



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

FENIKS

Wykłady z pokazami, UJK, cz. VI a

Fizyka współczesna: kwanty i materia

Marek Pajek

Institut Fyzyki

*Uniwersytet Jana Kochanowskiego
w Kielcach*

(pisemna wersja wykładu plenarnego z pokazami z VI semestru zajęć)

Film z wykładu: www.feniks.ujk.edu.pl/index.php/pol/Multimedia/Filmy/UJK



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Cześć A

Wstęp

Celem wykładu *Kwanty i materia* jest przybliżenie słuchaczom podstawowych idei fizyki kwantowej, będącej fundamentalną teorią opisującą strukturę materii. Ze względu na obszerność tematu, jak i ograniczone ramy czasowe wykładu ilustrowanego licznymi demonstracjami, należało dokonać wyboru prezentowanych zagadnień. I tak, w wykładzie szerzej potraktowane są zagadnienia promieniowania i budowy atomów oraz promieniotwórczości. Taki wybór, uzasadniony również względami historycznymi, daje bardzo dobrą możliwość omówienia podstawowych koncepcji fizyki kwantowej: kwantów promieniowania i materii, dualizmu korpuskularno-falowego i kwantowej natury wielkości fizycznych. Przedstawiane pokazy dotyczące natury ciągłego promieniowania termicznego ciał i promieniowania dyskretnego atomów oraz promieniotwórczości α , β i γ wybranych izotopów umożliwiają doświadczalnie zilustrowanie podstawowych idei fizyki kwantowej.

Promieniowanie

Ogień towarzyszył człowiekowi od niepamiętnych czasów, zarówno jako źródło ciepła jak i światła. Jednakowoż wniknięcie w jego naturę przyniósł dopiero wiek XIX, kiedy odkryto, że światło i promieniowanie cieplne to w istocie rzeczy fale elektromagnetyczne, których podstawę zrozumienia daje elektrodynamika sformułowana w drugiej połowie XIX wieku. Zgodnie z tą teorią fale elektromagnetyczne to oscylujące pola elektryczne i magnetyczne, rozchodzące się w próżni z ogromną prędkością światła, wynoszącą około 300 000 km/s, która zgodnie z teorią względności Einsteina jest jedną z fundamentalnych stałych Przyrody. Pomimo, że klasyczna elektrodynamika dawała doskonałe zrozumienie natury fal elektromagnetycznych, zrozumienie dobrze poznanych eksperymentalnie zjawisk promieniowania cieplnego ciał jak i natury liniowej promieniowania atomów napotykało na fundamentalne trudności. Przełom nastąpił dopiero w 1900 roku, kiedy to Max Planck zaproponował, że oddziaływanie promieniowania z materią zachodzi poprzez wymianę określonych porcji energii, które nazwał kwantami, lub ich wielokrotności. Koncepcja ta, której istotą jest założenie kwantowej, czyli ziarnistej, natury energii, materii i, jak się później okazało, wszystkich wielkości fizycznych, stała się fundamentem nowej fizyki - fizyki kwantowej. Sformułowana w latach 20. XX wieku formalna teoria fizyki kwantowej, zwana mechaniką kwantową, stała się fundamentalną metodą opisu materii na poziomie

atomowym, czyli tak zwanego mikroświata. Daje ona głębokie zrozumienie struktury i własności materii, będące głównym punktem zainteresowania fizyki współczesnej. Stąd też tytuł naszego dzisiejszego wykładu - „Kwanty i materia”, będącego wprowadzeniem do fizyki współczesnej.

Promieniowanie atomów

W XIX wieku zapoczątkowane zostały systematyczne badania natury świecenia ciał podgrzanych do wysokiej temperatury, na przykład umieszczonych w ogniu palnika gazowego. Przyjrzyjmy się na wstępie takiemu **płonącemu palnikowi**. W jego ogniu widzimy różne kolory: niebieski, przechodzący w fioletowy i żółty, przechodzący w biały, kolor ognia, a także czerwony kolor nagranych elementów metalowych palnika. Skąd się bierze to światło i czemu odpowiadają te kolory? Intuicyjnie wiemy (i czujemy!) że świecą przedmioty nagrzane do wysokich temperatur. Obserwując świecenie bardzo mocnej żarówki, którą zasilamy coraz większym prądem elektrycznym, obserwujemy, że dla małych prądów **żarówka świeci kolorem czerwonym, który ze wzrostem natężenia prądu przechodzi w kolor żółty, a następnie biały**. Takie proste doświadczenie uzmysławia nam, że barwa światła zależy od temperatury ciała świecącego, w tym wypadku rozgrzanego przepływem prądu elektrycznego włókna żarówki. Aby przekonać się, co odpowiada za te barwy, wykonujemy proste doświadczenie z pryzmatem, dzięki któremu **obserwujemy na ekranie rozszczepienie światła białego żarówki w pryzmacie na kolorowe barwy tęczy**: od czerwieni poprzez kolor żółty, zielony, niebieski, aż po fioletowy. Obserwując piękne barwy tęczy, którą niekiedy obserwujemy na niebie (zawsze robi to duże wrażenie!), zadajemy sobie pytanie: co to są kolory? W świetle tego, co powiedzieliśmy wcześniej, odpowiedź jest prosta: kolory są to w istocie wrażenia towarzyszące falom elektromagnetycznym o różnych długościach fali, które nasze oko umie rejestrować, a nasz mózg interpretować jako różne wrażenia barwne.

Obserwacja ciągłego przechodzenia barw jednej w drugą w tęczy mówi nam, że wszystkie długości fal są w tęczy reprezentowane, począwszy od fal „czerwonych” a skończywszy na falach „niebieskich”. Takie widmo barw (fal) nazywamy w fizyce **widmem ciągłym**. Ale czy tylko fale o kolorach od „czerwonego” do „niebieskiego” emituje rozżarzona żarówka? Otóż nie. Rzecz w tym, że tylko takie fale umie zobaczyć nasze oko, natomiast żarówka emituje fale o długościach zarówno większych niż fale „czerwone”, które nazywamy promieniowaniem podczerwonym, jak i fale o krótszych długościach niż fale „niebieskie”, tj. promieniowanie ultrafioletowe. Dokładniej mówiąc, promieniowanie widzialne odpowiada zakresowi długości fal od ok. 3800 (niebieskie) do ok. 7000 (czerwone) angstromów, będących bardzo małą jednostką długości (10^{-10} metra !), odpowiadającą mniej więcej rozmiarowi pojedynczego atomu. Warto w tym miejscu odnotować, że istnienie atomów materii jest w istocie koncepcją kwantową (atomy są cząstkami materii), zgodną z duchem kwantów energii Plancka.

O istnieniu promieniowania spoza obszaru widzialnego możemy się przekonać **obserwując obraz rejestrowany przez kamerę termowizyjną**. Jest to nowoczesne urządzenie podobne do aparatu fotograficznego, które zamiast światła widzialnego rejestruje promieniowanie podczerwone. Kierując kamerę na salę wykładową widzimy jaśniejsze zarysy siedzących w ławkach postaci na ciemniejszym tle. Kamera termowizyjna łatwo rozróżnia cieplejszego

człowieka (36.6 C°) od zimniejszej sali wykładowej o temperaturze około 22 C° . **Emisję termicznego promieniowania podczerwonego** obserwujemy również kierując kamerę na lekko podgrzany pręt mosiężny. Wygląd podgrzanego pręta obserwowany w zakresie widzialnym (naszymi oczyma) nie uległ zmianie, natomiast pręt podgrzany w obrazie kamery pojawia się jako bardzo jasny obraz odpowiadający temperaturze już około 100 C° . To, co widzimy w kamerze, to obraz rozkładu promieniowania termicznego emitowanego z danego obiektu. Takie kamery są bardzo praktyczne, pozwalają na przykład poprzez zdjęcia termowizyjne domu stwierdzić, którędy ucieka najwięcej ciepła.

Zrozumienie natury świecenia podgrzanej materii dała nam elektrodynamika, według której świecenie to emisja fal elektromagnetycznych z wzbudzonych atomów. Atomy, jak wiemy, zbudowane są z ujemnie naładowanych elektronów krążących wokół dodatnio naładowanych jąder atomowych. Trzeba pamiętać, że jest to tylko przybliżony obraz rzeczywistości, ale wystarczający dla naszych potrzeb! Zgodnie z elektrodynamiką klasyczną, krążące ładunki (elektrony) poruszają się ruchem przyspieszonym (ruch po okręgu jest przyspieszony!), emitując promieniowanie elektromagnetyczne. Tak jakościowo rozumiemy zjawisko świecenia, ale możemy się bardziej szczegółowo zapytać, ile energii emituje ciało mające temperaturę T w postaci fal elektromagnetycznych o określonej długości. Dokładne eksperymenty pokazały, że ciała podgrzane emitują fale elektromagnetyczne o różnych długościach, od bardzo krótkich do bardzo długich, z maksimum energii emitowanej dla fal których długość $\lambda = \text{const}/T$, tj. zależy odwrotnie proporcjonalnie od temperatury ciała, co jest treścią tzw. prawa Wiena. Taki rozkład widma promieniowania ciała będącego w równowadze termodynamicznej z materią w temperaturze T , zwany też **rozkładem promieniowania ciała doskonale czarnego** lub rozkładem równowagowym, sprawił wiele kłopotów fizykom w XIX wieku, gdyż nie umiano go wyjaśnić na gruncie fizyki klasycznej. Co więcej, podejmowane próby rozwiązania tego problemu prowadziły do jaskrawych paradoksów, takich, jak tzw. „katastrofa ultrafioletowa”, polegająca w istocie na pokazaniu, że zgodnie z fizyką klasyczną ciało emitowałoby nieskończenie wiele energii w zakresie bardzo krótkich fal (stąd w nazwie ultrafiolet). Rewolucyjne rozwiązanie tego problemu zaproponował Planck, postulując, że wymiana energii między promieniowaniem i materią następuje w postaci porcji zwanych **kwantami**. Postulat Plancka umożliwił wyjaśnienie natury zagadkowego rozkładu promieniowania równowagowego, nazwanego obecnie rozkładem Plancka, oraz uzasadnił prawo Wiena. W ten sposób zrozumiany został problem rozkładu ciągłego promieniowania termicznego ciała.

Jak się wkrótce okazało, idea kwantów Plancka umożliwiła również wyjaśnienie natury widm liniowych charakterystycznego promieniowania widzialnego emitowanego przez pierwiastki. **Widma liniowe** promieniowania widzialnego pierwiastków badano systematycznie wzbudzając je do świecenia w płomieniu palnika gazowego. Promieniowanie to mierzono przy pomocy spektroskopu optycznego, rozszczepiającego w pryzmacie widmo badanego promieniowania i w ten sposób wyodrębniającego składowe o różnych długościach fal. Na wykładzie demonstrujemy **widma liniowe promieniowania wzbudzanego w rurkach wypełnionych pierwiastków He, Zn, Cd i Hg**. W tym przypadku wzbudzenie następuje wyniku przepływu prądu elektrycznego. W przeciwieństwie do ciągłego widma promieniowania cieplnego ciał, widma badanych pierwiastków są liniowe (dyskretne), to znaczy składają się z szeregu pojedynczych kolorowych linii o wyraźnych barwach z zakresu widzialnego, od czerwieni do fioletu. Układ tych linii jest charakterystyczny dla danego

pierwiastka, co daje możliwość identyfikacji pierwiastków poprzez obserwację emitowanego promieniowania! Metoda ta stanowi podstawę tzw. spektroskopii atomowej, która znalazła szerokie zastosowanie, między innymi, w pasjonujących badaniach struktury Wszechświata.

Jeszcze w XIX wieku niektórzy uczeni twierdzili, że człowiek nigdy nie pozna budowy Wszechświata, gdyż po prostu nie będzie w stanie podróżować w odległe rejony kosmosu w celu jego szczegółowego zbadania. Zrozumienie natury promieniowania atomów szybko obaliło ten pesymistyczny pogląd. Okazało się, że nie trzeba podróżować w kosmosie aby badać Wszechświat – wystarczy obserwować na Ziemi promieniowanie dochodzące do nas z Wszechświata! I tak, badając rozkład widma ciągłego promieniowania termicznego Słońca, wyznaczono temperaturę jego powierzchni (prawo Wiena), a badając widma liniowe promieniowania docierającego do nas z gwiazd stwierdzono, że są one zbudowane z takich samych pierwiastków, jakie znamy na Ziemi. Co więcej, z czasem zauważono, że widma gwiazd odległych galaktyk są przesunięte nieco w kierunku fal dłuższych, tj. ku czerwieni, i to tym więcej, im jest to bardziej odległa galaktyka. Obserwowany efekt przesunięcia fal ku czerwieni (prawo Hubble'a ucieczki galaktyk) wytłumaczony został jako rezultat oddalania się gwiazd i znanego efektu Dopplera, polegającego na zmianie częstości fal emitowanych ze źródła poruszającego się względem obserwatora. Dla fal akustycznych jest to dobrze nam znany i łatwy do zaobserwowania efekt zwiększenia przy zbliżaniu i zmniejszenia przy oddalaniu się częstości dźwięku pojazdu słyszanego przez obserwatora stojącego przy drodze. Obserwowane we Wszechświecie przesunięcie linii widmowych ku czerwieni, proporcjonalne do odległości źródła, pozwala stwierdzić, że bardzo dawno temu materia musiała być skupiona na bardzo małym obszarze, praktycznie w jednym punkcie, gdzie nastąpił Wielki Wybuch będący początkiem Wszechświata. Nasz Wszechświat jest od tamtej pory w stanie ustawicznego rozszerzania się. Dzięki teoriom kosmologicznym wiadomo, że Wielki Wybuch nastąpił kilkanaście miliardów lat temu (dokładniej ok. 13,7 mld lat), a więc taki jest wiek Wszechświata. Tę fundamentalną wiedzę zyskaliśmy badając dochodzące do nas promieniowanie!

Obserwowane na wykładzie widma liniowe promieniowania atomów odegrały kluczową rolę w zrozumieniu budowy wewnętrznej atomów. W tzw. **planetarnym modelu atomu** (elektrony krążą w nim wokół jądra tak, jak planety krążą wokół Słońca) Niels Bohr założył, że elektrony nie promieniują, gdy znajdują się na wybranych orbitach (tzw. stacjonarnych), a emisja promieniowania następuje jedynie w momencie przejścia elektronu z orbity wyższej (dalszej) na niższą (bliższą jądra). Ale skąd wiemy, które orbity są stacjonarne, a dokładniej, jaka jest energia elektronów w tych stanach? Odpowiedź na to pytanie znajdujemy obserwując (mierząc) kolorowe widma liniowe pierwiastków! W istocie nieliczne linie emisyjne mówią nam, że atom może się znajdować tylko w jednym z dyskretnych stanów energetycznych, a rezultatem przejścia elektronu z jednego do drugiego stanu jest emisja kwantu promieniowania o ściśle określonej energii. Tak więc idea kwantów promieniowania pozwoliła nam zrozumieć widma liniowe pierwiastków i stacjonarne orbity elektronów. Taki obraz atomów można zawrzeć w eleganckiej formie matematycznej odwołującej się do kwantowej natury wielkości fizycznych. Otóż możemy powiedzieć za Bohrem, że atom jest tak zbudowany, aby moment pędu elektronu (iloczyn pędu mv i promienia orbity r) musi być wielokrotnością stałej tzw. Plancka h , a więc $mvr = n\hbar$. W ten sposób pokazaliśmy, że idea kwantów Plancka dotyczy wszystkich wielkości fizycznych, a stała Plancka h jawi się jako fundamentalna stała Przyrody. Całkowicie poprawny opis atomów (model Bohra ma obecnie znaczenie historyczne i dydaktyczne) uzyskano na gruncie **mechaniki kwantowej**.

Fale czy cząstki ?

Przyjęcie kwantowej natury Przyrody wyjaśniło wiele problemów, ale postawiło też nowe pytania. W szczególności, jaka jest natura światła? Czy światło jest falą, o czym się przekonujemy obserwując **zjawiska dyfrakcji i interferencji światła**, czy też jest strumieniem cząstek-kwantów, zgodnie z koncepcją kwantową? Okazuje się, że oba stwierdzenia są prawdziwe, co stanowi istotę fizyki kwantowej, nowej teorii mikroświata dalekiej od naszych intuicji zbudowanych na obserwacji makroświata dającego się opisać fizyką klasyczną. W jaki sposób możemy zobaczyć zarówno falowy jak i kwantowy obraz światła? Jak wiemy, o naturze falowej świadczą zjawiska dyfrakcji (czyli zmiany kierunku rozchodzenia się w wyniku rozpraszania na przeszkodach) oraz interferencji (czyli nakładania się lub dodawania) fal świetlnych. Oba zjawiska pokazujemy **demonstrując zasadę działania interferometru Michelsona**, w którym laserowa wiązka światła czerwonego ulega najpierw podzieleniu na dwie wiązki: odbitą i przepuszczoną przez płytkę półprzepuszczalną ustawioną pod kątem 45° do kierunku padającej wiązki, po czym obie wiązki po odbiciu od zwierciadeł ustawionych prostopadle do ich kierunków zwracają swój bieg ponownie padając na płytkę półprzepuszczalną. Tu wiązka pierwotnie przepuszczona ulega odbiciu, a wiązka pierwotnie odbita jest przepuszczona tak, że obie wiązki, mające różne fazy spowodowane różnicą przebytych dróg optycznych, spotykają się na ekranie, gdzie obserwujemy piękny układ pierścieni interferencyjnych. Eksperymenty interferencyjne są bardzo precyzyjnymi pomiarami, na przykład położenia lub długości fali, gdyż niewielka zmiana faz obu promieni wywołana przesunięciami rzędu długości fali, a więc tysięcy angstromów (czyli 10^{-7} metra), powoduje drastyczną zmianę obrazu interferencyjnego. Przekonujemy się o tym obserwując radykalnie zmieniający się obraz pierścieni interferencyjnych wywołując nieznaczne drgania (np. chodząc) wokół interferometru.

Dyfrakcję światła demonstrujemy wstawiając w wiązkę laserowego światła czerwonego **siatkę dyfrakcyjną** (układ gęstych równoległych rys). Na ekranie umieszczonym w pewnej odległości za siatką obserwujemy wtedy, oprócz świecącej plamki pierwotnej, dwie dodatkowe plamki, położone symetrycznie względem osi wiązki światła po jej lewej i prawej stronie. Plamki te świadczą o dyfrakcji wiązki pierwotnej i o interferencji fal rozproszonych. Warunek maksimum interferencyjnego wiąże kąt odchylenia plamek, stałą siatki (odległość między rysami) i długość fali, co pozwala w prosty sposób wyznaczyć jej wartość. Tą metodą zademonstrowaliśmy dyfrakcję i interferencję.

Można to również zrobić w sposób bardziej spektakularny **demonstrując hologram**. Oświetlając zarejestrowany na szklanej płytce obraz holograficzny laserowym światłem czerwonym stwierdzamy, że patrząc z drugiej strony płytki widzimy trójwymiarowy obraz dwóch kogucików i wieży. O trójwymiarowym charakterze obrazu przekonujemy się obserwując koguciki z różnych kierunków – wtedy widzimy, że się wzajemnie zbliżają lub oddalają i zasłaniają dach wieży, co jest cechą rozpoznawczą obrazów przestrzennych. Co to jest hologram? Jest to w istocie zdjęcie na kliszy obrazu interferencyjnego dwóch spójnych wiązek światła: jednej rozproszonej (w wyniku dyfrakcji) na fotografowanym przedmiocie i biegnącej w kierunku ekranu oraz drugiej, padającej bezpośrednio na ekran (zwanej wiązką odniesienia), gdzie obie wiązki interferują. Hologram zawiera zatem całą informację o fotografowanym przedmiocie w postaci zapisanego obrazu interferencyjnego. Oświetlenie obrazu interferencyjnego przedmiotu (hologramu) wiązką odniesienia powoduje odtworzenie

trójwymiarowego obrazu tego przedmiotu, gdy obserwujemy hologram z przeciwnej strony. Jest to więc rodzaj „odczytywania” hologramu wiązką odniesienia w procesie odwrotnym do jego wytwarzania. Obraz holograficzny niezbicie potwierdza zjawiska dyfrakcji i interferencji światła, a więc jego **naturę falową**.

A jak możemy się przekonać, że światło jednocześnie zachowuje się jak strumień cząstek-kwantów? Pokazał to Albert Einstein, który wyjaśnił z pomocą kwantów wcześniej obserwowany tzw. **efekt fotoelektryczny zewnętrzny**, polegający na wybijaniu elektronów z metalu wiązką światła. Efekt fotoelektryczny demonstrujemy pokazując, że ujemnie naładowana płytką metalowa wykonana z cynku, która jest przymocowana do elektroskopu wskazującego jej naładowanie poprzez wychylenie wskazówki, ulega rozładowaniu w wyniku oświetlenia jej lampą kwarcową. Traktując światło jako falę elektromagnetyczną, a więc oscylujące pole elektryczne, można próbować wyjaśnić efekt fotoelektryczny jako rezultat wrywania elektronów z metalu polem elektrycznym fali. W takim podejściu mamy jednak problem: energia wybijanych elektronów powinna bowiem zależeć od wielkości pola elektrycznego, a więc i od natężenia padającego światła, co nie jest obserwowane eksperymentalnie. Doświadczenia dotyczące efektu fotoelektrycznego pokazują coś przeciwnego, mianowicie, że ilość wybijanych elektronów (a nie ich energia) zależy od natężenia światła. Einstein wyjaśnił efekt fotoelektryczny zakładając, że światło to strumień cząstek-kwantów, które zderzając się z elektronami przekazują im swoją energię. Jeśli przekracza ona energię wiązania elektronów w metalu (tzw. **pracę wyjścia**), to elektron zostaje wybity z metalu. Wyjaśnienie to pokazuje, że efekt fotoelektryczny ma charakter progowy, tzn. że energia kwantu światła musi przekraczać pracę wyjścia, w przeciwnym przypadku proces ten nie zachodzi. W demonstracji na wykładzie pokazujemy właśnie ten aspekt. Jeśli przed lampą kwarcową umieścimy grubą szybę, która nie przepuszcza promieniowania ultrafioletowego o wysokiej energii kwantów (przekonamy się o tym później), nie obserwujemy rozładowania elektroskopu, a więc efektu fotoelektrycznego. Po usunięciu szyby elektroskop ponownie szybko się rozładowuje. A więc Einstein miał rację: **światło zachowuje się jak strumień cząstek o energii $h\nu$** , podobnie jak w postulacie Plancka, gdzie ν oznacza częstotliwość światła.

Pozostaje nam do wyjaśnienia istotny fakt: skąd wiemy że kwanty światła ultrafioletowego czy niebieskiego mają większą energię niż kwanty, na przykład, światła czerwonego? Przekonujemy się o tym w prostej demonstracji, w której przez szeregowo połączone **diody świecące różnymi kolorami** przepływa prąd elektryczny o wzrastającym natężeniu. Aby dioda taka zaświeciła się trzeba ją wzbudzić, dostarczając energię proporcjonalną do natężenia prądu elektrycznego. Zwiększając natężenie prądu w obwodzie obserwujemy że najpierw zaczyna świecić dioda „czerwona”, potem „zielona”, a na końcu „niebieska”. Oznacza to, że kwanty światła czerwonego mają najmniejszą energię, zielonego większą a niebieskiego największą.

Kwanty światła nazywane są fotonami. Zapamiętajmy zatem, że energia fotonu, zgodnie z postulatem Plancka, wynosi $E=h\nu$, a odpowiadająca jej długość fali $\lambda=c/\nu$ jest odwrotnie proporcjonalna do energii fotonu. Tak więc fotony niebieskie mają krótszą długość fali niż fotony czerwone.

Podsumujmy nasze demonstracje: pokazaliśmy, że światło zachowuje się zarówno jak fala jak i strumień cząstek. Czym jest więc w istocie światło? Zgodnie z fizyką kwantową jest jednocześnie i falą, i cząstką, co nazywamy **dualizmem korpuskularno-falowym**, będącym

jedną z podstawowych koncepcji nowej teorii, **mechaniki kwantowej**, sformułowanej na początku XX wieku. Tak więc musimy pogodzić się z faktem, że kwantowa teoria mikroświata jest dla nas na pierwszy rzut oka „dziwna”, nieintuicyjna, ale po prostu taka jest Przyroda. Więcej jeszcze bardziej zaskakujących „paradoksów” poznają Ci, którzy będą studiować mechanikę kwantową w szczegółach, studiując w przyszłości fizykę na uniwersytecie!

Wykaz pokazów

Część A – promieniowanie i budowa atomów

- 1) kolorowy płomień palnika gazowego
- 2) zmiana barwy świecącej żarówki
- 3) obserwacja promieniowania cieplnego kamerą termowizyjną
- 4) rozszczepienie światła białego przez pryzmat na ciągłe barwy tęczy
- 5) obserwacja widm liniowych pierwiastków (He, Zn, Cd, Hg) spektroskopem optycznym
- 6) obserwacja pierścieni interferencyjnych w interferometrze Michelsona
- 7) pomiar długości fali światła czerwonego przy pomocy siatki dyfrakcyjnej
- 8) obserwacja 3-wymiarowego obrazu holograficznego
- 9) demonstracja efektu fotoelektrycznego poprzez rozładowanie ujemnie naładowanej płytki Zn w wyniku naświetlania strumieniem fotonów
- 10) pokaz zależności energii fotonów od barwy światła (kolorowe diody)



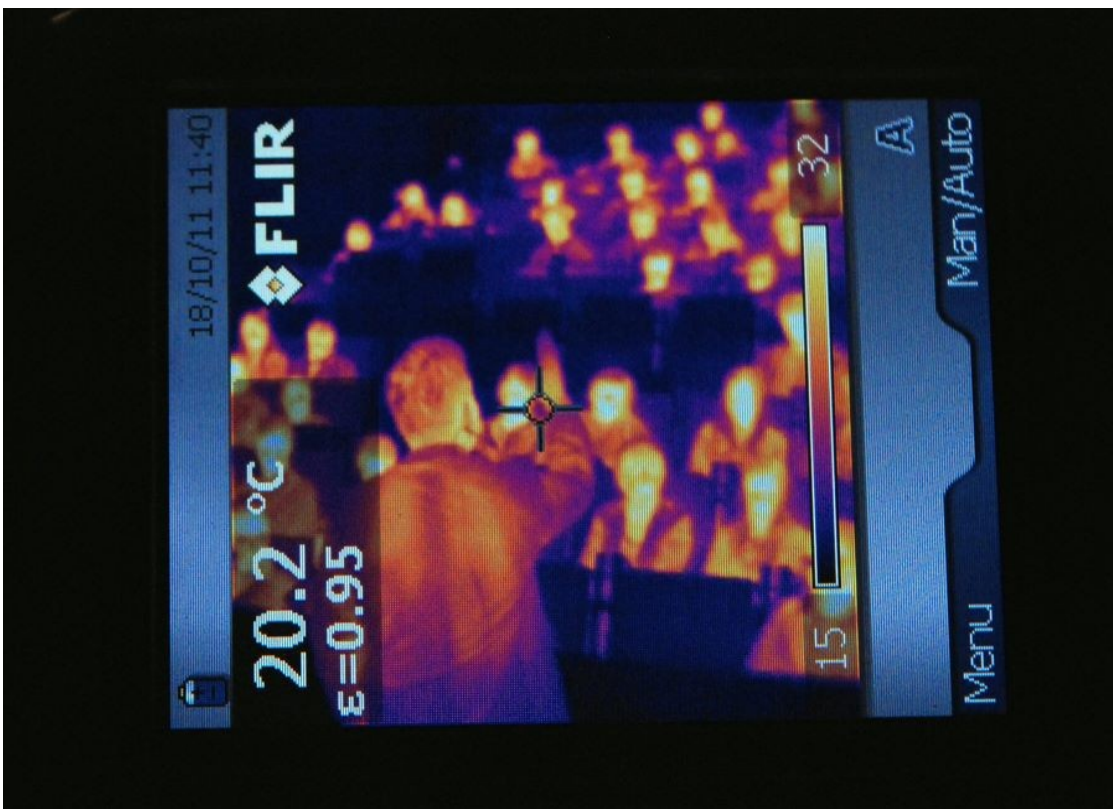
Dziś tematem wykładu będą kwanty i materia



Czy rozumiemy kolory ognia płonącego palnika?



A co widzi kamera termowizyjna?



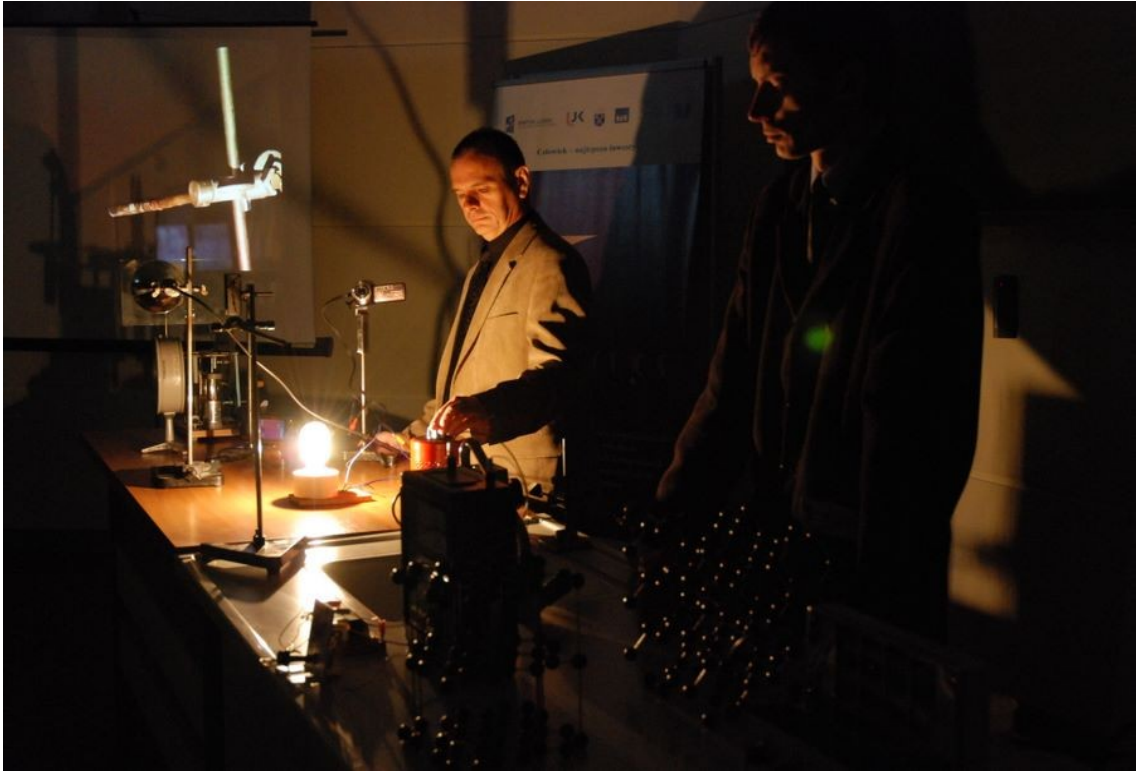
Tak wygląda sala wykładowa w podczerwieni – obraz z kamery termowizyjnej



Kamerą może zobaczyć więcej



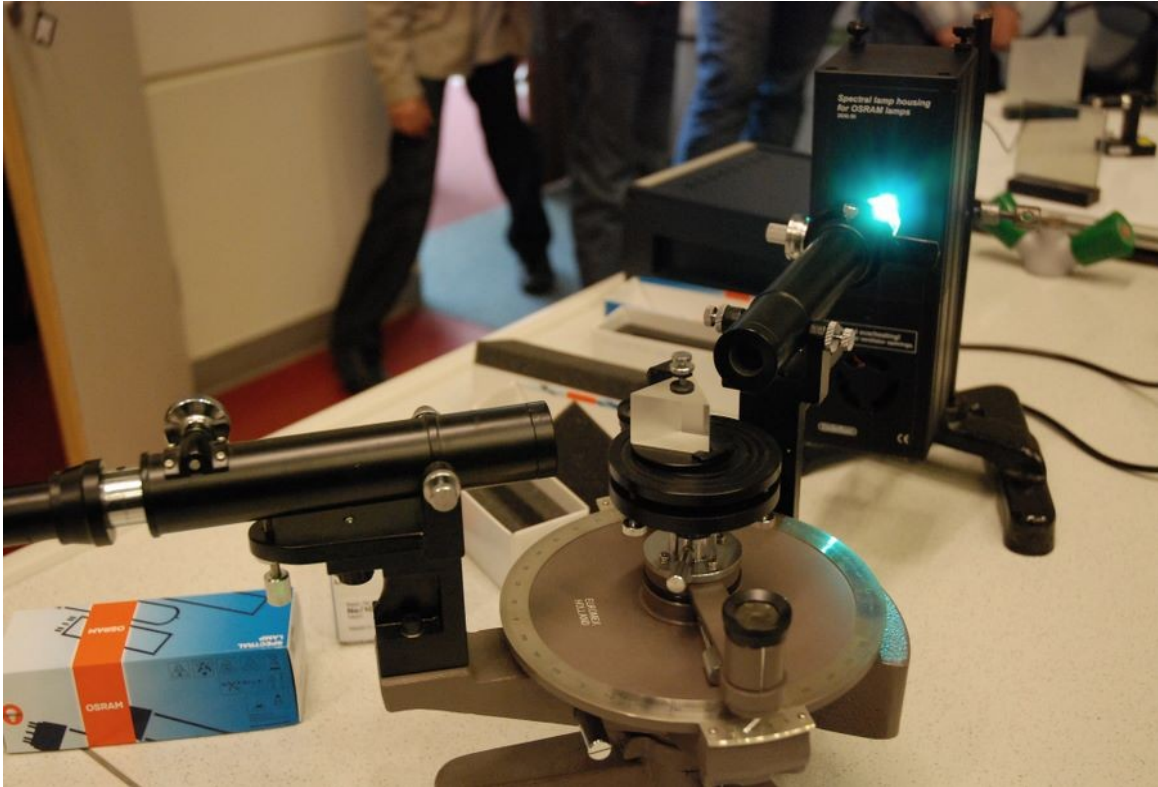
Tak wygląda w podczerwieni podgrzany pręt mosiężny



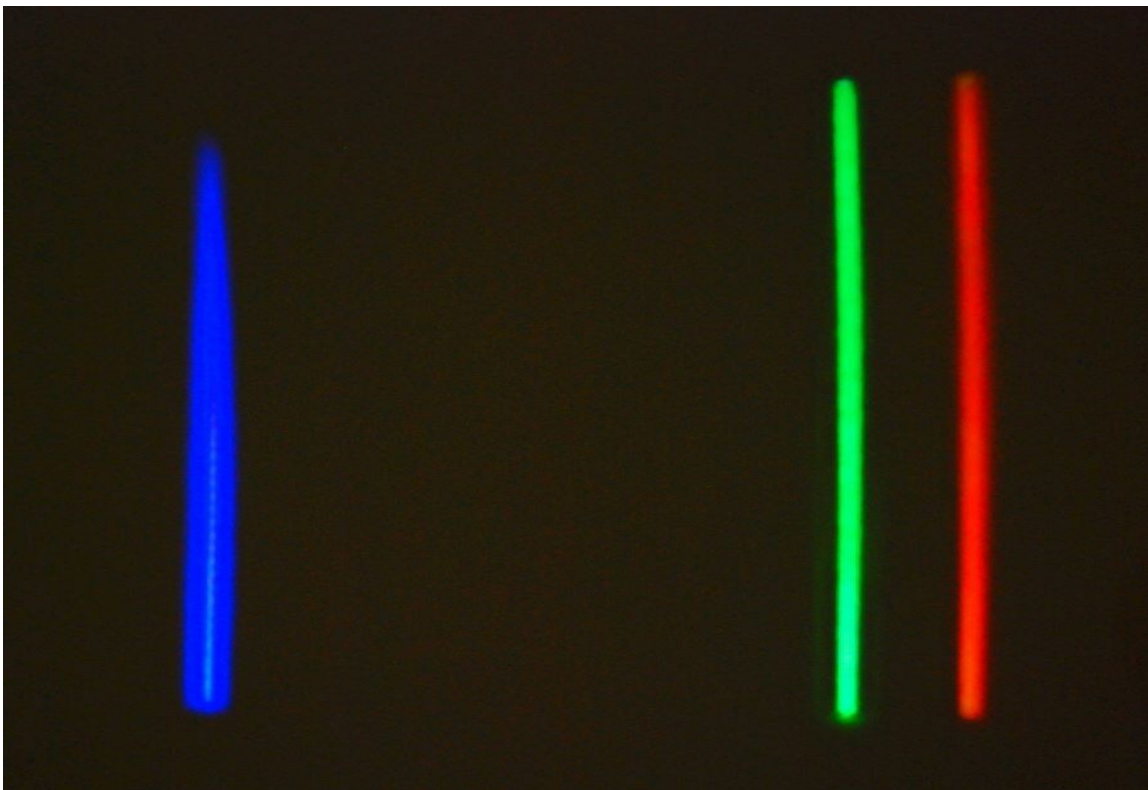
Kolor światła żarówki zależy od temperatury jej rozgrzanego włókna



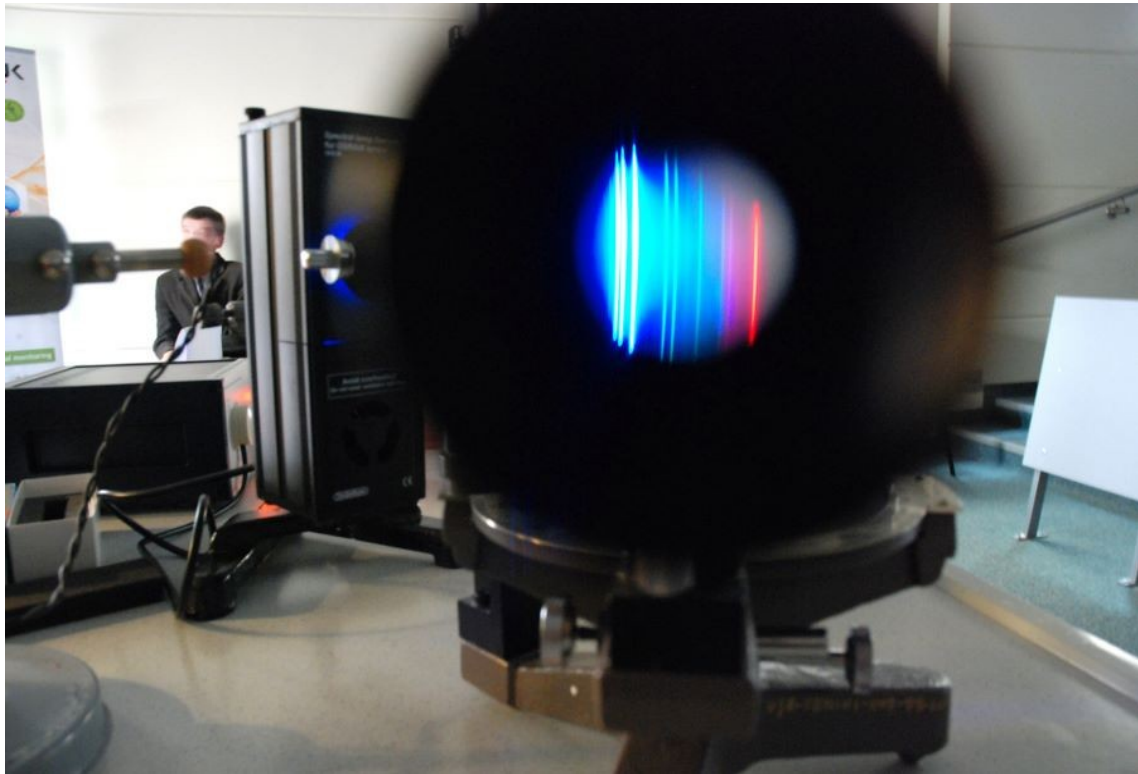
Białe światło żarówki rozszczepione w pryzmacie na kolory znane nam z tęczy



Oto spektroskop wyposażony w pryzmat służący do badania widm optycznych



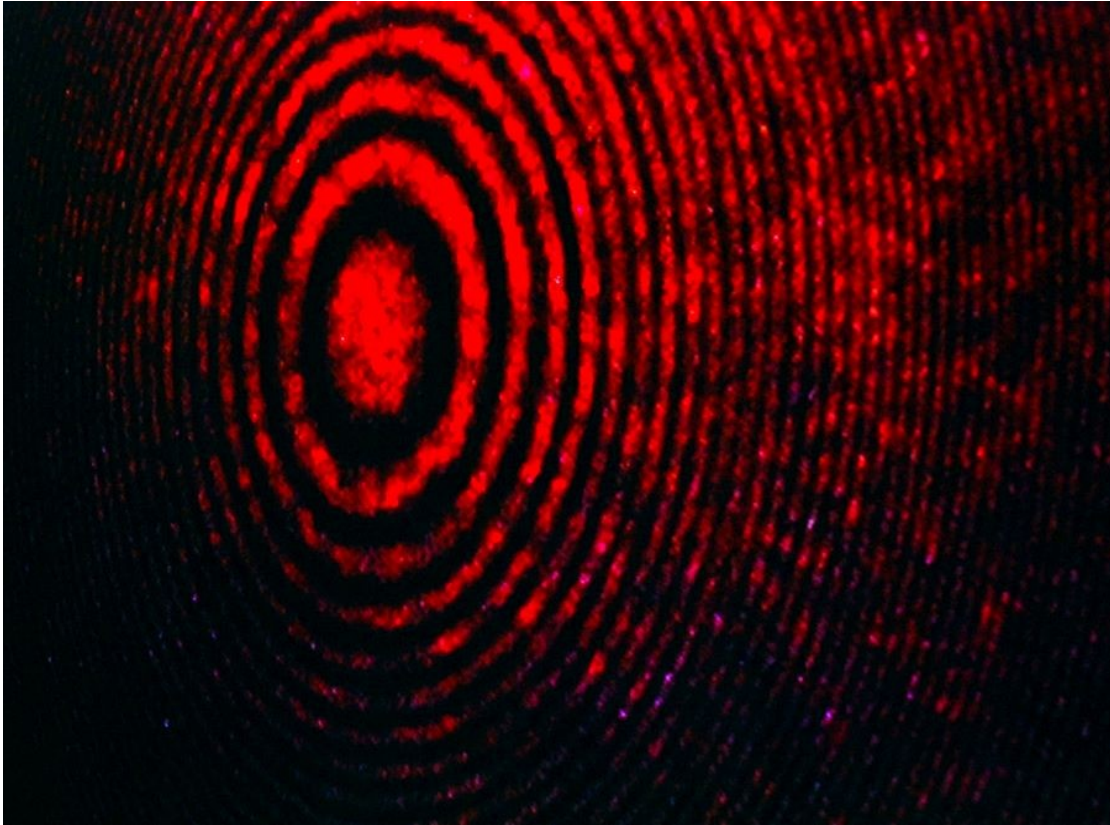
Obserwowane liniowe widmo emisyjne kadmu



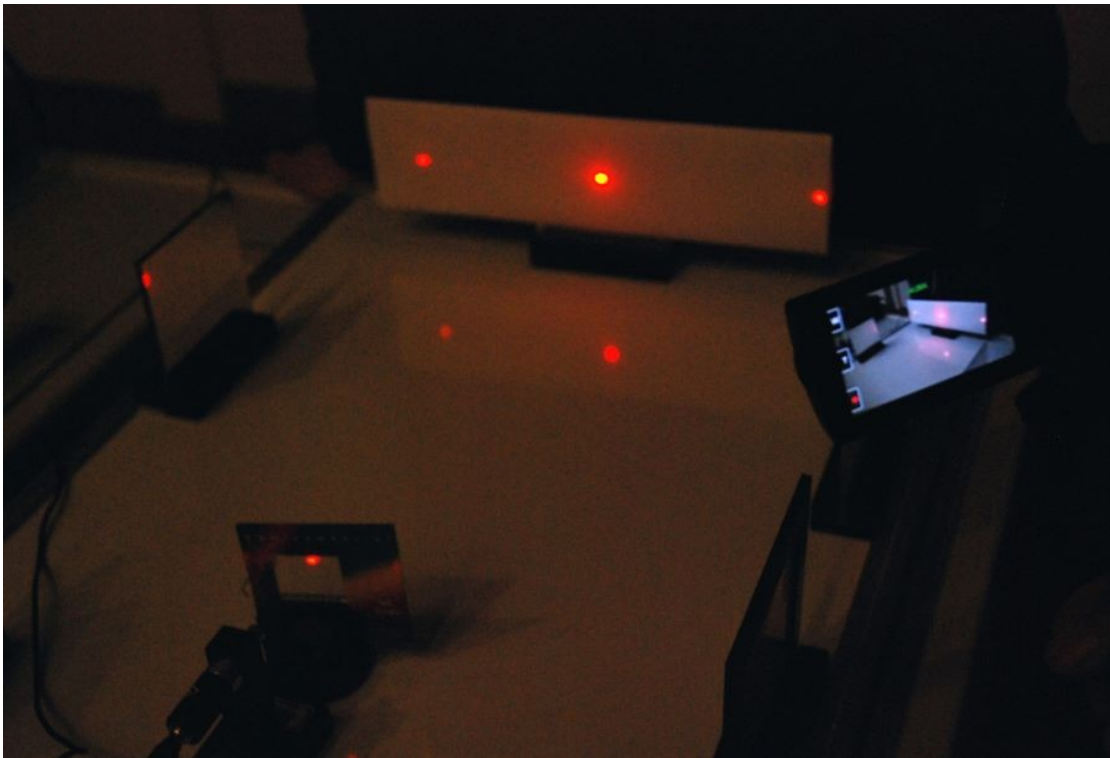
Podglądamy widmo emisyjne rtęci



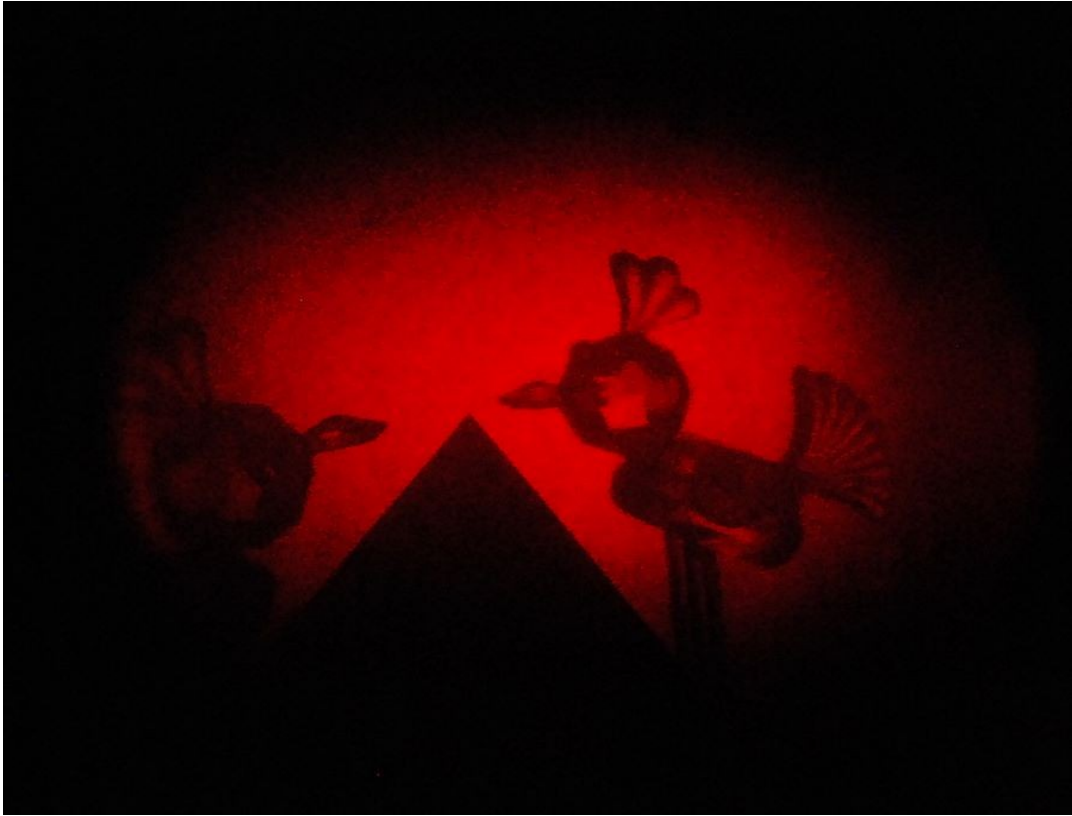
W przerwie obserwacja widm emisyjnych pierwiastków



Pierścienie interferencyjne zaobserwowane w interferometrze Michelsona



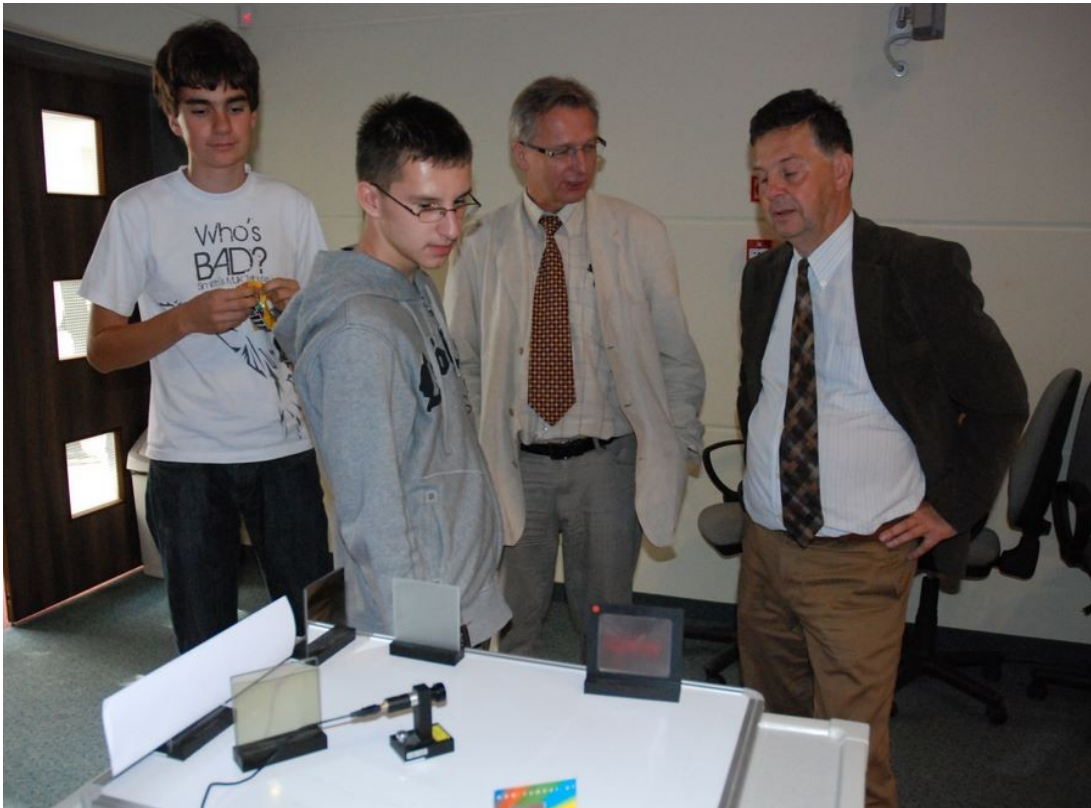
Posługując się siatką dyfrakcyjną można precyzyjnie wyznaczyć długość fali



Oto trójwymiarowy oraz holograficzny – położenie kogucików zależy od kąta obserwacji



Oglądanie hologramu – gdzie są te koguciki?



Hologram trzeba dokładnie przedyskutować...