

Instytut Fizyki
Uniwersytet Mikołaja Kopernika

Piotr Targowski i Bernard Ziętek

Pracownia Optoelektroniki

FOTOMETRIA
- POMIARY SPEKTROSKOPOWE

Zadanie I

Zakład Optoelektroniki
Toruń 2003

I. Cel zadania

Celem zadania jest :

- zapoznanie się z postawami fotometrii,
- zapoznanie się z postawami fotometrii,
- opanowanie metody pomiarów absorpcji za pomocą spektrofotometru,
- poznanie techniki pomiarów spektroskopowych z zastosowaniem kamery CCD.

II. Podstawy fotometrii obiektywnej

II.A Moc promieniowania

Moc promieniowania pewnego źródła albo **strumień energii** wyraża się w watach [W] i odpowiada całkowitej emisji energetycznej Q_E źródła na jednostkę czasu:

$$\Phi_E = \frac{dQ_E}{dt} \quad [W] \quad (1)$$

Często istotna jest **spektralna gęstość** strumienia energii promieniowania:

$$\Phi_E(\lambda) = \frac{d\Phi_E}{d\lambda} \quad \left[\frac{W}{nm} \right] \quad (1a)$$

Podobnie definiuje się gęstości spektralne pozostałych wielkości fotometrycznych - dla zwięzłości gęstości te zostaną dalej pominięte.

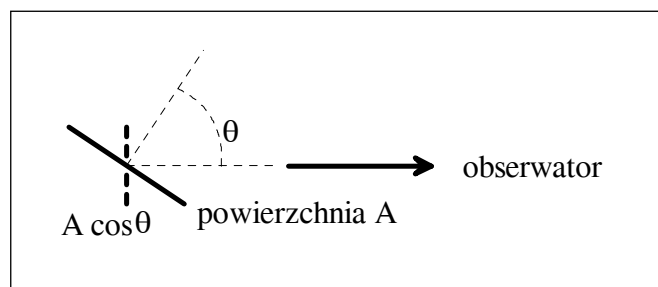
II.B Natężenie promieniowania

Jeżeli źródło jest punktowe albo obserwator jest dostatecznie daleko, że źródło można przybliżyć do punktu - można zdefiniować **natężenie promieniowania** - strumień energii w jednostkowy kąt bryłowy:

$$I_E = \frac{d\Phi_E}{d\Omega} \quad \left[\frac{W}{sr} \right] \quad (2)$$

II.C Luminancja energetyczna

W przypadku źródła rozciągniętego istotnym jest, ile energii emitowane jest z jednostki powierzchni źródła w danym kierunku. Dodatkowo należy uwzględnić fakt, że jeżeli obserwator patrzy na źródło pod kątem $\theta \neq 0$ do normalnej (Rys.1), to zamiast pola powierzchni źródła A widzi mniejszą powierzchnię $A \cos(\theta)$.



Rys.1. Pozorny rozmiar źródła zależy od kierunku obserwacji

Wówczas obserwowane natężenie promieniowania jest mniejsze:

$$dI_E = L_E(\theta) dA \cos \theta \quad \text{albo} \quad L_E(\theta) = \frac{dI_E}{dA \cos \theta} \quad \left[\frac{W}{sr m^2} \right] \quad (3)$$

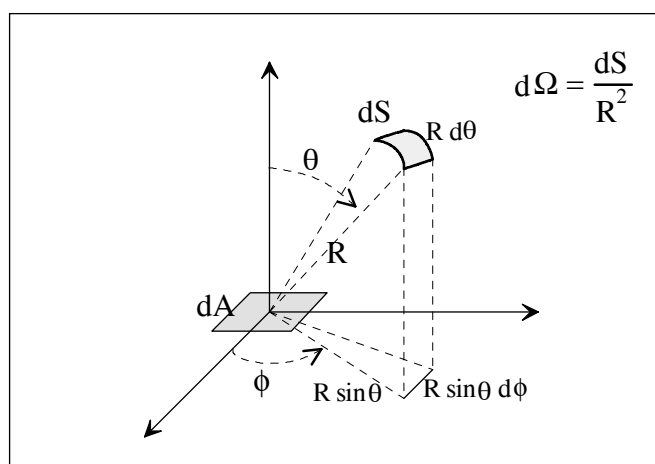
$L_E(\theta)$ nazywa się **luminancją energetyczną** i opisuje emisję źródła *niezależnie od kierunku obserwacji*. Oczywiście $L_E(\theta)$ może zależeć od kierunku emisji θ . Należy tutaj odróżnić własność źródła (opisywaną przez $L_E(\theta)$) od trywialnego efektu pozornej zmiany powierzchni źródła (opisywanego przez $\cos(\theta)$).

Jeżeli L_E **nie zależy** od kierunku emisji to takie źródło jest **typu Lamberta**. Oczywiście dla takiego źródła natężenie promieniowania I_E będzie zależeć od kąta obserwacji θ jak funkcja cosinus. Jeżeli jest inaczej, to L_E zależy od kierunku emisji i źródło nie jest typu Lamberta.

II.D Emitancja energetyczna

W odróżnieniu od luminancji, **emitancja** opisuje całkowity strumień energii emitowany z jednostki powierzchni źródła we wszystkich kierunkach. Oblicza się ją więc przez wycałkowanie luminancji po półpełym kącie bryłowym (Rys.2) :

$$M_E = \frac{d\Phi_E}{dA} = \int L_E(\theta, \phi) \cos \theta d\Omega \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (4)$$



Rys.2. Konstrukcja geometryczna dla wyznaczenia kąta bryłowego emisji

$$M_E = \int L_E(\theta, \phi) \cos \theta \frac{R d\theta R \sin \theta d\phi}{R^2} = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\frac{\pi}{2}} L_E(\theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (5)$$

Jeżeli **źródło jest typu Lamberta**, tzn. L_E nie zależy od ϕ i θ , to luminancję można wyłączyć przed znak całki i wykonać całkowanie. W rezultacie:

$$M_E = \pi L_E \quad (6)$$

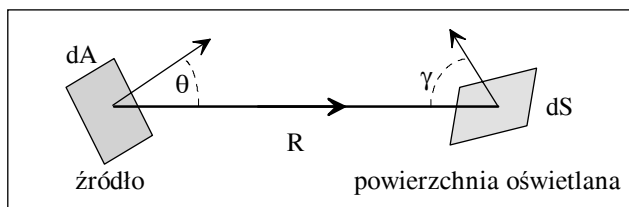
II.E Podstawowe prawo fotometrii

Oświetleniem nazywa się strumień energii świetlnej na jednostkę powierzchni oświetlonej. Jednostką oświetlenia jest oczywiście $[W/m^2]$. Jeżeli dane jest źródło rozciągnięte o powierzchni A i luminancji L (Rys. 3), to oświetlenie powierzchni S odległej o R wyraża się wzorem:

$$E_E = \frac{d\Phi_E}{dS} = L_E(\theta) \frac{A \cos \theta \cos \gamma}{R^2} \quad (7)$$

gdzie kąty θ i γ leżą pomiędzy promieniem łączącym i odpowiednimi normalnymi. Jeżeli źródło jest punktowe, wzór ten upraszcza się do:

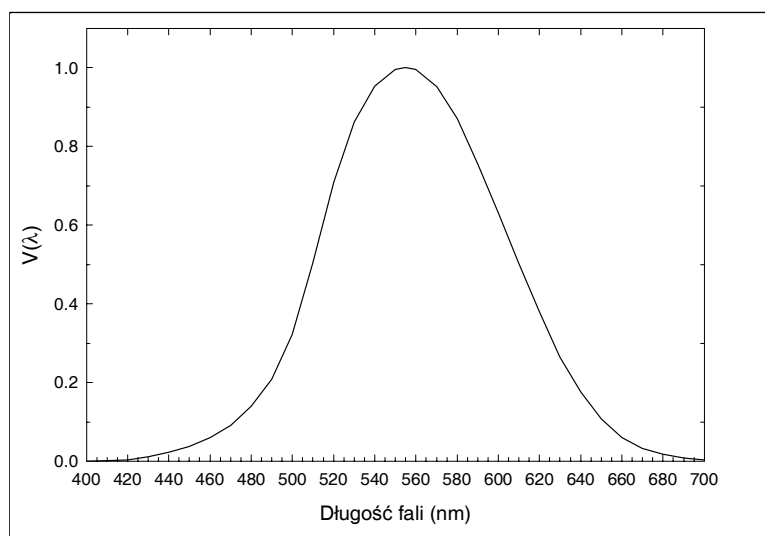
$$E_E = I_E \frac{\cos \gamma}{R^2} \quad (8)$$



Rys.3. Źródło dA oświetla powierzchnię dS

III. Fotometria subiektywna

Fotometria subiektywna opisuje wrażenia wzrokowe czyli oddziaływanie światła na oko ludzkie. Można zdefiniować wielkości fotometryczne analogiczne do wielkości występujących w fotometrii obiektywnej (Tabela 1) jednak w tym przypadku tylko promieniowanie z zakresu widzialnego jest brane pod uwagę ze standardową wagą $V(\lambda)$ zwaną Międzynarodową Krzywą Czulości Oka (Rys. 4). Wyznaczono ją w oparciu o przeciętne oddziaływanie światła na oko w warunkach widzenia fotopowego (przy silnym oświetleniu).



Rys.4. Międzynarodowa Krzywa Czulości Oka

Aby wyznaczyć subiektywny strumień świetlny Φ rejestrowany przez oko należy więc obliczyć całkę:

$$\Phi = \left(683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}\right) \times \int_0^{\infty} V(\lambda) \Phi_E(\lambda) d\lambda \quad [\text{lm}] \quad (9)$$

gdzie $\Phi_E(\lambda)$ jest spektralną gęstością strumienia energii w $[\text{W}/\text{nm}]$. Należy zauważyć, że $V(555 \text{ nm})=1$. Współczynnik 683 wynika nowej definicji kandeli w układzie jednostek SI:

Wielkości fotometryczne

fotometria obiektywna (radiometria)			fotometria subiektywna		
wielkość fizyczna	wzór definiujący	jednostka	wielkość fizyczna	wzór definiujący	jednostka
Energia promieniowania	Q_E	J			
Gęstość energii promieniowania	$W_E = \frac{dQ_E}{dV}$	$\frac{J}{m^3}$			
Moc promieniowania (strumień energii)	$\Phi_E = \frac{dQ_E}{dt}$	W	Strumień świetlny (<i>light flux</i>)	$\Phi(\lambda)d\lambda = 683 \Phi_E(\lambda) V(\lambda)d\lambda$	
Natężenie promieniowania (<i>radiant intensity</i>)	$I_E = \frac{d\Phi_E}{d\Omega}$	$\frac{W}{sr}$	Światłość (<i>luminous intensity</i>)	$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$	
Luminancja energetyczna (<i>radianace</i>)	$L_E = \frac{dI_E}{dA \cdot \cos\theta}$	$\frac{W}{sr m^2}$	Luminancja (<i>luminance or brightness</i>)	$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos\theta}$	
Emitancja energetyczna zdolność emisyjna (<i>excitance</i>)	$M_E = \frac{d\Phi_E}{dA}$	$\frac{W}{m^2}$	Emitancja (<i>luminous excitance</i>)	$M = \frac{d\Phi}{dA}$	
Oświetlenie	$E_E = \frac{d\Phi_E}{dS}$	$\frac{W}{m^2}$	Natężenie oświetlenia	$E = \frac{d\Phi}{dS}$	

A - pole powierzchni źródła

S - pole powierzchni oświetlanej

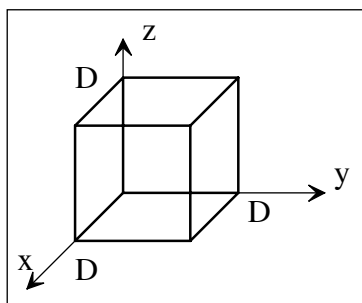
Kandela jest to światłość, jaką ma w określonym kierunku źródło emitujące promieniowanie monochromatyczne o częstotliwości $540 \cdot 10^{14}$ Hz ($\lambda = 555$ nm w próżni) i którego energetyczne natężenie promieniowania w tym kierunku wynosi $1/683$ W/sr.

Funkcja $V(\lambda)$ może oczywiście służyć do bezpośredniego przeliczania pozostałych wielkości obiektywnych na subiektywne w sposób analogiczny do (9) jeżeli znane są ich *spektralne* rozkłady energetyczne.

IV Emisja promieniowania przez ciało doskonale czarne

IV.A Gęstość modów

Rozpatrzmy wnękę sześcienną (Rys. 5) wypełnioną promieniowaniem elektromagnetycznym.



Rys. 5. Wnęka z promieniowaniem

Długości wektorów (U) natężenia pól elektrycznego i magnetycznego wewnątrz wnęki spełniają równanie falowe:

$$\frac{\partial^2 U(x,y,z,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U(x,y,z,t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U(x,y,z,t)}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U(x,y,z,t)}{\partial t^2} \quad (10)$$

z warunkami brzegowymi:

$$U(0, y, z) = U(D, y, z) = U(x, 0, z) = U(x, D, z) = U(x, y, 0) = U(x, y, D) = 0 \quad (11)$$

Jedynym rozwiązaniem jest funkcja:

$$U(x, y, z, t) = U_0 \sin(2\pi v_x \frac{x}{c}) \sin(2\pi v_y \frac{y}{c}) \sin(2\pi v_z \frac{z}{c}) \sin(2\pi v t) \quad (12)$$

przy czym: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$, $v_0 = \frac{c}{2D}$, $v_x = \frac{c}{2} \frac{n_x}{D}$, $v_y = \frac{c}{2} \frac{n_y}{D}$, $v_z = \frac{c}{2} \frac{n_z}{D}$

gdzie n_x , n_y i n_z są liczbami całkowitymi i definiują mod wnęki, zaś częstość drgań v we wnękę wyraża się poprzez częstość podstawową v_0 :

$$v = v_0 \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2} \quad (13)$$

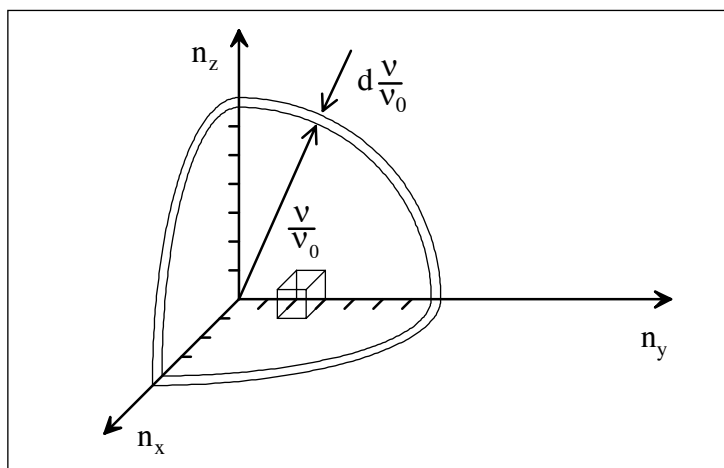
Tak więc w przestrzeni modów (n_x , n_y , n_z) mody wężki o danym ν leżą na powierzchni wycinka kuli o promieniu ν/ν_0 (Rys.6).

Oznaczmy przez n ilość modów wężki o częstościach z przedziału $\nu \div \nu + \delta\nu$. W takim przypadku :

$$n = \frac{\text{objętość warstwy o promieniu } \nu/\nu_0 \text{ i grubości } d\nu/\nu_0}{\text{objętość komórki zajmowanej przez jeden mod } (= 1)}$$

a więc:

$$n = \frac{1}{8} 4\pi \left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^2 d\left(\frac{\nu}{\nu_0}\right) = \frac{4\pi\nu^2}{c^3} D^3 d\nu \quad (14)$$



Rys.6. Powłoka o promieniu ν/ν_0 i grubości $d(\nu/\nu_0)$ w przestrzeni modów

Przykładowo oznaczono objętość zajmowaną przez 1 mod (1,3,1).

Gęstość N_ν modów o częstości ν i 2 polaryzacjach wyraża się więc wzorem:

$$N_\nu d\nu = 2 \frac{n}{D^3} = 8\pi \frac{\nu^2}{c^3} d\nu \quad (15)$$

IV.B Średnia energia modu

Zakładamy, że mody mają dyskretne energie i różnią się ilością fotonów o energii $h\nu$ (postulat Plancka). Tak więc energia Q_n modu o n fotonach wynosi $Q_n = n h\nu$.

Oznaczmy przez $P(Q_n)$ prawdopodobieństwo (względne, tj. nie unormowane) wystąpienia modu o energii $h\nu$ i założmy, że opisywane jest ono rozkładem Boltzmanna:

$$P(Q_n) = \exp\left(-\frac{Q_n}{k_B T}\right) \quad , \quad (16)$$

gdzie: k_B jest stałą Boltzmann, a T - temperaturą w skali bezwzględnej.

Przy powyższych założeniach średnia energia modu będzie równa:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} Q_n P(Q_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} P(Q_n)} = h\nu \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n \exp(-n \frac{h\nu}{k_B T})}{\sum_{n=0}^{\infty} \exp(-n \frac{h\nu}{k_B T})} = h\nu \frac{1}{\exp(\frac{h\nu}{k_B T}) - 1} \quad (17)$$

IV.C Średnia gęstość energii we wnęce

Łącząc razem wzory (15) i (17) uzyskuje się wyrażenie na średnią gęstość energii we wnęce:

$$\bar{w}(\nu) = N_\nu \bar{Q} = 8\pi h \frac{\nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp(\frac{h\nu}{k_B T}) - 1} \quad (18)$$

W powyższym wyrażeniu częstość ν można zastąpić przez długość fali λ :

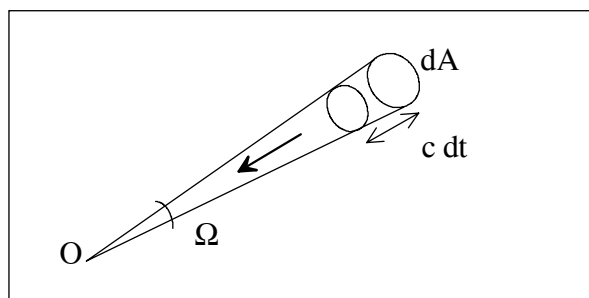
$$\nu = \frac{c}{\lambda}; \quad \frac{d\nu}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}; \quad \bar{w}(\nu) d\nu = \bar{w}(\nu(\lambda)) d\lambda \frac{d\nu}{d\lambda} \quad (19)$$

albo:

$$\bar{w}(\lambda) d\lambda = 8\pi h \frac{c}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(\frac{hc}{\lambda k_B T}) - 1} d\lambda \quad (20)$$

IV.D Emitancja energetyczna ciała doskonale czarnego

Jeżeli pewien punkt we wnęce otoczony jest powierzchnią o luminancji energetycznej L_E to w czasie dt dopłynie do niego energia dQ wypromieniowana z powierzchni dA i zajmująca objętość $dV = dA c dt$ (Rys. 7).



Rys.7. Energia dopływająca do punktu O z kąta bryłowego Ω

Zgodnie z definicją luminancji, energia ta wyraża się wzorem:

$$dQ = L_E dA d\Omega dt = L_E d\Omega \frac{dV}{c} \quad (21)$$

Tak więc ze wszystkich kierunków dopłynie energia:

$$dQ_c = \int L_E \frac{dV}{c} d\Omega \quad (22)$$

Wnętrze wnęki ciała doskonale czarnego jest izotropowe (L_E nie zależy od kierunku). Oznaczając przez dV' całą objętość, z której energia dopływa do punktu O w czasie dt uzyskuje się: $dQ_c = A_c c dt$ i w konsekwencji:

$$\frac{dQ_c}{dV'} = \bar{w} = L_E \frac{1}{c} \int d\Omega = L_E \frac{1}{c} 4\pi \quad (23)$$

czyli :

$$L_E(\lambda) d\lambda = \frac{c}{4\pi} \bar{w}(\lambda) d\lambda \quad \left[\frac{W}{m^2 sr} \right] \quad (24)$$

Zwykle jednak istotna jest emitancja $M(\lambda)$ ciała doskonale czarnego. Zakłada się, że opisana powyżej wnęka z polem elektromagnetycznym zaopatrzona jest w otworek dostatecznie mały, aby jego obecność nie zmieniała gęstości energii wewnątrz wnęki. Ponieważ otwór w wnęcie można uważać za źródło typu Lamberta, to związek z luminancją jest następujący:

$$M(\lambda) = \pi L(\lambda) \quad (25)$$

Tak więc ostatecznie, spektralna emitancja energetyczna (albo zdolność emisyjna) ciała doskonale czarnego o temperaturze T [K] wyraża się wzorem:

$$M_E(\lambda) d\lambda = 2\pi h \frac{c^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1} d\lambda \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (26)$$

Uwaga: znając więc rozmiary powierzchni emitującej ciała doskonale czarnego i jego temperaturę można "odtworzyć" starą definicję kandeli:

Kandela jest to światłość, jaką ma w kierunku prostopadłym pole o powierzchni 1/60 cm² ciała doskonale czarnego, promieniującego w temperaturze krzepnięcia platyny pod ciśnieniem 101 325 Pa (2045.2 K) .

Obliczając całkowite subiektywne natężenie promieniowania I w kierunku prostopadłym (wzór (3)) na podstawie luminacji ciała doskonale czarnego (24) i (20) uzyskuje się:

$$\begin{aligned} I = LA &= A \int_0^{\infty} V(\lambda) L_E(\lambda) d\lambda = A \int_0^{\infty} V(\lambda) \frac{c}{4\pi} \bar{w}(\lambda) d\lambda = \\ &= A \int_0^{\infty} V(\lambda) 2h \frac{c^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1} d\lambda \quad \left[\frac{W}{sr} \right] \end{aligned} \quad (27)$$

Podstawiając $A=1/60 \cdot 10^{-5} m^2$ oraz $T=2045.2 K$ uzyskuje się $I = \frac{1}{683} \frac{W}{sr} = 1 cd$.

V Pomiary fotometryczne

V.A Pomiary bezwzględne:

Przedmiotem pomiaru bezwzględnego może być:

- wielkość obiektywna (radiometryczna) wyrażona w watach i jednostkach pochodnych.
- wielkość subiektywna wyrażona w kandelach i jednostkach pochodnych.

W obu wypadkach przyrząd pomiarowy wymaga **bezwzględnej** kalibracji, to jest porównania ze źródłem o znanej emisyjności - na przykład wzorcem kandel. Taka kalibracja wymaga bardzo kosztownego źródła i wykonywana jest zwykle w warunkach fabrycznych. W praktyce laboratoryjnej kalibracji dokonujemy poprzez porównanie odczytów skalibrowanego miernika i kalibrowanego układu pomiarowego. Przykładami skalibrowanych mierników fabrycznych są miernik mocy lasera KB 6301 dla pomiarów obiektywnych i luxomierz dla pomiarów subiektywnych.

Dobry miernik mocy lasera posiada element całkowicie pochłaniający podające promieniowanie (niezależnie od jego długości fali). Energia promienista zamienia się na ciepło i wzrost temperatury (a ściślej temperatura równowagi pomiędzy dyssypacją do otoczenia a podgrzewaniem padającym promieniowaniem) przeliczana jest na strumień energii promienistej. Proste mierniki mają zwykle element fotoelektryczny o możliwie płaskiej charakterystyce czułości od λ , jednak skalibrowane są dla jednej długości fali (miernik KB 6301 dla lasera He-Ne).

Proste luksomierze wykonane są w ten sposób, że krzywa czułości zastosowanego fotodetektora pokrywa się z Międzynarodową Krzywą Czułości Oka (Rys. 4).

V.B Pomiary względne

Przykładem względnego pomiaru obiektywnego jest pomiar *widma* emisji pewnego źródła jeżeli przedmiotem zainteresowania jest kształt widma (przebieg zależności od długości fali promieniowania lub jego liczby falowej), a nie bezwzględna wartość strumienia energii. Pomiary takie są znacznie prostsze od bezwzględnych, jednak mimo tego dostarczają bardzo dużo informacji. Aby taki pomiar pozostał obiektywnym, to znaczy nie zależał od własności zastosowanego detektora, należy dokonać **korekcji** na spektralną czułość detektora. W tym celu wystarczy zmierzyć widmo o znanym kształcie i przez porównanie z otrzymanym wynikiem obliczyć współczynniki korekcji dla kolejnych długości fal. Jako źródła wzorcowego używa się często żarówki z włóknem wolframowym (nie halogenowej!) o znanej temperaturze. Kształt widma takiego źródła jest dobrze opisywany przez widmo ciała doskonale czarnego. Najczęściej funkcja takiej korekcji wbudowana jest w oprogramowanie spektrografu.

VIPomiar absorpcji i transmisji

Mierzone wielkości to:

absorpcja:

$$A_b = \log_{10} \frac{I_o}{I} \quad (28)$$

oraz **transmisja:**

$$T = \frac{I}{I_o} \cdot 100\% \quad (29)$$

Związek pomiędzy tymi wielkościami jest więc następujący :

$$A_b = -\log_{10}(T) \quad (30)$$

oraz z prawa Lamberta - Beera:

$$A_b = \varepsilon(\nu)[M]d. \quad (31)$$

gdzie: $\varepsilon(\nu)$ nazywa się absorbcją danej substancji albo molowym współczynnikiem absorpcji jeżeli stężenie $[M]$ wyrażone jest w molach/litr, d jest grubością warstwy absorbentu, a więc najczęściej jest długością kuwety.

VII Literatura

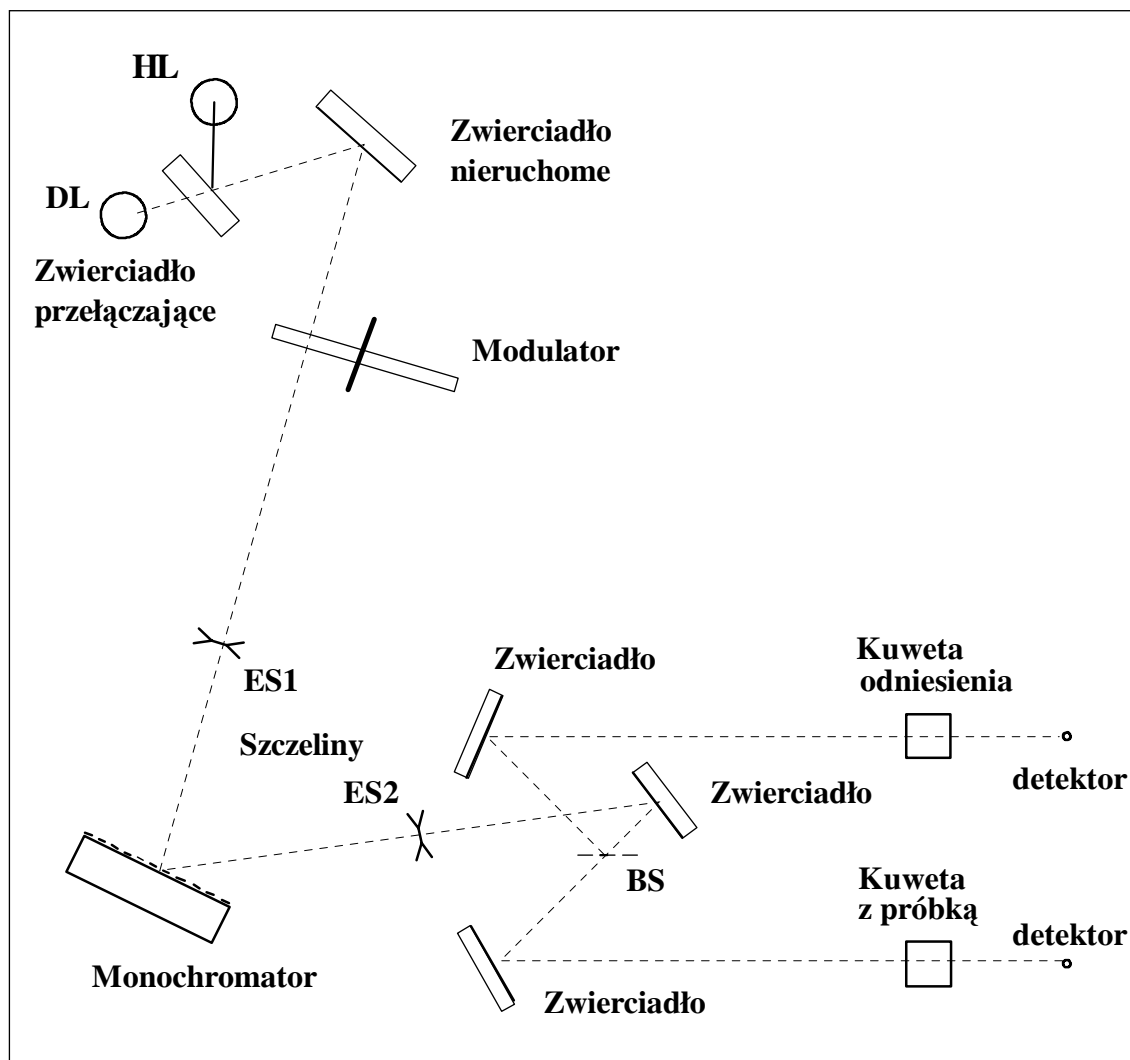
1. J. Lakowicz - "Osnowy fluorescentnej spektroskopii"
2. J. Minczewski, Z. Marczenko - "Chemia analityczna - analiza instrumentalna" str 32
3. J. Wilson, J.F.B. Hawkes "Optoelectronics - An introduction" str 26
4. J.R. Meyer-Arendt "Wstęp do optyki" - s. 290, s.394
5. G. S. Hobson, "Przyrządy z przenoszeniem ładunku",
6. A. Pawlaczyk "Elementy i układy optoelektroniczne"

VIII Aparatura

VIII.A Spektrofotometr Lambda 2

VIII.A.1 Opis aparatu

Pomiary absorpcji będą przeprowadzane za pomocą spektrofotometru Lambda-2 .



Rys.8. Schemat układu optycznego spektrofotometru Lambda 2

Wiązka z lampy halogenowej DL bądź deuterowej HL pada na ruchomą siatkę dyfrakcyjną monochromatora. Wybór długości fali następuje na szczeliny ES2. Następnie światło dzielone jest na dwie wiązki płytką BS, z których jedna przechodzi przez kuwetę z ośrodkiem badanym, a druga przez kuwetę z ośrodkiem odniesienia (zwykle jest to rozpuszczalnik). Porównanie natężenia obu wiązek pozwala zgodnie z prawem Lamberta - Beera wyznaczyć absorpcję lub transmisję.

Spektrofotometr jest sterowany komputerem za pomocą programu *PECSS*. Daje on możliwości pomiaru:

- ♦ absorpcji, transmisji i ich pochodnych w funkcji długości fali (tryb SCAN),
- ♦ absorpcji lub transmisji dla określonej długości fali w funkcji czasu (tryb TDRIVE),

- ◆ nieznanego stężenia na podstawie pomiaru absorpcji serii roztworów o znanym stężeniu (tryb: CONC i CALIB),
- ◆ absorpcji lub transmisji w ośmiu dowolnych długościach fal.

Dane pomiarowe są przechowywane w trzech rejestrach: X, Y i Z, na których możliwe są różne operacje matematyczne.

VIII A.2 Sposób przeprowadzania pomiaru

W celu wykonania pomiaru należy:

1. Umieścić w obu kanałach: pomiarowym i odniesienia czyste kuwety z czystym rozpuszczalnikiem.
2. Uruchomić spektrofotometr, komputer i drukarkę.
3. Uruchomić program PECSS.BAT.
4. W linii komend wpisać: SCAN i ustalić warunki pomiaru.

Uwagi:

- *start* musi być większy niż *end* .
 - Liczbę punktów widma oblicza się następująco: $(start - end)/int$. Należy dobrać *int* tak, by ilość punktów widma była około 200.
 - Czas pomiaru w sekundach, obliczany: $(start - end)/speed$, należy rozsądnie dobrać.
 - Zaleca się wprowadzać własny *Sample id* oraz szczegółowo wypełnić pole *info* opisując eksperyment.
1. Po uzgodnieniu warunków pomiaru, wcisnąć *Enter*.
 2. Wciskając *A* uruchomić podprogram mierzący *Autozero* . Jest to korekcja instrumentu na nierówną czułość kanałów pomiarowych.
 3. W kanale pomiarowym (bliższym mierzonego) zastąpić rozpuszczalnik mierzonym roztworem.
 4. Wciskając *Y* uruchomić pomiar.
 5. Jeżeli maksimum absorpcji przekracza 2 (zalecane <1) powtórzyć pomiar z roztworem o mniejszym stężeniu.
 6. Uwaga: Jeśli nie zmieniają się warunki pomiaru nie powtarza się pomiaru Autozera.
 7. Wydrukować wynik pomiaru i zapisać na dysk w celu dalszej obróbki:
 - W celu zapamiętania wyników pomiarów należy skopiować zawartość odpowiedniego rejestru na dysk (oznaczany literą D) instrukcją *COPY*.
 - Instrukcja *LIST* z opcją FIT w polu "text" służy do zapisu danych w formacie ASCII zgodnym z wymogami pakietu GRAPHER.
 - Naciśnięcie *Shift - PrintScreen* kopiuje ekran na drukarkę.
 8. Umyć starannie kuwety i wyłączyć aparaturę.

VIII.B Opis Spektrografu S1000

VIII.B.1 Opis aparatu

Spektrograf S100 jest nowoczesnym urządzeniem optoelektronicznym, w którym wykorzystano jako detektor element CCD (Charge Coupled Device) . Światło doprowadzane jest światłowodem o średnicy rdzenia 50 μm i tym samym jest to wielkość apertury wejściowej. Elementem dyspersyjnym jest holograficzna, odbiciowa siatka dyfrakcyjna o 1200 rysach na 1 mm. Badane widmo rzutowane jest na detektor - element CCD o 1024 pixelach. Rejestracja widma odbywa się zatem *równocześnie* w całym zakresie czułości spektralnej. Następnie wielkość ładunku przestrzennego każdego pixela jest kolejno mierzona za pomocą przetwornika analogowo - cyfrowego (ADC) i gromadzona w pamięci komputera sterującego (patrz Uzupelnienie A).

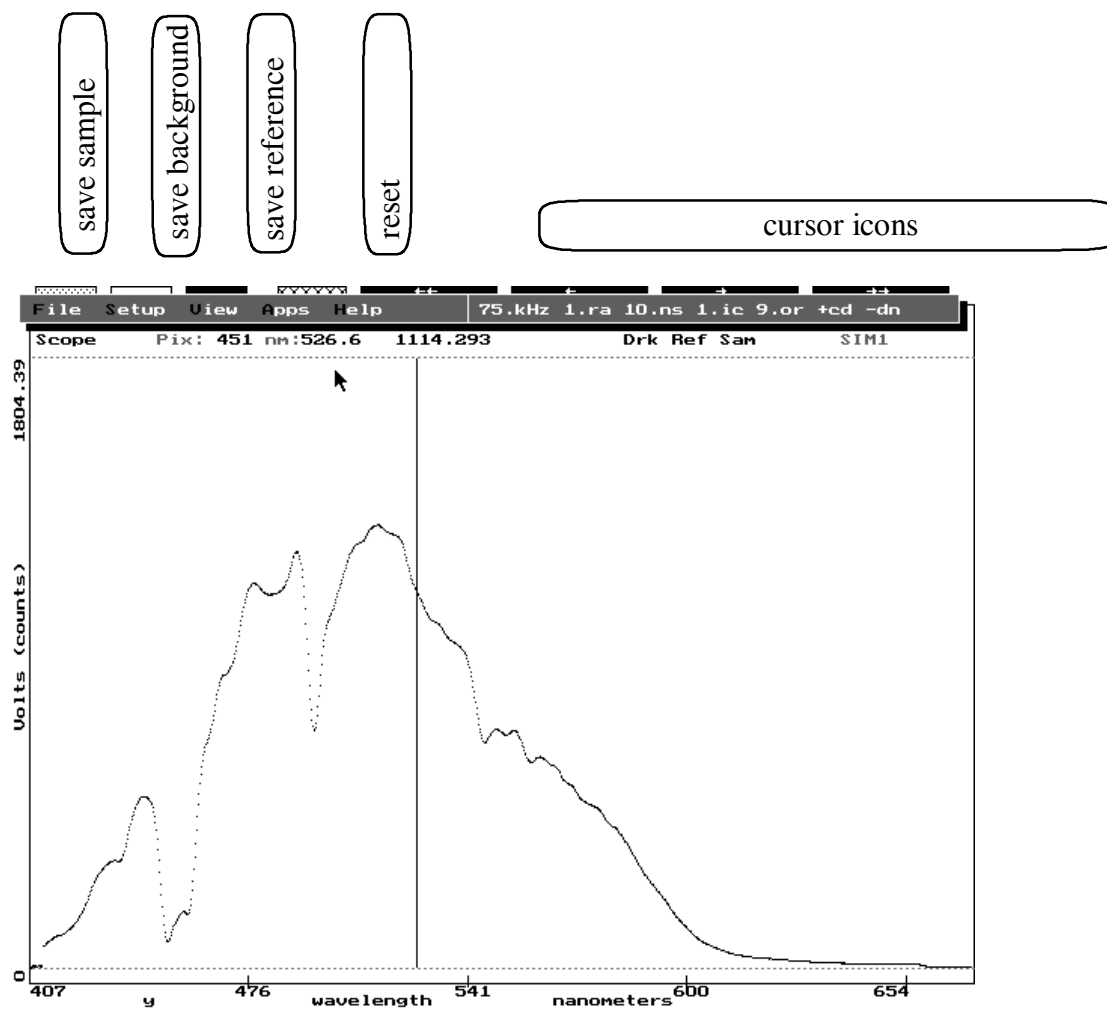
VIII.B.2 Skrócona instrukcja obsługi programu SpectraScope dla spektrografu S1000 (patrz też Uzupelnienie B)

Pakiet *SpectraScope* uruchamia się wpisując SS po zgłoszeniu systemu. Spektrograf S1000 jest zasilany z komputera i natychmiast gotowy do pracy. Po uruchomieniu przyrząd przechodzi do trybu **Scope** i zaczyna natychmiast wyświetlać widmo na ekranie, którego przykład pokazano na rysunku. Przy górnej krawędzi ekranu znajdują się ikony, których "kliknięcie" umożliwia szybką realizację kilku podstawowych funkcji.

Uwagi:

1. Ikona *reset* powoduje powrót systemu do przeciętnych ustawień i tym samym szybkie zakończenie bieżącego pomiaru (ADC freq.=100kHz, no of aver. = 1).
2. Strzałka wskazuje dane dla punktu widma wskazywanego przez pionową linię (kursor).
3. **Graph** jest nazwą trybu pracy (podgląd widma w czasie rzeczywistym wymaga trybu **Scope** albo **Irradiance**)

"Kliknięcie" w obszarach **File ...Help** uruchamia rozwijalne menu pozwalające ustalić warunki pomiaru i wyświetlania.



system indicator

Literka y jest przykładem *system indicators*:

oznaczenie literowe	znaczenie	jak wyjść?
y	y rescale	View → wybrany tryb
z	x axis zoom	View → X...zoom OFF
s	statyczny obraz	View → Data in REALTIME
t	Ratio MS	View → Channel → Master

Uwaga: Rysunek przedstawia wygląd ekranu w trybie dynamicznej prezentacji **Scope**.

Podczas pracy z gromadzeniem danych na prawo od **File..Help** wyświetlany jest aktualny status systemu (*uwaga*: dopiero po wyświetleniu pierwszego widma!).

Przykładowy status prezentowany jest poniżej:

status:	100.kHz	1.ra	200.ns	1.ic	5.or	+cd	-dn
opis:	częstość ADC	wzmocnienie przetwornika	ilość próbek	czas całkowania	rozdzielczość optyczna	korekcja prądu ciemnego	normaliz. amplitudy
uwagi	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)
jak ustawić?	Setup→ Adc sample..	Setup→ Range for Adc input	Setup→ Number of scans ..	Setup→ Integration cycle	Setup→ Optical pixel resolution	Setup→ Correct for dark	Setup→ Data normaliz.

1. Częstość zegara przetwornika AC. Nie ustawiać więcej niż 330 kHz. Określa szybkość gromadzenia danych.
2. Dozwolone wartości: 1, 2, 4, 8. Określa dodatkowe wzmocnienie sygnału na wejściu do przetwornika AC.
3. Dozwolone wartości 1...9999. Umożliwia gromadzenie średniej z wielu skanów widma. *Uwaga*: ustawienie dużej wartości poprawia dokładność pomiaru, jednak może znacznie wydłużyć czas potrzebny na zarejestrowanie widma i wyświetlenie go na ekranie. Patrz również uwaga nt. ikony *reset*.
4. Dozwolone wartości 1 i 4. Określa czas w którym detektor CCD gromadzi ładunek (jest czuły na światło). Czas całkowania (ms) = $\frac{ic*8192}{2*ADC(kHz)}$
5. Parametr zależny od grubości stosowanego światłowodu, nie zmieniać.
6. Wstępna korekcja prądu ciemnego włączona (+) lub wyłączona (-). Korekcja polega na użyciu ładunku pierwszych 16 pixeli CCD, zawsze pozostających poza oświetleniem jako wzorca ciemnego prądu dla całej kamery. Ustawiać +.
7. Normalizacja polega na podzieleniu danych z ADC przez czas całkowania (p. uwaga 4) co pozwala uniezależnić wynik od częstości ADC.

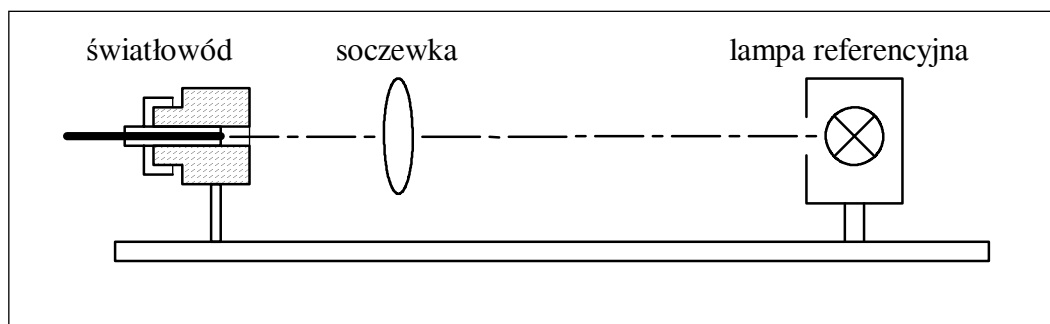
Dokładniejszy opis możliwości programu zawarty jest w Uzupełnieniach.

VIII.B.3 Sposób przeprowadzenia pomiaru

Zasady ogólne:

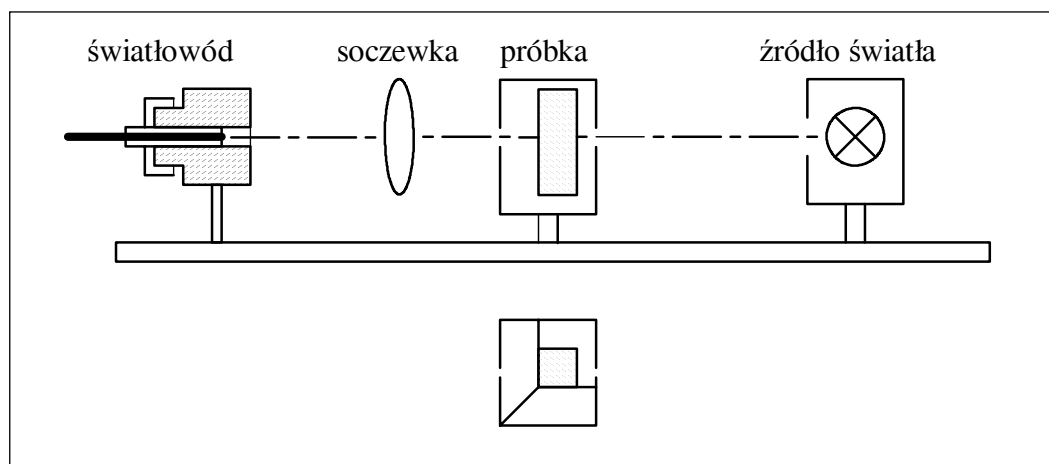
1. uruchomić wentylator *wywiewny* referencyjnego źródła światła - $U=12V$ DC,
2. upewnić się czy wentylator pracuje; jeżeli tak - włączyć źródło światła $U=6V$, $I=16.5A$
3. uruchomić S1000 w trybie Scope,
4. ustawić wymaganą częstotliwość przetwarzania (Setup → Avc sample freq. = 100 kHz),
5. ustawić wymaganą ilość skanów do średniowania (Setup → Number of scans to average = 10 , będzie to wartość wstępna, do regulacji),
6. zamknąć dostęp światła do światłowodu,
7. "kliknąć" na *save background* aby zapisać tło,
8. dalej postępować zależnie od celu pomiaru.

VIII.B.3.i Spektralna gęstość (widmo) natężenia promieniowania (pomiar względny)



Rys.9. Układ do korekcji spektralnej spektrometra Ocean Optics S1000

1. Za pomocą soczewki skupić światło lampy referencyjnej na końcówce światłowodu (Rys. 9). Obserwować widmo na ekranie monitora. Starannie ustawić sygnał na maximum. W przypadku przesterowania cofnąć nieco uchwyt końcówki światłowodu.
2. "kliknąć" na *save reference* aby zapisać sygnał odniesienia,
3. wybrać tryb **Irradiance** (View → Irradiance) i podać temperaturę 2600 K (jest to temperatura ciała doskonale czarnego o widmie najbardziej zbliżonym do widma lampy referencyjnej),
4. skierować światło źródła mierzonego na końcówkę światłowodu,
5. obserwować rejestrowane widmo, dobrać okno rejestracji: View → X...zoom ON i View → Y rescale ,
6. dla uzyskania dokładniejszej rejestracji skorygować średniowanie (wrócić do punktu 5 zasad ogólnych VIII.B.3) Uwaga: jeżeli wprowadzone zostaną zmiany, należy powtórzyć zapis sygnału referencyjnego,
7. zarejestrować widmo: ikona *save sample* albo (File → Save → Sample).

VIII.B.3.ii Widmo absorpcji

Rys.10. Układ do pomiaru absorpcji spektrofotometrem S1000

1. otworzyć kanał dla lampy i usunąć próbkę (uchwyt wewnętrzny pozostawić),
2. "kliknąć" na **save reference** aby zapisać sygnał odniesienia,
3. wybrać tryb **Absorbance** (**View** → **Absorbance**),
4. wstawić próbkę,
5. obserwować rejestrowane widmo, dobrać okno rejestracji: **View** → **X...zoom ON** i **View** → **Y rescale** ,
6. dla uzyskania dokładniejszej rejestracji skorygować średniowanie (wrócić do p-tu 5 zasad ogólnych **VIII.B.3**). Uwaga: jeżeli wprowadzone zostaną zmiany, należy powtórzyć zapis sygnału referencyjnego.
7. zarejestrować widmo: ikona **save sample** albo (**File** → **Save** → **Sample**).

VIII.B.3.iii Widmo fluorescencji

1. skierować światło lampy referencyjnej do światłowodu (zasadniczo jak na Rys. 9 - usunąć próbkę z uchwytem wewnętrznym), Obserwować widmo na ekranie monitora. Starannie ustawić sygnał na maximum. W przypadku przesterowania cofnąć nieco uchwyt końcówki światłowodu.
2. "kliknąć" na **save reference** aby zapisać sygnał odniesienia,
3. wybrać tryb **Irradiance** (**View** → **Irradiance**) i podać temperaturę 2600 K (jest to temperatura ciała doskonale czarnego o widmie najbardziej zbliżonym do widma lampy referencyjnej),
4. zamknąć kanał dla lampy referencyjnej i otworzyć dla wzbudzającej, wstawić próbkę,
5. obserwować rejestrowane widmo, dobrać okno rejestracji: **View** → **X...zoom ON** i **View** → **Y rescale** ,

6. dla uzyskania dokładniejszej rejestracji skorygować średniowanie (wrócić do p-tu 5 zasad ogólnych **VIII.B.3**). Uwaga: jeżeli wprowadzone zostaną zmiany, należy powtórzyć zapis sygnału referencyjnego.
7. zarejestrować widmo: ikona *save sample* albo (File → Save → Sample).

IX Pomiar i opracowanie wyników

IX.A Pomiar absorpcji spektrofotometrem Lambda 2

IX.A.1 Aparatura do przeprowadzenia pomiaru

1. Spektrofotometr Lambda 2,
2. dwie kuwety kwarcowe o długości drogi optycznej 1cm.

IX.A.2 Sposób przeprowadzenia pomiaru

Pomiar należy przeprowadzić według opisu w punkcie **VIII.A.2** (str. 12).

IX.B Pomiar absorpcji spektrofotometrem S1000

IX.B.1 Aparatura do przeprowadzenia pomiaru

1. Spektrofotometr S1000 ze światłowodem,
2. uchwyt to końcówki światłowodu,
3. soczewka o krótkiej ogniskowej,
4. uchwyt na próbki,
5. źródło światła: lampa wolframowa w obudowie z wentylatorem i zasilaczami.

IX.B.2 Sposób przeprowadzenia pomiaru

1. Zestawić układ pomiarowy według Rys.10, str 17
2. umieścić uchwyt na próbki tak, by światło docierało do soczewki przechodząc przez miejsce przeznaczone dla próbki - na razie założyć uchwyt wewnętrzny bez próbki,
3. przeprowadzić pomiary w sposób opisany w punkcie **VIII B.3.ii**,
4. wyniki zapisać do pliku i graficznie opracować komputerowo.

IX.C Pomiar widm emisji świetlówek za pomocą S1000

IX.C.1 Aparatura do przeprowadzenia pomiaru

1. Spektrofotometr S1000 ze światłowodem,
2. uchwyt to końcówki światłowodu,
3. soczewka o krótkiej ogniskowej,
4. referencyjne źródło światła: lampa wolframowa w obudowie z wentylatorem i zasilaczami,

5. badane źródła światła - świetlówki produkcji OSRAM,

IX.C.2 Sposób przeprowadzenia pomiaru

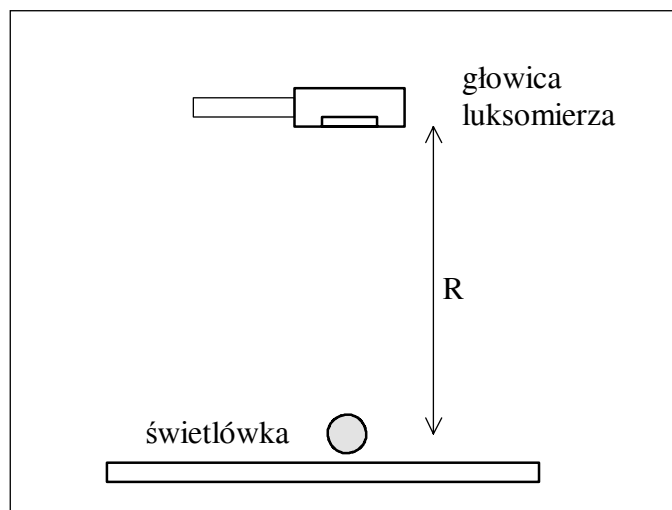
1. zestawić układ pomiarowy
2. przeprowadzić pomiary w sposób opisany w punkcie **VIII.B.3.i**. Widma świetlówek rejestrować z odległości ok 1cm od powierzchni rury wyładowczej bez użycia dodatkowej optyki,
3. wyniki zapisać do plików i graficznie opracować komputerowo.

IX.D Pomiary fotometryczne

IX.D.1 Aparatura do przeprowadzenia pomiarów

1. Spektrofotometr S1000 ze światłowodem,
2. uchwyt to końcówki światłowodu,
3. soczewka o krótkiej ogniskowej,
4. referencyjne źródło światła: lampa wolframowa w obudowie z wentylatorem,
5. badane źródła światła - świetlówki produkcji OSRAM,
6. luksomierz,
7. przymiar zwijany 2m.

IX.D.2 Pomiary



Rys.11. Pomiar oświetlenia w odległości R od źródła (widok z boku)

1. Należy skorzystać z wyników pomiarów opisanych w punkcie **IX.C**.
2. Zestawić układ pomiarowy według Rys. 11.
3. umieścić luksomierz nad świetlówką w odległości R zapewniającej dostatecznie dokładny pomiar oświetlenia (minimum 800 lx),
4. odczytać oświetlenie ze skali luksomierza.

IX.D.3 Zastosowanie S1000 do pomiarów fotometrycznych

Widmo uzyskane spektrofotometrem skorygowanym spektralnie według procedury opisanej w punkcie **VIII.B.3.i** do pomiarów względnych (patrz **V.B**), można skalibrować i wyrazić w jednostkach bezwzględnych.

W wyniku pomiaru spektrofotometrem uzyskujemy względne widmo radiometryczne $w(\lambda)$.

Celem pomiaru jest wyznaczenie:

1. oświetlenia $E_E \left[\frac{W}{m^2} \right]$,
2. spektralnej gęstości oświetlenia $e_E(\lambda) \left[\frac{W}{m^2 nm} \right]$,
3. spektralnej gęstości natężenia oświetlenia $e(\lambda) \left[\frac{lx}{nm} \right]$, w odległości R od świetlówki (Rys. 11), korzystając z wyników pomiaru natężenia oświetlenia E [lx] (punkt **IX.D.2**).

Spektralna gęstość oświetlenia $e_E(\lambda)$ jest proporcjonalna do widma zmierzonego $w(\lambda)$ poprzez nieznaną współczynnik kalibracji K:

$$e_E(\lambda) = K \cdot w(\lambda) \quad (32)$$

Z kolei związek (patrz Tabela na str. I - 4) pomiędzy spektralnymi gęstościami oświetlenia jest następujący:

$$e(\lambda) = 683 \cdot V(\lambda) \cdot e_E(\lambda) \quad (33)$$

Z pomiaru luksomierzem znane jest natężenie oświetlenia E. Oczywiście:

$$E = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e(\lambda) d\lambda = K \cdot 683 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \cdot w(\lambda) d\lambda \quad (34)$$

Międzynarodowa Krzywa Czulości Oka $V(\lambda)$ jest różna od zera w przedziale 400 - 760 nm. Definiuje to poprawny przedział całkowania. Spektrofotometr S1000 odwzorowuje przedział widmowy 415 - 659 nm. Porównanie z Rys. 4 wskazuje, że błąd systematyczny, popełniany przez przyjęcie do całkowania przedziału 415 - 659 nm, zamiast 400 - 760 nm nie jest duży. W praktyce całkowania dokonać należy w obszarze, gdzie $w(\lambda) \neq 0$

Sposób postępowania jest więc następujący:

1. zarejestrować do plików widma świetlówek (patrz punkt VIII -1).
2. wyprowadzić, na podstawie (28) - (30), wzory na E_E , $e_E(\lambda)$ i $e(\lambda)$ w funkcji E i $w(\lambda)$
3. wartości funkcji $V(\lambda)$ znajdują się w pliku MKCO.DAT w katalogu C:\SS . Format pliku jest identyczny z formatem plików *.IRR zawierających zmierzone widma (dwie kolumny liczb oddzielone przecinkami). Dla wygody wartości $V(\lambda)$ podano dla identycznych długości fal, jak argumenty widm. Dopuszcza się całkowanie metodą uproszczoną, to jest poprzez dodanie poszczególnych iloczynów.

Uwaga: Spektrofotometr S1000 na początku i na końcu widma zapisuje do pliku kilkaście kanałów nie zawierających poprawnych danych. Kanały te łatwo rozpoznać

oglądając zawartość kolumn przed całkowaniem. Zawartość tych kanałów należy przed przystąpieniem do obliczeń skasować lub wyzerować.

4. Opracowanie winno zawierać:

- a) widmo względne lampy referencyjnej
- b) widma $e_E(\lambda)$ i $e(\lambda)$ poszczególnych świetlówek
- c) obliczone oświetlenie E_E .

Należy zwrócić uwagę na poprawność użycia jednostek fotometrycznych.

X Uzupelnienia

X.A Sporządzanie roztworów

Najczęściej należy sporządzić roztwór o zadanym stężeniu mając substancję w postaci proszku o ciężarze cząsteczkowym. Objętość roztworu zależy od potrzeb, ale równocześnie jest ograniczona od dołu wymaganą dokładnością przygotowania roztworu i dokładnością wagi analitycznej. Wielkość naważki wyznacza się ze wzoru:

$$X = \frac{CmV}{1000} \quad (35)$$

gdzie C jest wymaganym stężeniem.

Jeżeli C wyznaczymy w [M/l], ciężar cząsteczkowy m w [g/M], a objętość V w cm³, wtedy X będzie wyrażone w gramach.

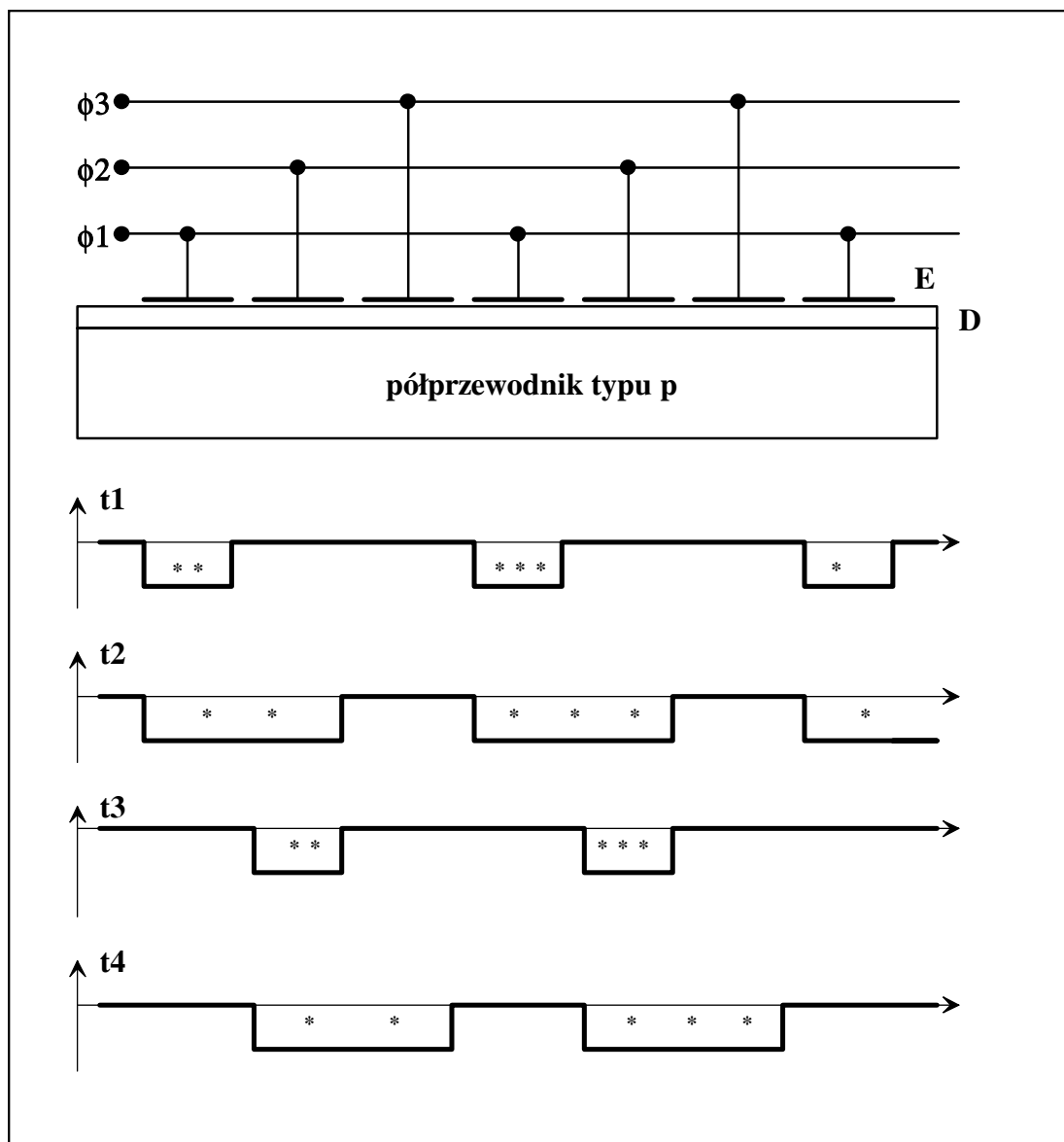
Często nie jest możliwe uzyskanie zadowalającego kompromisu między oszczędnym użyciem rozpuszczalnika i wymaganą dokładnością ważenia. Wówczas wykonuje się roztwór wyjściowy o większym stężeniu, z którego przygotowuje się roztwory pomiarowe.

X.B Przyrządy z przenoszeniem ładunku (CCD)

Przyrządy CCD stanowią specyficzny element fotoczuły (Rys. 12) o regularnym systemie elektrod (E) umieszczonych na powierzchni dielektryka (D), który oddziela elektrody od silnie domieszkowanego półprzewodnika typu p. Elektrody formuje się w kształcie linijki lub dwuwymiarowej matrycy (patrz G. S. Hobson, "Przyrządy z przenoszeniem ładunku", str.42). Typowe rozmiary elektrod: długość 5μm, szerokość 40μm, odległości między elektrodami 40μm, liczba elektrod dla linii zwykle 1024 i 1024² dla matrycy. Liczba elektrod określa zdolność rozdzielczą elementu.

Elektrody spolaryzowane są dodatnio. Ten potencjał powoduje odpychanie dziur od powierzchni dielektryka wytwarzając obszar zubożony. Im większy potencjał elektrod, tym głębszy jest ten obszar. Jeżeli na półprzewodnik pada światło, wytworzone zostają pary elektron - dziura. Elektrony gromadzą się na granicy z dielektrykiem, a dziury odpływają (dryft). Elektrony tworzą ładunek przestrzenny, którego wielkość jest proporcjonalna do oświetlenia. Tym samym obraz rzutowany na matrycę ma on swoje odzwierciedlenie w ładunkach pod odpowiednimi elektrodami (pixelami).

Na Rys.14 przedstawiono przesuwanie ładunku magazynowanego wzdłuż łańcucha rejestrów przesuwających za pomocą trójfazowego ciągu impulsów zegarowych (cykl trójfazowy). Niech ładunek będzie zgromadzony pod elektrodami przyłączonymi do ϕ_1 . W chwili t_2 do ϕ_2 zostaje doprowadzone napięcie U_c i ładunek jest przesuwany za pomocą mechanizmów unoszenia i dyfuzji do obszaru pod elektrodami ϕ_1 i ϕ_2 . W chwili t_3 napięcie U_c będzie zdejmowane z elektrod ϕ_1 tak wolno, by cały ładunek znalazł się pod elektrodą ϕ_2 . Powtarzanie tego procesu z elektrodami ϕ_3 umożliwia przesunięcie ładunku do elektrody zbierającej, którą zwykle stanowi półprzewodnik typu n silnie domieszkowany. W przypadku matrycy uzyskujemy informacje o natężeniu padającego światła w różne miejsca matrycy przez sukcesywny pomiar ładunek na szynie zbiorczej. Jak łatwo zauważyć odpowiada to mechanizmowi tworzenia obrazu telewizyjnego.

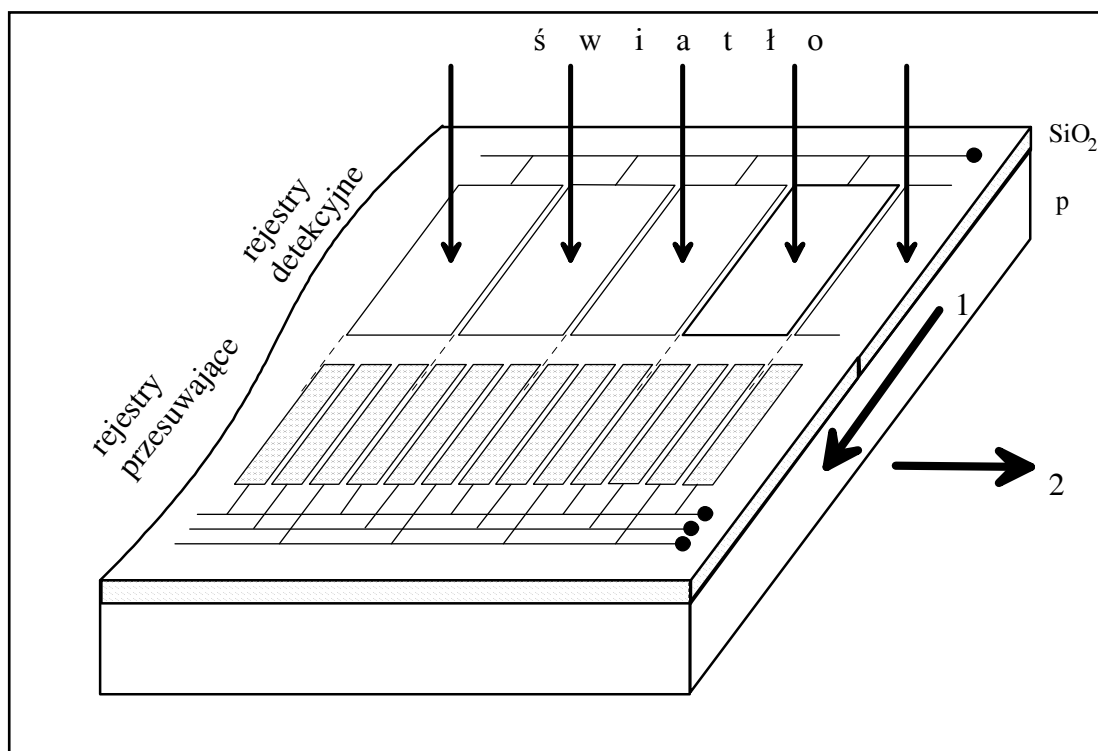


Rys.12. Trójfazowe przenoszenie ładunku

Istotnym elementem kamery jest migawka. Zadaniem jej jest odcięcie dostępu światła do rejestrów detekcyjnych podczas sekwencji przesuwania ładunków. Stosuje się migawki mechaniczne (często w rozwiązaniach specjalnych, stosowanych w aparaturze naukowej), jak i techniki półprzewodnikowe (na przykład w kamerach telewizyjnych). W tym przypadku zbieranie ładunku i jego przenoszenie odbywa się w dwóch różnych strukturach ustawionych równolegle do siebie (Rys. 13). Przekazanie ładunku z komórek zbierających do transmitujących odbywa się na sygnał dostarczony do bramki rozdzielającej obie struktury.

Typowe parametry elementu CCD (ang. Charge-Coupled Device):

- napięcia: 3-10V z narastaniem: 10-100 μs ,
- maksymalna szybkość taktowania: 1-50 MHz,
- dynamika: 60 dB,
- możliwa gęstość linii: 10-50 linii/mm.



Rys.13. Schemat elementu fotoczułego CCD . Strzałki oznaczają: 1 - przepisywanie do rejestrów przesuwających, 2 - odczyt sekwencyjny

Zakres zastosowania takich elementów jest obecnie ogromny. Przetworniki obrazu oparte na technice CCD znajdują się w kamerach telewizyjnych (profesjonalnych i amatorskich), spektrografach, teleskopach optycznych, itp.

X.C Manual for SpectraScope Spectral Data Acquisition & Processing Software for the S1000 Spectrometer

Save icons:

Click on these areas (top left of screen) to perform the same operations as:

- File -> Save -> Sample (rectangle icon filled with dots)
- File -> Save -> Dark (rectangle icon filled with black, make sure your setup has lamp off),
- File -> Save -> Reference (rectangle icon filled with white, make sure your setup has lamp on)

Data Cursor:

The data cursor is a vertical line which can be moved from left to right or right to left along the data scan. The data value at the cursor location is displayed in the top status bar.

Movement is controlled by selecting one of the four rectangles on top right of screen with arrows << < > >> using your mouse.

Alternately, the keypad keys will perform similarly:

Home (fast left) PgUp (fast right) End (left) PgDn (right) Del (remove cursor)

When using the mouse and pressing the right hand button, the data cursor will move to the next peak on the display, in the direction of the selected icon (left or right).

Panic icon:

Clicking this area (top of screen, just left of the data cursor icons) will cause the system to reset to average settings, in case you want instant relief from slow response.

It affects the ADC data sample frequency (-> 100 KHz) and the number of samples to average (-> 1).

System Indicators:

Observe the system indicators as yellow letters appearing in the lower left of the screen.

- y means that you have performed a y rescale
...to undo reselect View -> [desired mode]
- z means that you have performed an x zoom
...to undo reselect View -> x zoom off
- s means that you have performed a File -> Graph
...to undo reselect View -> Data in realtime
- r means that you have View -> Channel -> RatioMS
...to undo reselect View -> Channel -> Master

Interrupts:

The Adc (Analog to Digital Converter) adapter needs the use of an interrupt request (IRQ) in the PC plug in bus. SS defaults to IRQ7, however if you are having problems you may change this to IRQ3, IRQ4 or IRQ5 (try this first). At the Dos prompt type "SET SSIRQ=5" (if this works just put the same line in your AUTOEXEC.BAT file). If you have the PC1000 plugin spectrometer you must also set the switches on the board.

Speed up Episode:

The episodic data capture function initiated via the Setup -> Episode menu option writes continuous data to disk when there is no episode delay(0) or inter scan delays. Since your

disk has a rather large seek time as compared to rapid data capture requirements, you may need speed up this process. Install the Dos RAMDRIVE.sys command in your config.sys file.

```
Example: dos=high,umb
         device=\dos\himem.sys
         device=\dos\ramdrive.sys 2048 /e
         device=\dos\emm386.exe
```

NOTE: if you have MicroSoft Windows installed then use \windows\ in place of \dos\ above. This installs a 2 meg ramdisk in extended memory. This will hold approx 200 episode samples. You must tell SS where the ram drive is located by typing "SET SSRAMD=D" at the Dos prompt (also put this line in your AUTOEXEC.BAT file. "D" indicates that your ramdrive is drive "D". The ramdrive will always be the next letter above your last drive.

Fatal Error Codes	Error descriptions
01	Graphics driver register error
02	Graphics driver system error
03	Sample malloc (memory allocate)
04	Dark malloc
05	Ref malloc
06	Dbuf malloc
07	Sbuf malloc
08	Hbuf malloc
09	Write digitl(mode 13) [dout]
10	Config ctr0 (mode 10) [set_fdc]
11	Config ctr0 (mode 10) [set_fdc]
12	Load ctr1&2 (mode 17) [set_dsf]
13	Adc init (mode 0) [initDac]
14	Adc mux set (mode 1) [initDac]
15	DMA malloc [initDac]

File Menu Help summary:

New - allows the experiment name to be changed. The current experiment name is shown in the upper right status bar. The experiment name indicates the next filename to be used when performing a file save. The experiment name is the first six characters of the filename. The next two characters are the file number (00..99). The file number can be changed too. The file number is automatically incremented when doing successive file saves of the same file type. The file types cannot be changed as these are automatically selected for the context of the data. The file type is the last three characters after the period in the complete dos filename. Here are experiment files generated by SS when File->Save..options are used:

>>Format: data [, data] [if dual unit]
 eeeeeenn.cfg - contains setup configuration
 eeeeeenn.drk - dark data
 eeeeeenn.ref - reference data
 eeeeeenn.sam - sample data [when in scope mode]
 eeeeeenn.ep - episode data [via Setup->Episode]

File->Save->Sample generates a file type which depends on the current mode selected...

>>Format: wavelength, data [, wavelength, data]
 eeeeeenn.abs - absorbance mode data
 eeeeeenn.trm - transmission mode data
 eeeeeenn.rfs - ref spectra mode data
 eeeeeenn.ssm - sample data [scope mode]
 eeeeeenn.irr - sample data [irradiance mode]
 eeeeeenn.hc1 - history channel RED [any mode]
 eeeeeenn.hc2 - history channel GREEN [any mode]
 eeeeeenn.hc3 - history channel BLUE [any mode]
 eeeeeenn.hc4 - history channel YELLOW [any mode]

Open - allow the user to select various files to be read back in which were previously saved. These include an entire experiment (*.cfg, *.drk, *.ref, *.sam), or individually setup (*.cfg), or sample (*.sam), or dark (*.drk) or reference (*.ref). When combined with View -> Data graph STATIC selection, the *.sam files can be opened, graphed, and then plotted. Using this technique, sample data can be loaded, reprocessed (via setup options) and then saved as new samples in Scope, Absorbance and Transmission modes!

Save - allows the user to save data to files. This includes an entire experiment or selective files as described above in Open. Normally you would first Save -> Dark then Save -> Reference. These are required for the other view modes (ie: absorbance, transmission, ref spectra). The Dark and Reference data is not immediately saved to a file, so they can be repeated easily. This is different when selecting Save -> saMple, as it immediately generates *.ssm and *.sam in Scope mode! (* is the current experiment name and file number as indicated in the upper right status line). If you have selected Irradiance mode, then the file type generated is *.irr.

NOTE!!! Save -> saMple in other View modes (ie: absorbance, transmission, ref spectra), generate data files for that modes data type (*.abs,*.trm,*.rfs). These files can be looked at with File -> View. Optionally, these files can be graphed using File -> Graph menu, including samples (*.ssm) taken in Scope mode. The save icons on the top left of the screen perform the same functions as above, but very quickly: File -> Save -> (sample) (dark) (reference)

Plot - allows the user to plot the currently selected screen on the connected printer device. First use setup->printer configuration to select output resolution, output port, and type of print device. SS will remember your setup even after power off via the SS.cfg file. Plot provides an option to draw xy grid lines.

View - allows the user to look at the context of selected files.

Graph - allows the user to graph selected files on screen. These data files are:

*.abs (absorbance), *.trm (transmission), *.rfs (reference spectra), *.ssm (scope sample), *.ep (episode data) and *.hc* (history channel).

This selection may be successively repeated allowing many different files on the same graph. Only the first graph is automatically y_scaled. Each new graph overlay is selected as a different color.

When graphing episode data, many scans will overlay from a single file selection. Again each scan will become a new color. The colors will cycle over if the number of scan episodes exceed the number of available colors. If you select the 3D graph, each scan in the episode will be offset to fit the graph verticle axis. The scaling is set to accomodate all scans. When combined with the View -> X_zoom you can graph a selected range of the episode wavelengths. You must first select X_zoom the perform the File -> Graph -> Episode.

The New graph selection allows the next graph to first be cleared and then rescaled. This is automatic when repeating Episode graphs.

A fter a graph has been drawn, the system is left in a STATIC mode. To restore realtime operation, you must select View -> Data in REALTIME. A small "s" appears on bottom left of the graph to tell you the system is in STATIC mode. Also the mode name shown in the upper left part of the screen will indicate Mode: Graph.

Exit - back to where you came from (Dos or Windows).

Setup Help Menu Summary:

ADC sample freq: 1..500

Changes Analog to Digital Converter data sample frequency, in KHz. The ADC clock also runs the detector controller, and effectively sets the exposure or integration time for the CCD detector. The ADC rate should be adjusted for each experiment to maximize the detector output voltage and signal to noise ratio. The integration period is reported in a message box each time the ADC rate is changed. Please note that you should not attempt to set this value above the limit of your ADC device (125Khz for DAS16jr, 330KHz for DAS16-330, 500KHz for PC1000).

Range for ADC input: 1/2/4/8

Changes the input gain on the ADC device. It is normally set to 1=(0..10volts) to match the detector output voltage range, but can be changed to 2=(0..5v); 4=(0..2.5v); or 8=(0..1.25v) for amplification.

Number of samples: 1..9999

Sets the number of scans to signal average. Please note that the screen graph is updated AFTER this number of samples (scans) have been aquired.

Integration cycle: 1/4

Controls the CCD sensor integration period where 1=short (8192/2*ADC rate) or 4=long (32768/2*ADC rate). This is similar to the shutter control on a camera.

Optical pixel resolution: 1/5/9/17

This performs data smoothing by applying a moving average of adjacent pixels to the data arrays. For example, option 5 would average each pixel with the 2 pixels on the left & right.

Option 1 performs NO data smoothing. Smoothing levels 5, 9, and 17 correspond to the input fiber image size for 50,100 & 200 micron diameter fibers respectively.

Flash and scan timing:

S1000 spectrometers provide signals for triggering pulsed light sources such as xenon strobes at the D9 connector on the rear panel of the instruments. Pin D1 provides a middle of scan pulse only when data is being taken. Pin D6 provides a continuous train of pulses (1 or more per scan) regardless of data acquisition activity. These signals can be also used to synchronize (and trigger) external devices, such as lasers, with each spectrometer scan.

Inter scan delays can be setup to allow appropriate recharge time for flash units, or to adjust system timing patterns.

Correct for dark: ON/OFF

The first 16 "dead" pixels that are read from the CCD sensor give a useful approximation of the dark current even when the CCD is illuminated. If correct for dark is on, the mean values of the even and odd "dead" pixels are subtracted from the remaining even and odd pixels. This is typically accurate to within a count of "true" dark level and is especially usefull for comparing normalized data (see below).

Data normalization: ON/OFF

This mode divides observed voltages (in ADC counts) by the integration period (in seconds), allowing comparison of reference and sample data taken at different sampling rates.

AbsTrans drift correct: ON/OFF

Absorbance or Transmission mode drift correct option. This option can be used ONLY with a dual spectrometer set to the same wavelength range as the master. Changes in light levels detected by the slave are subtracted from the mastert, so as to compensate for drift in the light source.

View as differential:

Converts the spectral scans to the first derivative given as $d(\text{amplitude})/d(\text{wavelength})$. The result is a positive & negative trace about the zero axis. The derivative is approximated at pixel (n) as $(A(n+1)-A(n))/(wave(n+1)-wave(n))$.

Unit cal data & channel:

This allows the setting of the wavelength calibration coefficients for the spectrometer in use. In addition the user may select the physical Analog to Digital channel to attach the Master or Slave display to. This allows the Master and slave channels to be swapped. Pressing enter will make no changes. The coefficients are determined from a least squares fit to a second order polynomial. The intercept is the wavelength at detector pixel(0), the first slope is the dispersion in nm/pixels and the second corrects for the slight curvature. Spectrometers can be recalibrated with a wavelength standard such as our HG-1 low pressure mercury/argon lamp. All data arrays and files are based on detector pixels. The calibration coefficients are used to report the wavelengths associated with each pixel and for labeling graphs. The first, second, and third coefficients are taken from the calibration sheet supplied with each unit and may be input exactly as shown from the lines labeled in the following example:

SS prompt	Sheet label	example values
1st & 2nd coefs	X Coefficients(s)	0.577048 -5.792E-05
Enter Intercept:	Constant	226.025916

Episodic data sampling:

Performs unattended data save operations over a period of time. Each "episode" consists of signal averaging and processing the "number of scans" configured and by options in the SETUP and VIEW menus.

The number of episodes to be taken are entered along with the desired delay between episodes. The total time between edisodes is equal to the delay plus the time it takes to execute the episode. Since the mode (ie: scope, absorbance, transmission) controls the type of data taken (*.sam, *.abs, *.trm), you must remember to select the proper mode first. A "Suppress graph trace?" option allows the user to prevent display of each episode and speed up software execution.

History channel function:

Allows setup for the type of operations to be performed when the View->Channel->History is selected. There are upto 4 graph traces available: Red Green Blue Yellow. Each channel can be active or disabled. When active, the graph trace represents the resulting function value for each scan. The equation for the function is entered here, in the Setup->History channel function.

As the graph moves to the right, you may X_zoom & Y_rescale. Upon reaching the right hand graph border the entire graph will then be scrolled left as new data is added.

The history channel function library will save upto 10 different equations. Each of the 4 display channels can select equations from this library. A table of constants is provided for use in each equation. They are provided as symbols a1..a4 b1..b4 c1..c4 d1..d4.

Equations are entered using standard math notation for addition, subtraction, multiplication & division. Additionally: m(wavelength in nm) =master

s(wavelength in nm) =slave

b(pixel width) =band for wavelength

The above functions allow selection of several different wavelengths with different band widths, which could be used for specific process control applications.

eg: $b(5)*m(550)*a1+b(10)*m(600)*b1$

eg: $b(10)*(m(350)/s(350))*1.5$

In addition to standard math notations as shown above, any equation may use the following extended math functions:

ABS() ..absolute val
 ROUND() ..round up
 TRUNC() ..integer
 COS() ..cosine
 SIN() ..sine
 EXP() ..eponentiate
 SQR() ..square
 LOG() ..natural log
 SQRT() ..positive square root
 LOG10() ..log base 10
 TAN() ..tangent

Spectrometer type: single/dual

This should match the attached spectrometer hardware. However, if you wish to use just the master spectrometer in a dual unit, selecting single will speed up operations.

Screen Color Configuration:

Allows the default colors to be altered. A mouse is required to operate this panel!

Printer configuration:

Allows selecting the current output resolution for the File -> Plot function. The half low is the fastest while half med and half high are respectively slower. These are half page portrait plots. The land and full options are full page landscape and portrait plots in their respective resolutions low, med, and high. Some laser printers may not have enough memory to plot in full page resolutions.

You may also select the proper interface port and printer types. The following printers are supported:

HP LaserJet II and III, HP DeskJet bw and color,
Epson/IBM 9-pin dot matrix, Epson 24-pin dot matrix,
IBM Pro 24-pin, and IBM Quietwriter.

Note: most other brands of printers are compatible with one of these.

View Help Menu Summary:**Scope mode:**

Allows user to view "basic" spectrometer data in REALTIME or as a STATIC graph (see View->Data graph STATIC option below). Each pixel is graphed on the x_axis as wavelength in nanometers using the calibration parameters entered via setup. Reselecting View->Scope will clear any Y_rescale that had been previously selected. Scope data will be affected by options available in the Setup menu.

Absorbance:

Displays absorbance at pixel n using the current sample, reference, and dark data sets:

$$A(n) = -\log((\text{sample}(n) - \text{dark}(n)) / (\text{ref}(n) - \text{dark}(n)))$$

system indicator

Transmission:

Displays percent transmission at pixel n using the current sample, reference and dark data sets:

$$T(n) = ((\text{sample}(n) - \text{dark}(n)) / (\text{ref}(n) - \text{dark}(n))) * 100$$

Percent transmission is mathematically equivalent to percent reflectance and can be used when doing reflection experiments.

Irradiance:

Displays relative radiant energy at pixel n using the current sample, reference and dark data sets:

$$E(n) = (\text{sample}(n) - \text{dark}(n)) * B(n)$$

Where $B(n)$ is the computed component of the spectral distribution of the blackbody radiant emittance (at user selected temperature in degrees K) divided by the current reference(n) data set. The reference data set is established by observing a standard illuminant of known color temperature, and using the "Save Reference" function.

Ref spectra:

Displays the reference and dark data previously saved as ref(n)-dark(n). This is useful for detecting peaks in line spectra, etc.

Y_rescale:

When selected, Y_rescale evaluates the current data set for maximum values and then redraws the graph such that the current data will expand or contract to fit 80% of the Y scale. The Y scale is then relabeled to reflect the new magnitudes. This option can be successively repeated and is a significant tool when evaluating data in realtime. Please note the status indicator in the lower left corner of the screen "y". This indicates that Y has been rescaled.

X_zoom: ON/OFF

Allows a selected region on the X axis to be expanded to the full graph. This option will work on any type of graph, both STATIC and REALTIME, any selected mode (scope, transmission, absorbance, ref spectra), history channel and view differential. Please note the status indicator in the lower left corner of the screen "z". This reminds you that the Z axis has been zoomed. You must reselect View -> X_zoom to perform an "unZOOM".

Channel: Master/Slave/Both/History

Allows the user to view data from different spectrometers when using a dual unit. The "history" channel selection works for both single and dual spectrometers. It provides display of the history channel function which is configured via the Setup menu. For more detail, refer to the Help -> Setup -> History channel.

Qstatus: ON/OFF

The Quick status panel appears on the top right of the screen when turned on. It quickly summarizes the configuration selected in the Setup menu.

Graph trace: Dots/Lines/Overlay

Allows user to select graph types. When selecting overlay, the previously selected scan will NOT be erased. This provides interesting displays in REALTIME modes.

Data as: STATIC/REALTIME

REALTIME provides instant display of sample data processing configured via the Setup menu and View mode. When STATIC is selected, files may be reloaded and graphed. The file types are *.sam (samples taken in scope mode). Also *.ref (reference) and *.drk (dark) data may be loaded. These will affect the display modes for absorbance and transmission. The data can be manipulated via the Setup menu, reprocessed, displayed and saved again!

Please note the status indicator in the lower left corner of the screen "s". This reminds you that you are viewing STATIC data. After selecting File -> Graph the system is left in STATIC view. You must reselect this option to revert back to REALTIME viewing.

Apps Menu Help summary:**Auto calibration**

Calibration of spectrometer is performed automatically using a Mercury-Argon lamp when this option is enabled. This option is free with the purchase of the HG-1 calibration lamp.

Data communication

This option allows the spectrometer system to be controlled via the serial ports. Reflectance/Absorbance data can be exported to an external computer system on command.

Process ctrl Mgmt (2Q94)

The process control management option allows the operator to define upper and lower threshold values used to control discrete signals (0..5 volts) available on the PC printer port. These signals can be logically attached to the SpectraScope equation processor, which displays results in the red, green, blue, and yellow display channels.

Color Application (2Q94)

This option allows the user to derive standard L^* a^* b^* and xyz tri stimulus values for color samples in realtime graphs in the SpectraScope environment.