

Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki
Laboratorium Fizyki i Techniki Jądrowej

Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego:
Detektory pasywne

Opracowanie: Dariusz Aksamit, Dariusz.Aksamit@pw.edu.pl, Gmach Fizyki, pok. 114

Spis treści

1.	Wprowadzenie	2
1.1.	Detektory pasywne – ogólna charakterystyka	2
1.2.	Przykłady detektorów pasywnych.....	2
1.2.1.	Detektory chemiczne.....	2
1.2.2.	Detektory śladowe – SSNTD (Solid State Nuclear Track Detectors).....	3
1.2.3.	Detektory luminescencyjne.....	4
1.2.4.	Elektronowy rezonans paramagnetyczny	4
1.3.	Analiza obrazu w ImageJ	5
2.	Część 1 – filmy gafchromowe	6
2.1.	Układ pomiarowy	6
2.2.	Zadania	6
3.	Część 2 – detektory PADC (CR39)	7
2.1.	Układ pomiarowy	7
2.2.	Zadania	7
4.	Bibliografia.....	8
5.	Dodatek – dopasowanie funkcji odwrotnej w Originie	9

1. Wprowadzenie

Celem ćwiczenia jest ogólne zaznajomienie studentów z detektorami pasywnymi i szczegółowe z filmami gafchromowymi stosowanymi w dozymetrii wiązek terapeutycznych w radioterapii oraz foliami PADC stosowanymi w eksperymentach jądrowych i pomiarach radonu.

1.1. Detektory pasywne – ogólna charakterystyka

Cechą wspólną detektorów pasywnych jest dostarczanie informacji o parametrach pola promieniowania (np. energii, dawce pochłoniętej) dopiero po zakończeniu ekspozycji i dokonaniu odczytu za pomocą innego urządzenia (czytnika).

Spośród ich zalet można wymienić brak potrzeby zasilania, niski koszt, mały rozmiar, dobrą rozdzielczość przestrzenną, możliwość wielokrotnych odczytów po zakończeniu ekspozycji. Te cechy sprawiają, że są to detektory preferowane do pomiarów w trudnodostępnych miejscach, podczas długoterminowych pomiarów lub w pomiarach wielkoskalowych (np. mapowanie rozkładu dawki na terenie województwa, kraju...) lub mapowania przestrzennego wiązek (radioterapia). Znajdują zatem zastosowanie zarówno w badaniach naukowych, rutynowej ochronie radiologicznej, dozymetrii awaryjnej i retrospektywnej, diagnostyce obrazowej z użyciem promieniowania jonizującego i radioterapii technikami specjalnymi. [1]

1.2. Przykłady detektorów pasywnych

1.2.1. Detektory chemiczne

Do tej klasy detektorów zaliczamy detektory bazujące na obserwacji zmian wywołanych w materiale przez reakcje chemiczne, zainicjowane przez promieniowanie jonizujące.

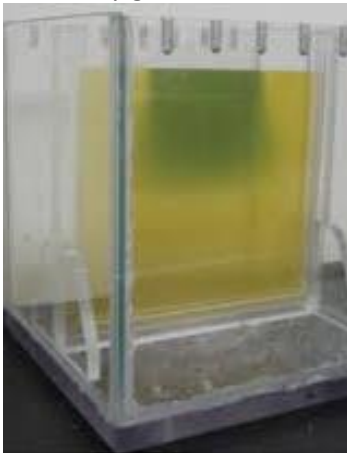
Detektorem chemicznym powszechnie znanym naszemu i poprzedniemu pokoleniu (ale z racji wypierania przez matryce elektroniczne nieznanemu przyszłości) są **klisze rentgenowskie** – warstwą światłoczułą błony jest warstwa światłoczuła z bromku srebra. Napromienienie powoduje przenoszenie elektronów z bromu do srebra, co skutkuje powstaniem metalicznego srebra. Uzyskanie znanego nam czarno-białego obrazu wymaga niestety dalszej obróbki chemicznej kliszy, czasochłonnej i szkodliwej dla środowiska. Niewywołana klisza jest światłoczuła. [2]

Wady tej nie mają **filmy radiochromowe** (potocznie nazywane gafchromowymi, gafchromami), które również zmieniają swoją gęstość optyczną pod wpływem promieniowania, jednak w tym wypadku dochodzi do polimeryzacji. W zastosowaniach radioterapeutycznych najczęściej stosowane są filmy GAFCHROMIC EBT3 (w 2004 firma International Speciality Products wprowadziła na rynek EBT o odpowiedniej czułości, w 2009 EBT2 z żółtym barwnikiem, zmniejszając wrażliwość na UV, w 2011 EBT3 – w którym warstwa aktywna jest zalaminowana pomiędzy dwoma warstwami poliestrowymi, dzięki czemu filmy stały się wodoodporne i można je zanurzać w fantomie wodnym) [3,4]

Starszym, ale ważnym historycznie dla fizyki cząstek, przykładem klisz są stosowane od lat '40 XX wieku **emulsje jądrowe**. Analogicznie do klisz rentgenowskich zawierały związki srebra zmieniające swój stopień utlenienia, ale ich gęstość była znacznie większa. Służyły śledzeniu torów cząstek i miejsc w których dochodziło do reakcji jądrowych, obecnie w eksperymentach jądrowych zostały wyparte przez detektory aktywne, ale wciąż znajdują zastosowanie przy autoradiografii (np. w metalurgii). [5]

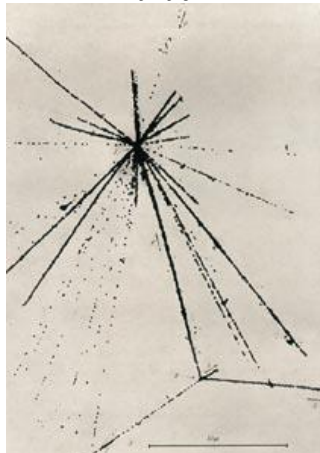
Innym przykładem detektora dającego informację o przestrzennym rozkładzie promieniowania są **detektory żelowe**. W objętości detektora znajduje się żel (np. na bazie żelatyny) w którym pod wpływem promieniowania dochodzi do zmiany stopnia utlenienia żelaza, więc pomiar spektrochemiczny lub rezonansem magnetycznym stosunku Fe^{2+}/Fe^{3+} daje informacje o dawce w danym punkcie (detektory chemiczne) lub dochodzi do polimeryzacji monomerów, co zmienia gęstość optyczną – odczytu można dokonać w tomografie optycznym lub w rezonansie magnetycznym (gdyż polimeryzacja wpływa na czas relaksacji sieci). [6]

Filmy gafchromowe



https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ2-Zpdm8UnBb0lbinmO3Cer7N4TR5_GpJExdGG_w09nsGRAgC

Emulsje jądrowe



http://images.iop.org/objects/ccr/cern/43/3/11/cernhvp3_4-03.jpg

Żele dozymetryczne



<http://www.pnas.org/content/pnas/109/38/E2508/F1.large.jpg>

1.2.2. Detektory śladowe – SSNTD (Solid State Nuclear Track Detectors)

W detektorach takich jak komora Wilsona i komora pęcherzykowa pary przechłodzonej cieczy kondensują po przejściu przez tę parę naładowanej cząstki (niestety, żeby je uwiecznić i poddać dalszej analizie należało wykonać fotografię) – na podobnej zasadzie bazują **detektory pęcherzykowe** stosowane w dozymetrii neutronów, tyle że bazują na zawieszonych w przezroczystym polimerze drobnych kropelkach przechłodzonej cieczy. Neutron powoduje odparowanie takiej kropli, przez co w polimerze powstają bąbelki powietrza. Liczba bąbelków daje informacje o dawce. [7]

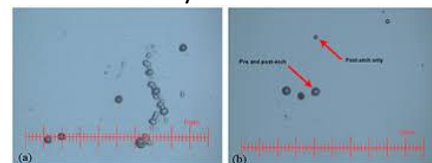
Detektorem stosowanym w detekcji ciężkich cząstek (alfa, protonów, neutronów po konwersji na protony, ciężkich jonów) są **płytki PADC** (polyallyl diglycol carbonate – poliwęglan allilodiglikolowy), znany pod nazwą handlową jako **CR39**, CR-39 lub Tastrak. Wiązania chemiczne w tym polimerze zostają zerwane przez przechodzącą cząstkę – wytrawienie go w zasadzie sodowej sprawia, że w miejscach, gdzie jest uszkodzony trawienie zachodzi szybciej, pojawiają się otwory. Liczba otworów daje nam informacje o intensywności wiązki, średnice otworów o energii, a ich kolistość/eliptyczność o kącie wejścia promieniowania w płytkę. [8, 9]

Detektory pęcherzykowe



<http://explorecuriosity.org/Portals/4/Resource-Images/2113-1.jpg>

Płytki CR39



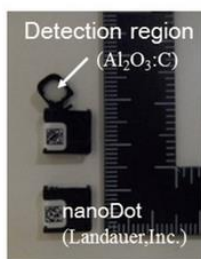
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/34/2/457>

1.2.3. Detektory luminescencyjne

Luminescencja, czyli „zimne świecenie”, to zjawisko świecenia obiektów z innego powodu niż rozgrzanie, czyli nie jest to żarzenie (promieniowanie ciepłe).

Luminescencję można wywołać na wiele sposobów: chemicznie, elektro-, trybo-, bio-, fotoluminescencja, scyntylacja. Na szczególną uwagę w dozymetrii zasługuje termoluminescencja i optycznie stymulowana luminescencja. Obie techniki (TLD i OSL) wykorzystywane są zarówno w rutynowej jak i awaryjnej dozymetrii. Bazują one na pułapkowaniu wybitych elektronów w paśmie wzbronionym (ekspozycja) i późniejszym opróżnianiu tych pułapek po dostarczeniu energii z zewnątrz (w postaci podgrzania do około 200-300°C w przypadku TLD lub świecenia niebieskim laserem w przypadku OSL) i rekombinacji elektronów z dziurami w centrach luminescencji. Przykładowe materiały TLD to LiF:Mg,Cu,P, LiF:Mg,Ti, CaF₂, CaSO₄:Dy, a dla OSL Al₂O₃:C. [10,11]

Dozometr i czytnik OSL



https://www.researchgate.net/profile/Hiroaki_Hayashi3/publication/297318949/figure/fig1/AS:337226685796352@1457412515703/Introduction-of-the-nanoDot-OSL-dosimeter-NanoDot-is-a-small-type-OSL-optimally.jpg

Dozymetry i czynnik TLD



<https://www.mirion.com/products/tld-dosimetry-system/>, oraz
praca inż. Adriany Seweryn

1.2.4. Elektronowy rezonans paramagnetyczny

Elektronowy rezonans paramagnetyczny (EPR) to zjawisko analogiczne do magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR), ale rezonansowe pochłanianie energii zewnętrznych fal elektromagnetycznych dotyczy niesparowanych elektronów (centrów paramagnetycznych), a nie jąder atomowych. W przypadku EPR fale EM to mikrofały, przykładowo dla tzw. pasma X stosuje się częstotliwości mikrofalowe około 10 GHz przy zewnętrznym polu magnetycznym 300 mT.

Przykładowym materiałem, w którym tworzą się stabilne w czasie centra paramagnetyczne jest alanina, stąd detektory alaninowe. Sygnał EPR wykazują również próbki biologiczne, szczególne znaczenie mają te zawierające mineralny hydroksyapatyt, czyli szkliwo zęba, kości i paznokcie, stąd zastosowanie w dozymetrii awaryjnej. [12]



Przykładowy wygląd detektorów EPR wykonanych z alaniny [12]

1.3. Analiza obrazu w ImageJ

W trakcie ćwiczenia będziemy korzystać z programu ImageJ. Jest to darmowy, otwarty program stworzony przez National Institute of Health (NIH) w USA. Napisany został w Javie, pracuje na systemach operacyjnych Linux, Mac OS i Windows w architekturze 32- i 64-bitowej. Jego wersję podstawową można pobrać ze strony <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>. Zaletą jest możliwość pobrania dodatkowo około 300 makropoleczeń i 500 pluginów. Interesujący dla nas będzie „analyzer cząstek”, stosowany przy automatyzacji analizy obrazu w którym jest wiele powtarzalnych elementów: <https://imagej.net/Particle Analysis>.

Podstawowe narzędzi, które należy opanować na wstępie to: otwieranie pliku, zapisywanie, konwersja obrazów, stosowanie miarki (przy założeniu, że obraz jest skalibrowany przy użyciu skali ze szkiełkiem mikrometrycznym), dopasowania okręgów lub elips, pomiar wartości pikseli.

Pełna instrukcja obsługi dostępna jest pod adresem:

<https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>

2. Część 1 – filmy gafchromowe

2.1. Układ pomiarowy

Filmy użyte w ćwiczeniu – EBT3

http://www.gafchromic.com/documents/PC-11802_Gafchromic_EBT3.pdf

http://www.gafchromic.com/documents/EBT3_Specifications.pdf

Skaner użyty w ćwiczeniu

<https://www.epson.pl/products/scanners/consumer-scanners/perfection-v850-pro>

Napromienienia kalibracyjne odbyły się w Centrum Onkologii-Instytut w Zakładzie Teleradioterapii we współpracy z Anną Zalewską, kierownikiem Zakładu. Pole robocze wynosiło 40 cm x 40 cm, energia wiązki promieniowania rentgenowskiego wynosiła 6 MeV, odległość SSD (Source-Skin Distance) wyniosła 100 cm. Do napromienień kalibracyjnych użyto kolejno następujących mocy dawek: 0 cGy, 20 cGy, 50 cGy, 100 cGy, 150 cGy, 200 cGy, 250 cGy, 300 cGy.

2.2. Zadania

- Wykonać skan filmów kalibracyjnych
- Otworzyć w ImageJ obraz do analizy (jeśli jest to obraz .tif proszę zwrócić uwagę, że w dolnej części okna ze zdjęciem pojawia się suwak pozwalający poruszać się pomiędzy kanałami kolorów)
- W Analizie->Set Measurements upewnić się, że zaznaczone jest Mean i Standard Deviaton
- Rysując prostokąt w środku kolejnych filmów wybrać Analizie->Measure lub nacisnąć ctr+M
- Powtórzyć operacje dla pozostałych kanałów kolorów
- Zmienić obraz z 16-bitowego na RGB Image->Type-> RGB Color
- Powtórzyć pomiar (tym razem mierzymy wszystkie kanały jednocześnie)
- Wyeksportować otrzymane wyniki do Excela (i zamienić „.” na „,” przy pomocy ctr+h)
- Wykonać wykres średniej wartości piksela (PV – Pixel Value) od wartości dawki dla kolorowego obrazu oraz dla każdego kanału z osobna.
- Wykonać wykres gęstości optycznej (OD – Optical Density) od dawki wiedząc, że:

$$OD = \log_{10} \frac{I_0}{I} = \log_{10} \frac{PV_0}{PV}$$

- Wykonać wykres gęstości optycznej netto (netOD) od dawki, wiedząc, że jest to różnica między OD przed i po napromienieniu:

$$netOD = OD_{after} - OD_{before} = \log_{10} \frac{PV_0}{PV_{after}} - \log_{10} \frac{PV_0}{PV_{before}} = \log_{10} \frac{PV_{before}}{PV_{after}}$$

$$u(netOD) = \frac{1}{\ln 10} \log_{10} \frac{\sigma_{after}}{PV_{before}}$$

- Do wykresu PV(D) dopasować krzywe typu $y(x) = \frac{1}{a+bx}$ (pomoc: dodatek na końcu skryptu)
- Do wykresu netOD(D) dopasować krzywe typu $y(x) = ax^c + b$ (pomoc: j.w., analogicznie)
- Mając powyższe kalibracje zeskanować film, który pochłonął nieznaną dawkę i powiedzieć, jaka to była dawka. Która z metod jest najlepsza? Który z kanałów uważasz, że daje nam najwięcej informacji?
- Powtórzyć kalibrację dla małych filmów (ale wybierając jeden kanał i jedną metodę). Porównać – czy rozmiar filmu ma jakiegokolwiek znaczenie?
- Zeskanować filmy niejednorodne. Używając Plugins->Tools->Line Profile Tool przyjrzeć się im ilościowo. Włączyć opcję Analizie->Plot Profile i na dole „live”
- (opcjonalnie) wykonać analizę gamma niejednorodnego filmu

3. Część 2 – detektory PADC (CR39)

2.1. Układ pomiarowy

Detektory użyte w ćwiczeniu:

<http://www.tasl.co.uk/plastics.php>

http://www.tasl.co.uk/brochures/TASTRAK_specification_sheetAlphaParticles.pdf

<http://www.tasl.co.uk/brochures/radonBrochure.pdf>

Ekspozycji detektorów dokonano w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej w komorze radonowej. Informacja o parametrach ekspozycji w komorze radonowej i parametrami wytrawiania

Układ z dwóch grantów rektorskich CAMAC'a, mikroskop na USB.

2.2. Zadania

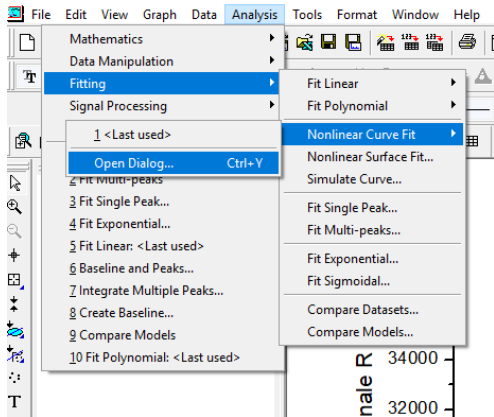
- Dobrać powiększenie i ostrość mikroskopu na USB
- Wyskalować miarkę w programie ImageJ (Analyze->Set Scale) przy użyciu szkiełka mikrometrycznego (KUPIĆ!!)
- zmierzyć średnicę przykładowych otworów
- przeprowadzić analizę cząstek (Analyze->Analyse Particles). W tym celu należy wcześniej przygotować zdjęcie: Image->Adjust->Color Treshold, dobrać parametry tak, aby wybrać interesujące nas okręgi, zapisać je.
- Na podstawie wyników analizy cząstek wykonać histogramy rozkładu średnic, wyznaczyć średnią liczbę otworów na cm^2 . Zdecydować jakie przyjąć progi (treshold) czyli co brać do analizy a co odrzucać
- Wykonać kalibrację na płytkach wzorcowych (na podstawie poprzedniego punktu)
- Odczytać stężenie na jakie była eksponowana nieznana płytka

4. Bibliografia

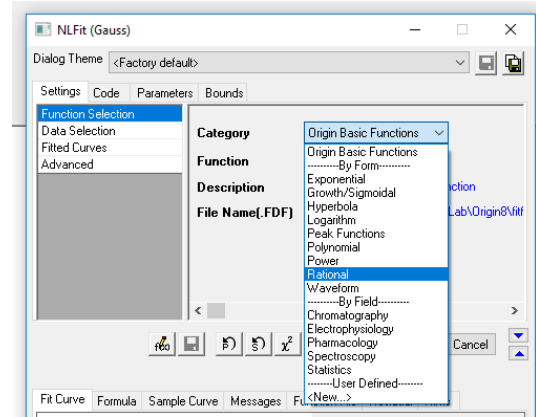
- [1] Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement 3rd
- [2] <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/EquipmentMaterials/radiographicfilm.htm>
- [3] http://www.gafchromic.com/documents/EBT3_Specifications.pdf
- [4] Dosimetric characterization and use of GAFCHROMIC EBT3 film for IMRT dose verification
<https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1120/jacmp.v14i2.4111>
- [5] <https://web.archive.org/web/20120204205614/http://www.ilfordphoto.com/Webfiles/2006214150271441.pdf>
- [6] <https://www.aapm.org/meetings/09SS/documents/30Schreiner-GelDosimetry.pdf>
- [7] http://bubbletech.ca/wp-content/uploads/2014/02/BTI_BUBBLE_General_May720091.pdf
- [8] <http://www.tasl.co.uk/plastics.php>
- [9] http://www.tasl.co.uk/brochures/TASTRAK_specification_sheetAlphaParticles.pdf
- [10] <https://www.aapm.org/meetings/09SS/documents/25Cygler-OSL.pdf>
- [11] <https://dawki.ifj.edu.pl/wia/dozymetria.pdf>
- [12] http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/066/39066524.pdf
- [13] <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>
- [14] Zastosowanie filmów Gafchromic do weryfikacji dawki in vivo w radioterapii śródoperacyjnej IOERT, Dariusz Szafkowski, praca inżynierska

5. Dodatek – dopasowanie funkcji odwrotnej w Originie

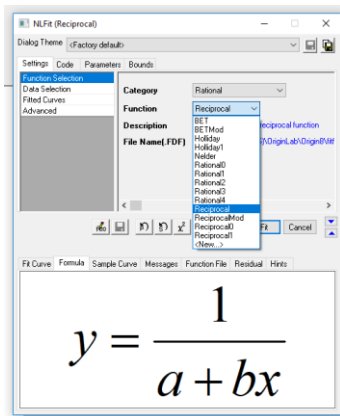
1. Mając wykres X(Y) i wybraną serię pomiarową, wybieramy Analysis->Fitting->Nonlinear Curve Fit->Open Dialog



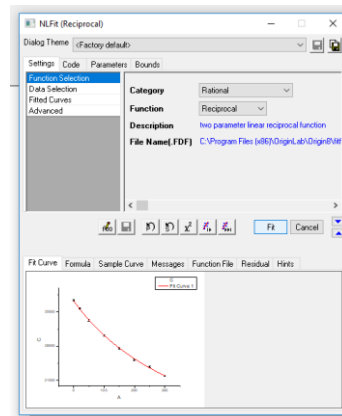
2. W oknie dialogowym z listy rozwijanej Category wybieramy Rational



3. Z listy rozwijanej Function wybieramy Reciprocal



4. Jeśli wszystko się zgadza, klikamy Fit (warto zwrócić uwagę na wygląd residua)



5. Mamy wykres z dopasowaną żądaną krzywą i tabelę z parametrami dopasowania (więcej statystyk dopasowania znajduje się w nowym arkuszu w skoroszycie w którym były pierwotne dane do wykresu)

