

基礎分光計測学 (5127)

原田 明

エネルギー科学科エネルギー分子工学教育分野
 大学院総合理工学研究院 エネルギー物質科学部門
 大学院総合理工学府 物質理工学専攻

講義ノート

◎ 講義内容

- | | |
|------|----------------------------------|
| 第1回 | ガイダンス、参考図書紹介 |
| | ① 概論： 分光(マイクロ波・赤外・可視紫外・真空紫外、・・・) |
| 第2回 | ② 電磁波と偏光: Maxwell方程式 I |
| 第3回 | ” II |
| 第4回 | 演習I |
| 第5回 | ③ 光と物質の相互作用： 微視的な観点から I |
| 第6回 | ” II |
| 第7回 | 演習II |
| 第8回 | ④ 幾何光学と波動光学 I |
| 第9回 | ” II |
| 第10回 | ⑤ 光エレクトロニクスの基本的デバイス： 光導波路、光共振器 |
| 第11回 | ⑥ レーザーの原理とレーザー関連技術、非線形光学現象 I |
| 第12回 | ” II |
| 第13回 | ⑦ 分光技術に関する基礎 |
| 第14回 | ⑧ レーザー分光法の種類と特長 |
| 第15回 | 期末試験 |

○ 過年度生 (H12年度以前の入学生) の対応する講義

光物理学 (5127) ～H14まで。 A. 波動光学入門(原)、B. 分光計測入門(原田)

○ 光関連授業科目

- | | | |
|--------------|----------|------------------------|
| ・ 波と波動基礎論 | (2年前期選択) | [単振動、波動方程式] |
| ・ 電磁気学 | (2年後期必修) | [ベクトル場、静電場、Maxwell方程式] |
| ・ 創造科学工学基礎実験 | (2年後期必修) | [光の干渉] |
| ・ 物理化学Ⅱ | (3年前期選択) | [吸収放出、遷移確率、レーザー] |
| ・ 固体物理学Ⅱ | (3年前期選択) | [光物質相互作用、吸収透過発光] |
| ・ 応用物理学Ⅰ | (3年前期選択) | [光学] |
| ・ 材料計測学 | (3年後期選択) | [機器分析、分光分析] |
| ・ 非晶質材料学 | (3年後期選択) | [光とガラス] |

○ 講義の目標

- 分光計測に関わる
- 1) 諸現象を知り、キーワードに慣れ、どこを見れば解説があるかを知る。
 - 2) 自分で調べ考える習慣を持つ。

○ 試験と成績評価等

出席状況、試験またはレポートを総合的に評価する。

cf. 昨年実績： 出席(含、レポート評価)40、期末試験50、アンケート(2回)による自己評価10

◎ 参考図書

A. 光学/光エレクトロニクス/非線形光学/量子光学 の 聖典

1. M. Born, E. Wolf, "*Principles of Optics*"
7th (expanded) ed., (Cambridge Univ. press, UK, 1999) ISBN0-521-64222-1
邦訳 ホルン・ウォルフ, "光学の原理 I、II、III"
草川・横田訳(東海大学出版会, 1991/1991/1987) ISBN4-486-00693-3, ¥3,300- /
ISBN4-486-00757-3, ¥3,500- / ISBN4-486-00758-1, ¥3,500-
2. A. Yariv, "*Optical Electronics in Modern Communications*"
5th ed., (Oxford U.P. NY, 1997) ISBN 0-19-510626-1, \$US 92-
邦訳 アモン ヤリーヴ, "光エレクトロニクス 基礎編", 多田邦雄,神谷武志共訳(丸善, 東京, 1999) ISBN4-612-04740-X ¥ 4,800-
- A. Yariv, "*Optical Electronics*"
3rd ed., (Holt-Saunders Int. Ed., 1985) ISBN4-8337-0274-6
邦訳 アモン ヤリーヴ, "光エレクトロニクスの基礎", 多田邦雄,神谷武志共訳(丸善, 東京, 1974)
3. Y. R. Shen, "*The Principles of Nonlinear Optics*"
(John Wiley & Sons, Inc., New York, 1984) ISBN0-471-88998-9, \$US 171-
4. Rodney Loudon, "*The Quantum Theory of Light*", 2nd ed
邦訳 R. Loudon, "光の量子論", 小島忠宣,小島和子共訳(内田老鶴圃, 東京, 1994)
ISBN4-7536-2029-8 C3042, ¥ 6,180-

B. 基礎部分(②～⑧)に関して講義が準拠する 参考書

5. ファインマン, レイトン, サンス, "ファイマン物理学 III 電磁気学"
宮島 訳, (岩波, 1999) 第40刷, ISBN4-00-007713-9, ¥3,000-
6. 桜庭一郎, 高井信勝, 三島瑛人, "光エレクトロニクスの基礎"
(森北出版, 2001) ISBN4-627-78351-5, ¥2,400-
7. 小林浩一, "光物性入門"
(裳華房, 1997) ISBN4-7853-2071-0, ¥3,200-
8. 澤田嗣郎他, "分光分析化学"
(大日本図書, 1988) ISBN4-477-14612-4 C3343, ¥3,000-
9. 中田宗隆, "量子化学II 分光学理解のための20章"
(東京化学同人, 2004) ISBN4-8079-0601-1, ¥2,400+税

C. 分光技術/光物性/光物性計測/非線形光学の参考書

10. 中原 勝儼, "分光測定入門" [日本分光学会 測定法シリーズ13]
(学会出版センター, 1987) ISBN4-7622-0511-7 ¥3,786-
11. 工藤 恵栄, "分光の基礎と方法"
(オーム社, 1985) ISBN4-274-03078-4
12. 国府田 隆夫, 柗本 宏, "光物性測定技術" [物理学実験 13]
(東京大学出版会, 1983) 3350-63331-5149
13. 河田 聡, "超解像の光学" [日本分光学会 測定法シリーズ38]
(学会出版センター, 1999) ISBN4-7622-2913-X ¥4,600-
14. 片山 幹郎, "レーザー化学 I、II"
(裳華房, 1985) ISBN4-7853-3305-7
15. 小林 孝嘉, "非線形光学計測"
(日本分光学会, 1996) ISBN4-7622-0846-9

D. 参考図書

16. R.P.ファイマン "光と物質の不思議な理論—私の量子電磁気学" 釜江、大貫 訳
(岩波書店、1987) ISBN4-00-005866-5 ¥1,600- (当時)

① 概論：分光計測とは

○ 統計力学の復習

- 量子力学・統計力学・熱力学の相互関連性と分光学との関係



分光的に測定（または量子力学/量子化学で計算）できる分子の並進・回転・振動・電子エネルギー準位から、分配関数（状態和：ある温度で分子が取る平均的な状態の数）が求まる。分配関数から全ての熱力学的関数（ H 、 S 、 G 、 C_p 、 α 、 β_T 、 γ ・・・）が求まる。

- 分子のエネルギー保有形態(分子の運動モード)と観測

$$\varepsilon_j = \varepsilon_j^T + \varepsilon_j^R + \varepsilon_j^V + \varepsilon_j^E \quad \text{cf. 分子分配関数 } q = q^T q^R q^V q^E .$$

並進運動： 並進分光 → ドップラー法、飛行時間法(TOF: time of flight)

回転運動： 回転分光(マイクロ波)

振動運動： 振動分光(赤外)

電子状態： 電子状態分光(価電子:紫外・可視、内殻電子:遠紫外・極紫外)

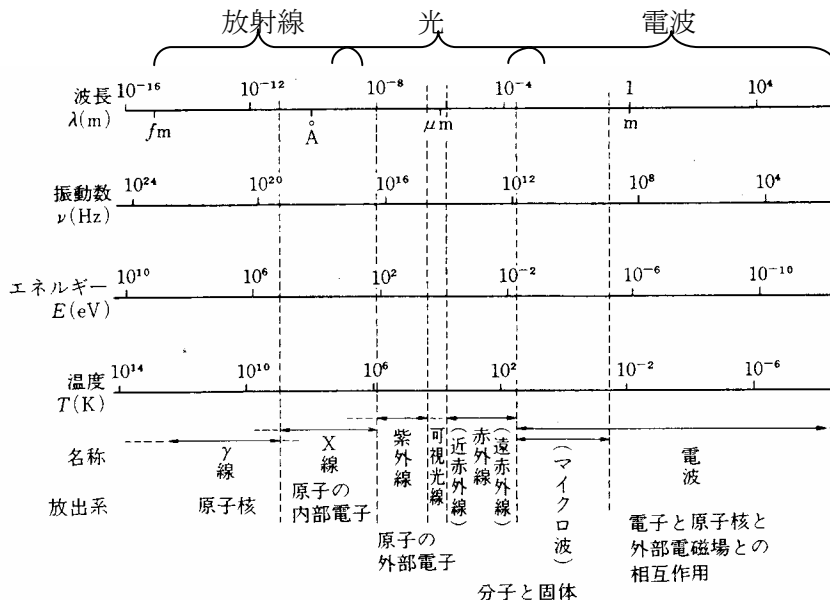
◎ 分光

光(light, electromagnetic waves)と物 (matter) との相互作用が織りなす自然の摂理の観測

- 光 = 電磁波、光子、放射場、・・・
 - 波長、振動数、波数、光子エネルギー、運動量. (cf. 偏光面)
 - cf. 1 $\lambda = c/\nu$, $E = h\nu = \hbar\omega$, $p = \hbar k$
 - cf. 2 E (J) として、 E/e (eV)、 E/k (K)、 EN_A (J/mol)
- 物 = 物体、分子、原子、素粒子、・・・
 - 固体、液体、気体、プラズマ.
- 光と物との相互作用
 - 「振動電場・振動磁場」と「正電荷・負電荷の集合体」との相互作用
(ただし、後者は基本的には量子論的 or 場の理論的に振る舞うはずだが・・・)

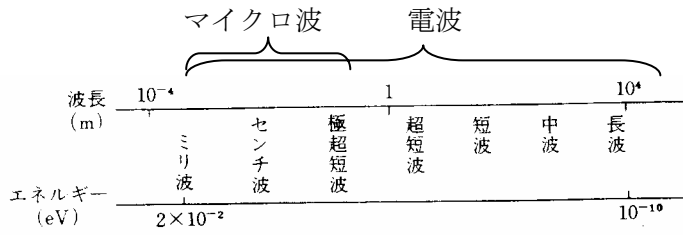
○ 電磁波のエネルギーと名称

- 電磁波のスペクトル



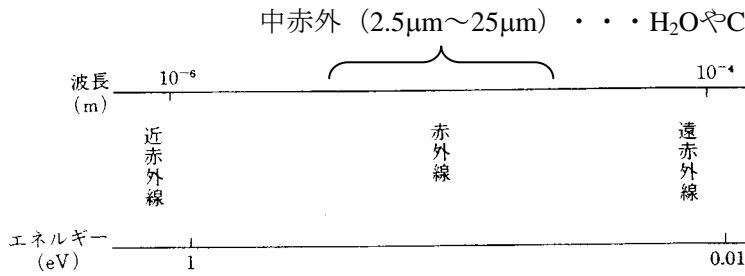
speed of light in vacuum	$c_0 = 2.998 \times 10^8$ (m/s)
Planck constant	$h = 6.626 \times 10^{-34}$ (Js)
Boltzmann constant	$k = 1.381 \times 10^{-23}$ (J/K)
Avogadro constant	$N_A = 6.022$ (mol ⁻¹)
elementary charge	$e = 1.602 \times 10^{-19}$ (C)
rest mass of proton	$m_p = 1.673 \times 10^{-27}$ (kg)

・マイクロ波と電波



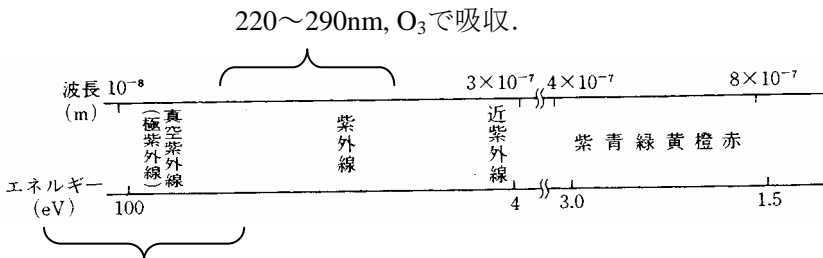
分子の回転、核磁気共鳴、常磁性共鳴

・赤外線のスเปクトル

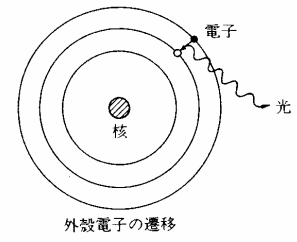


分子の振動、振動回転

・可視および紫外線のスเปクトル

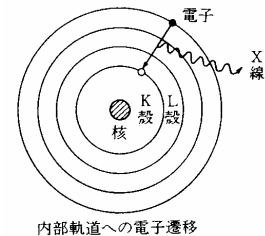
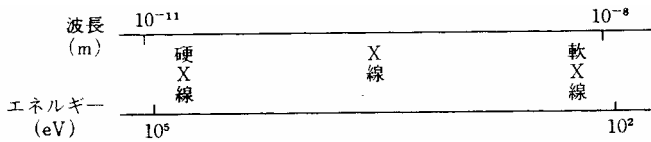


O₂, N₂, H₂O, CO₂などで吸収. <200nm.



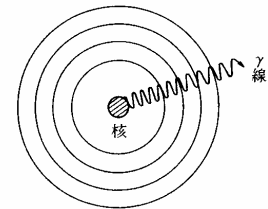
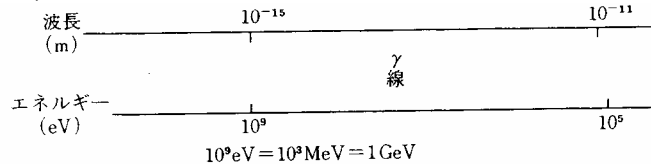
C₆H₆などの分子でも同様

・ X線のスเปクトル



内部軌道への電子遷移

・ γ線のスเปクトル

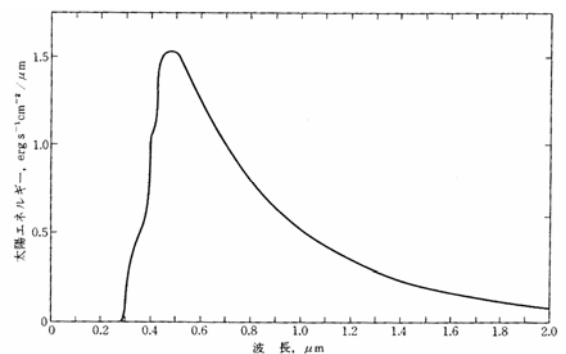


○ 重要な光

1. 地上における太陽光エネルギー強度分布

cf. 太陽の輻射
×
空気の吸収

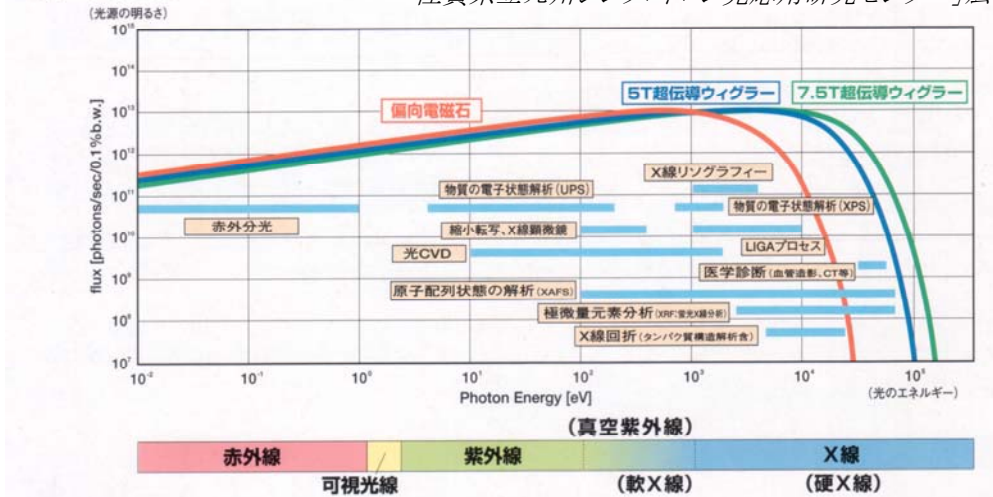
cf. 可視光
380nm~780nm
(大雑把には、400nm~700nm)



2. シンクロトロン放射光

■スペクトル図

“佐賀県立九州シンクロトロン光応用研究センター”広報リーフレット”より



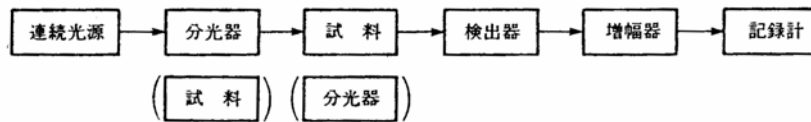
- cf. 佐賀県立九州シンクロトロン光応用研究センター
 - ・ 第3世代高輝度1.4GeVリング (5 meV ~ 25 keV)
 - ・ 九州地区唯一
 - ・ 佐賀県鳥栖市北部丘陵新都市内 (筑紫キャンパスから車で約 30 分)

○ 参考： 視感測光用語

- ・ lm (ルーメン)、cd (カンデラ) [= lm/str]、lx (ルクス) [= lm/m²]、nt (ニト) [= cd/m²]
- 人間が観測したときの明るさを定量化したもの。(～光強度×視感度)

◎ Measurements (測定)

装置構成の例

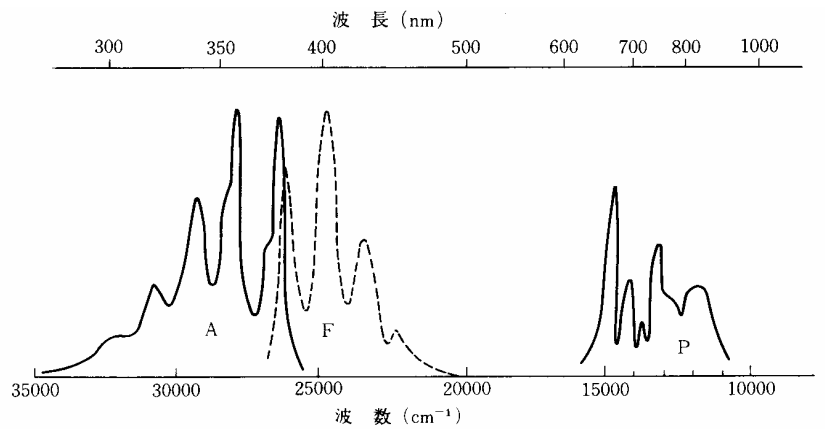


得られる結果 (スペクトル) は、横軸がエネルギー (または波長、波数)、縦軸が物理量

・ 測定例

アントラセン (ヘキサ
ン中) の吸収スペクトル・蛍
光スペクトル・リン光スペ
クトル

吸収 (A) と蛍光 (F) は、
ミラーイメージ。
リン光 (P) は長波長側



このようなスペクトルが得られるのは何故か？