参考文献

- [1] 静岡大学物理教室編：「物理実験指導書」
- [2] 静岡大学工学部共通講座物理学教室編：「物理学実験」，学術図書出版社
- [3] 国立天文台：「理科年表」，(2001)，丸善，506

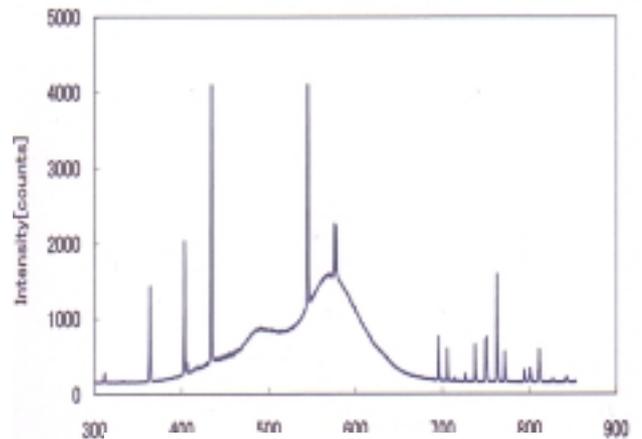


図5 蛍光灯のスペクトル分布

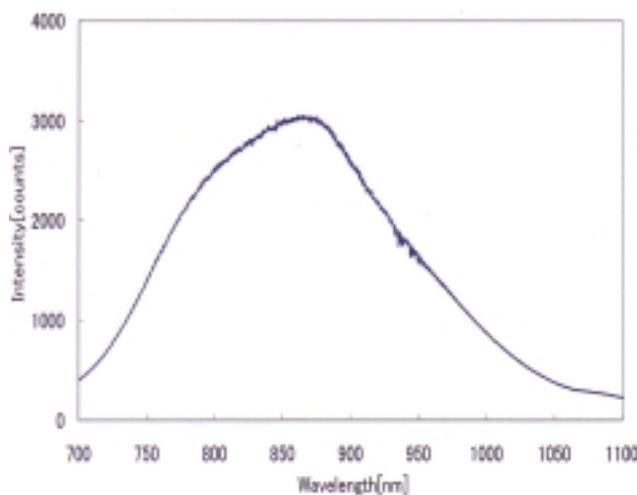


図6 白熱電球のスペクトル分布

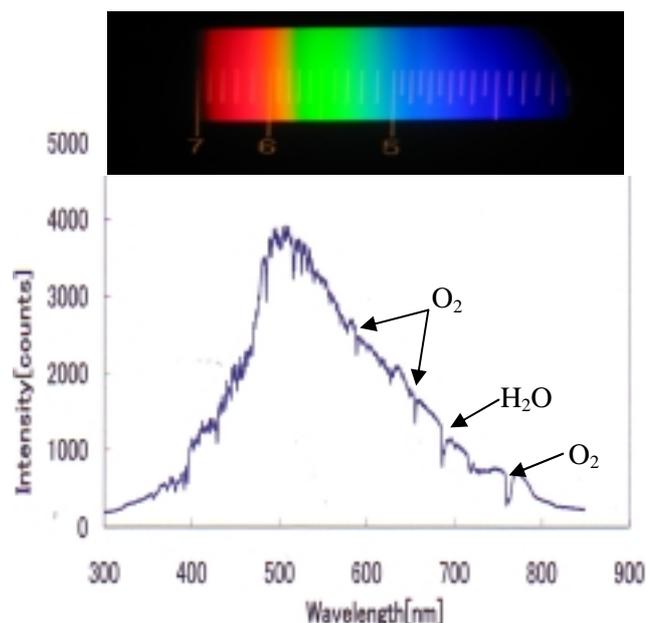


図7 天空光のスペクトル分布