



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Paweł Kogut

**Projekt eFizyka – Multimedialne środowisko nauczania
fizyki dla szkół ponad gimnazjalnych**

Wirtualne Laboratorium Fizyki

Ćwiczenie:

„Efekt Fotoelektryczny”

(Instrukcja obsługi)

*Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach funduszu
społecznego POKL, priorytet III, działanie 3.3*

Warszawa 2014

Spis treści

| | |
|---|----------|
| 1. Cel Ćwiczenia..... | 3 |
| 2. Efekt Fotoelektryczny – teoria w zarysie | 3 |
| 3. Wirtualne Ćwiczenie | 7 |
| 3.1. Panel użytkownika..... | 7 |
| 3.2. Przygotowanie aparatury do pomiarów | 9 |
| 3.3. Wykonanie ćwiczenia..... | 11 |
| 3.3.1. Wyznaczenie Stałej Plancka..... | 12 |
| 3.3.2. Badanie zależności natężenia prądu fotokomórki od natężenia światła..... | 13 |
| 3.3.3. Badanie zależności natężenia prądu fotokomórki od napięcia..... | 14 |
| 3.4. Analiza danych i generowanie sprawozdania..... | 15 |

1. Cel Ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie zjawiska fotoelektrycznego przy wykorzystaniu fotokomórki. W ćwiczeniu tym należy wyznaczyć wartość stałej Plancka oraz zbadać zachowanie i działanie fotokomórki.

2. Efekt Fotoelektryczny – teoria w zarysie

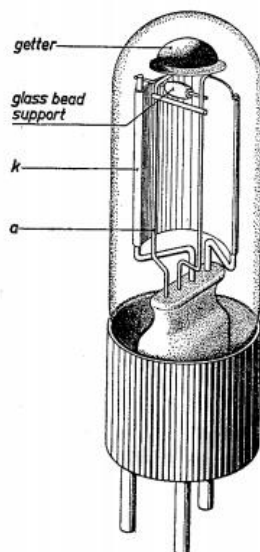
Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne – efekt oddziaływania fal elektromagnetycznych z materią, w którym dochodzi do uwalniania elektronów z substancji wystawionej na działania promieniowania elektromagnetycznego. Efekt fotoelektryczny został po raz pierwszy w 1887r. przez H.G.Hertz'a, i 1899 r. przez P.Leonard'a. Zauważyli oni, że pod wpływem promieniowania świetlnego dochodzi do emisji elektronów z powierzchni metali, przy czym liczba emitowanych elektronów rosła wraz z natężeniem światła. Zjawisko to można wytłumaczyć na bazie korpuskularno-falowej natury światła (fal elektromagnetycznych). W tym przedstawieniu światło jest zarówno falą jak i cząsteczką zwaną fotonem. Foton jako cząsteczka może przekazywać pęd i energię innym cząsteczkom w trakcie ich wzajemnego zderzenia, przy czym proces ten podlega regułom mechaniki kwantowej. Einstein udowodnił na podstawie opisu kwantowego zjawiska fotoelektrycznego, że skwantowana energia fotonów jest równa sumie energii kinetycznej wybitego elektronu i jego pracy wyjścia z powłoki metalu,

$$E_f = h\nu \rightarrow h\nu = W + E_k \quad (1)$$

gdzie E_f – energia fotonu, h – stała Plancka, ν – częstotliwość promieniowania, W – praca wyjścia, E_k – energia kinetyczna elektronu. Praca wyjścia jest to najmniejsza wartość energii, którą należy przekazać elektronowi z powłoki walencyjnej, aby stał się elektronem swobodnym. Wzór (1) jest nazywany w literaturze jako wzór „Einsteina”.

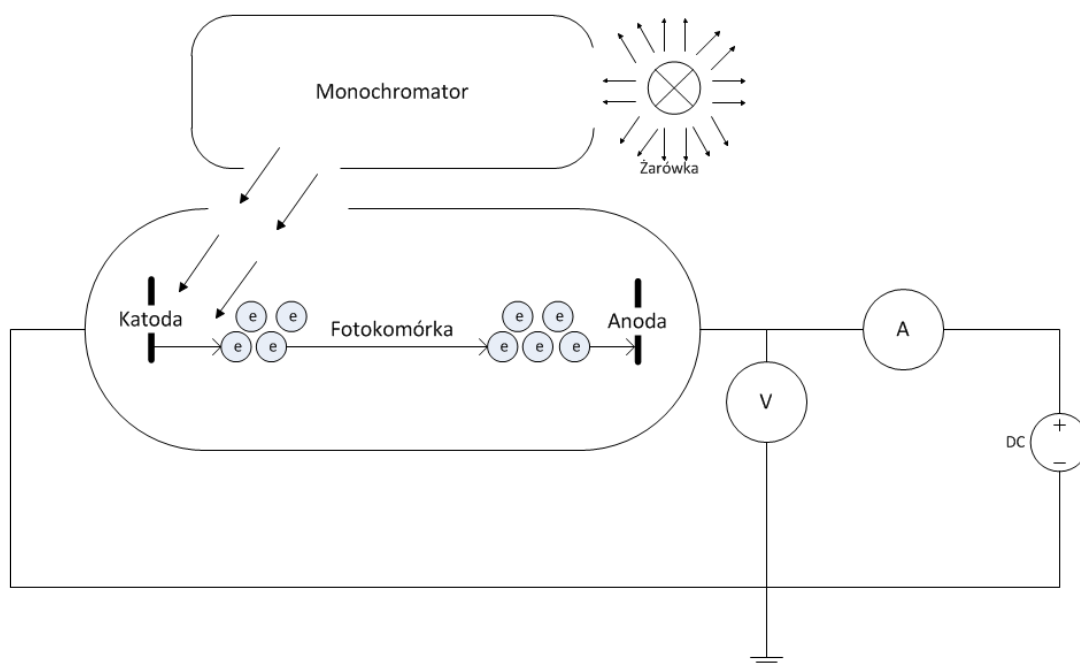
Jedną z najprostszych metod badania zjawiska opiera się na wykorzystaniu fotokomórki. Fotokomórka jest to lampa próżniowa, która ma dwie elektrody, anodę i katodę. Katodą jest zwykle warstwa metalu, naparowana na wewnętrzną stronę szklanej bańki próżniowej, natomiast anodę stanowi pręt metalowy znajdujący się wewnątrz lampy. Na rys. 1 przedstawiono przykład fotokomórki.

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



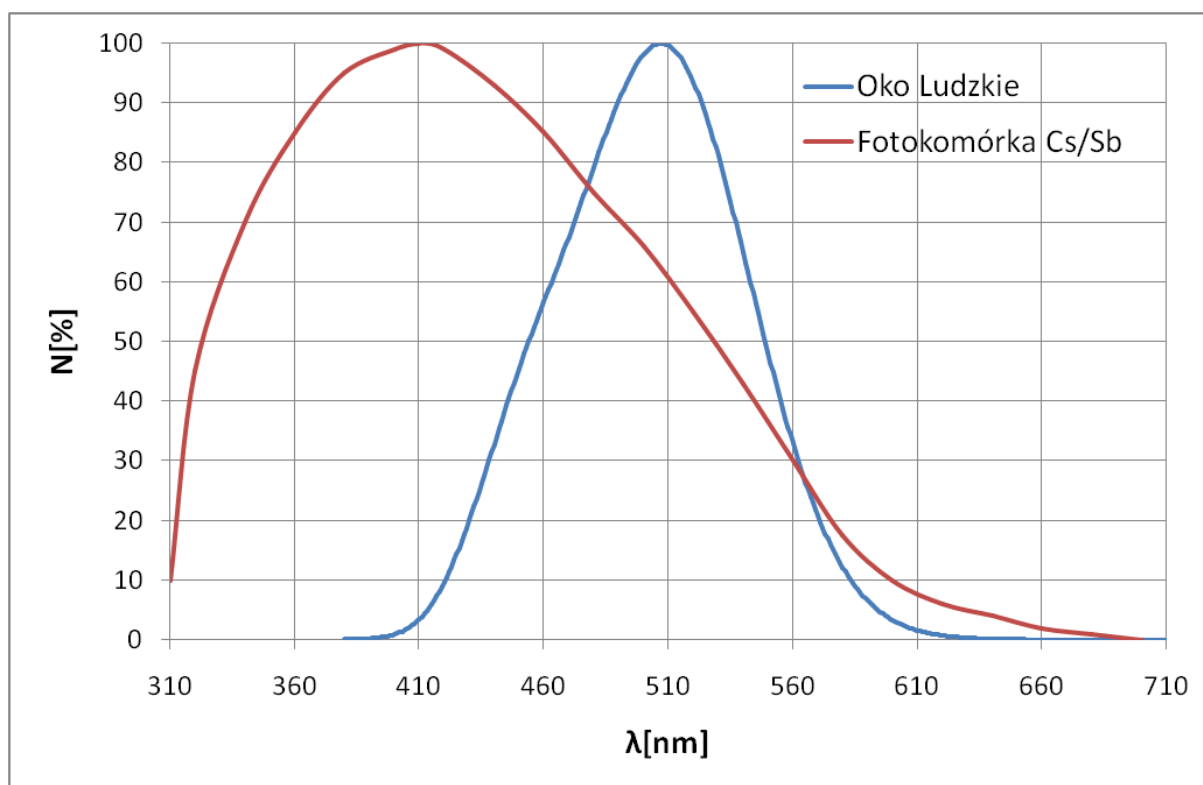
Rys. 1 Przykład budowy fotokomórki

Fotokomórka jest urządzeniem, które przewodzi prąd pod wpływem oświetlenia światłem widzialnym. Układ pomiarowy do badania efektu fotoelektrycznego oraz badania działania fotokomórki przedstawia rys. 2.



Rys. 2 Układ pomiarowy do badania efektu fotoelektrycznego

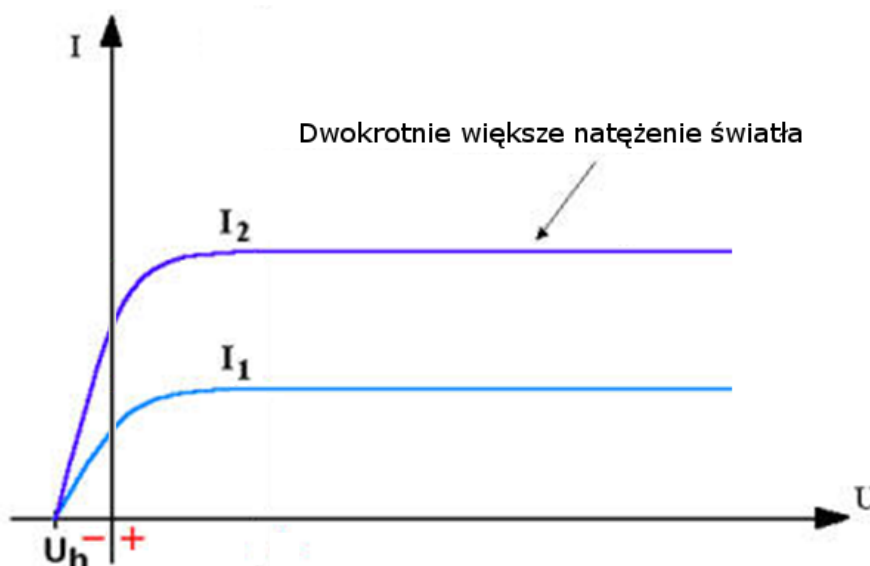
Układ pomiarowy składa się z źródła światła, monochromatora, fotokomórki, zasilacza napięcia stałego oraz voltomierza i amperomierza. Źródło światła emitowanego z żarówki oświetleniowej bądź halogenowej jest kierowane i skupiane w monochromatorze, którego zadaniem jest przepuszczanie wiązki światła o konkretnej długości fali z widma światła widzialnego. Zastosowanie monochromatora ma na celu zbadania odpowiedzi fotokomórki na różne długości fali, oraz na ustalenie konkretnej długości fali. Fotokomórka tak jak większość urządzeń do rejestracji światła widzialnego (w tym oko ludzkie) ma różną czułość na wybrane długości fal. Na rys. 3 przedstawiono przykładowy schemat, wykresów czułości fotokomórki.



Rys. 3 Spektrum czułości fotokomórki oraz oka ludzkiego

N podawane w procentach wyraża czułość fotokomórki, przy czym 100% oznacza maksymalną wartość. Jak wynika z wykresu prąd generowany przez fotokomórkę przy tym samym natężeniu światła będzie największy dla fal o długości 410nm. Zakres czułości fotokomórki mieści się w zakresie bliskiego ultrafioletu do bliskiej podczerwieni. Wiązka światła z monochromatora jest następnie skierowana na katodę fotokomórki. Elektrony wybite z warstwy katody są przyspieszane w polu elektrycznym w kierunku anody, przy czym elektrony ulatują w różnych kierunkach, a więc tylko część z nich dotrze do anody. Pole

elektryczne jest generowane przez elektryczny zasilacz napięcia stałego. Prąd elektryczny jest zależny od ilości elektronów, które w danym czasie dotrą do anody, będzie on zatem zależny od natężenia padającego światła i przyłożonego napięcia, tak jak pokazano to na rys. 4.



Rys. 4 Wykres zależności natężenia prądu fotoelektrycznego od przyłożonego napięcia.

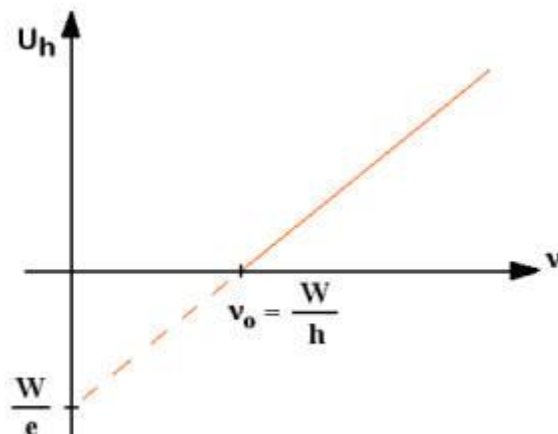
Jak wynika z rys. 4, przy pewnym napięciu dodatnim prąd dla danego natężenia światła osiąga wartość maksymalną, dla której dalszy wzrost prądu jest niemożliwy. Pole elektryczne jest wtedy na tyle silne aby wszystkie wybite elektrony z katody skierować do anody. Gdy napięcie jest za słabe część wybitych elektronów ucieka z obszaru pola elektrycznego. Dla ujemnych napięć elektrony są hamowane przez pole elektryczne, a więc dociera ich coraz mniej, aż poniżej pewnego napięcia hamującego U_h żaden elektron nie dociera do anody. Napięcie hamowania U_h jest granicznym przypadkiem, dla którego nawet najszybsze elektrony zmierzające w kierunku anody są zawracane przez ujemne pole elektryczne. Energia kinetyczna najszybszego elektronu jest równa zatem pracy jaką musi wykonać ten elektron w polu elektrycznym o napięciu U_h ,

$$E_k = eU_h, \quad (2)$$

gdzie e – ładunek elektryczny elektronu. Wstawiając (2) do (1), otrzymujemy,

$$U_h = \frac{h}{e} \nu - \frac{W}{e}. \quad (3)$$

Z równania (3) wynika, że wartość napięcia hamowania jest wprost proporcjonalna do częstotliwości fali ν i nie jest zależna od natężenia padającej wiązki światła, co schematycznie przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5 Zależność napięcia hamowania od częstotliwości padającej fali.

Znając częstotliwość (lub długość) padającej fali oraz mierząc napięcie U_h można ustalić wartość pracy wyjścia W z powłoki katody. Mierząc wartość napięcia U_h , dla różnych długości fal (zobacz rys. 5) można dopasować linię prostą do zależności $U_h(\nu)$, której współczynnik nachylenia jest proporcjonalny do wartości h/e . W ten sposób można wyznaczyć wartość stałej Plancka.

3. Wirtualne Ćwiczenie

Wirtualne ćwiczenie „Efektu fotoelektrycznego”, jest symulacją doświadczenia badania zasady działania fotokomórki oraz eksperymentu wyznaczenia stałej Plancka metodą fotoelektryczną. W eksperymencie przewidziano trzy badania,

- Badanie zależności natężenia prądu fotokomórki od natężenia padającego światła
- Badanie natężenia prądu fotokomórki od długości fali padającego światła
- Wyznaczanie stałej Plancka

3.1. Panel użytkownika

Panel użytkownika składa się z dwóch pól menu z przyciskami, wirtualnego magazynka na aparaturę pomiarową, oraz przycisku wirtualnego notatnika. Aparatura pomiarowa po jej

wybraniu z wirtualnego magazynku jest umieszczania na widoku stołu laboratoryjnego tworzącego tło panelu użytkownika. Na rys. 6 przedstawiono widok panelu użytkownika z zaznaczonymi obiektami menu, wirtualnego magazynka i notatnika. Przeznaczenie wybranych obiektów jest następujące,

1. Menu Główne

- Przycisk „Pokaz” – służy do włączenia pokazu, który włączy interaktywny program samouczka,
- Przycisk „Help” – wyświetla okienko pomocy,
- Przycisk „Podłącz Przyrządy” – umożliwia na automatyczne połączenie/rozłączenie aparatury pomiarowej. Przycisk ten jest dostępny gdy cała potrzebna aparatura została skompletowana na stole laboratoryjnym
- Przycisk „Wyciągnij Aparaturę” - umożliwia na automatyczne skompletowanie/schowanie aparatury pomiarowej z wirtualnego magazynku
- Przycisk „Info” – wyświetla okno informacji na temat projektu realizacji Wirtualnego Ćwiczenia,
- Przycisk „Zakończ” – kończy działanie programu.

2. Menu Pomiarowe

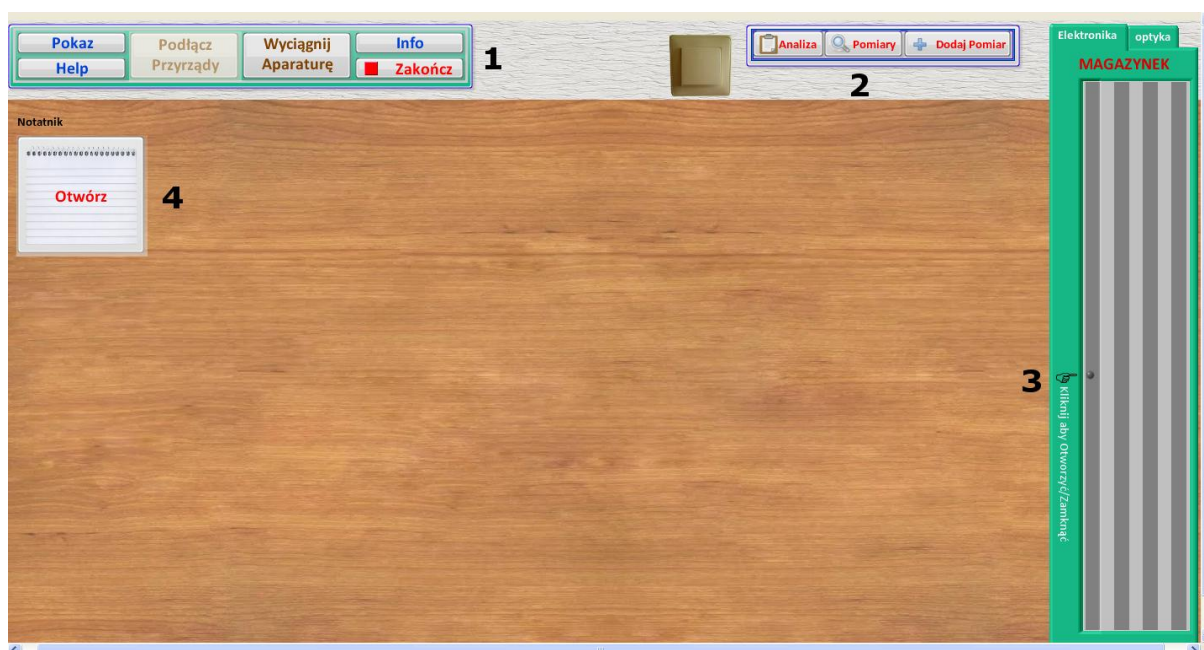
- Przycisk „Analiza” – otwiera podprogram analizy danych i generowania sprawozdania. Należy go zastosować po zebraniu wszystkich wyników pomiarowych
- Przycisk „Pomiary” – umożliwia obserwację aktualnie zbieranych pomiarów na dużym wykresie, oraz na usunięcie niechcianego wyniku pomiaru lub całej serii

3. Wirtualny Magazynek

Jest to obiekt, który symuluje działanie magazynu na aparaturę pomiarową

4. Notatnik

Umożliwia otworzenia okienka notatnika, w którym można podejrzeć wartości zapisywanych danych pomiarowych i wpisać własne uwagi, które są przechowywane do momentu zakończenia programu lub ich usunięcia.



Rys. 6 Panel użytkownika wirtualnego ćwiczenia

3.2. Przygotowanie aparatury do pomiarów

Aby rozpocząć wykonywanie eksperymentu należy najpierw aparaturę, skompletować. W tym celu postępuj zgodnie z rys. 7, na którym przedstawiono kolejno kroki 1-4,

- 1) Otwórz magazynek
- 2) Wybierz zawartość magazynku
- 3) Wybierz aparaturę.

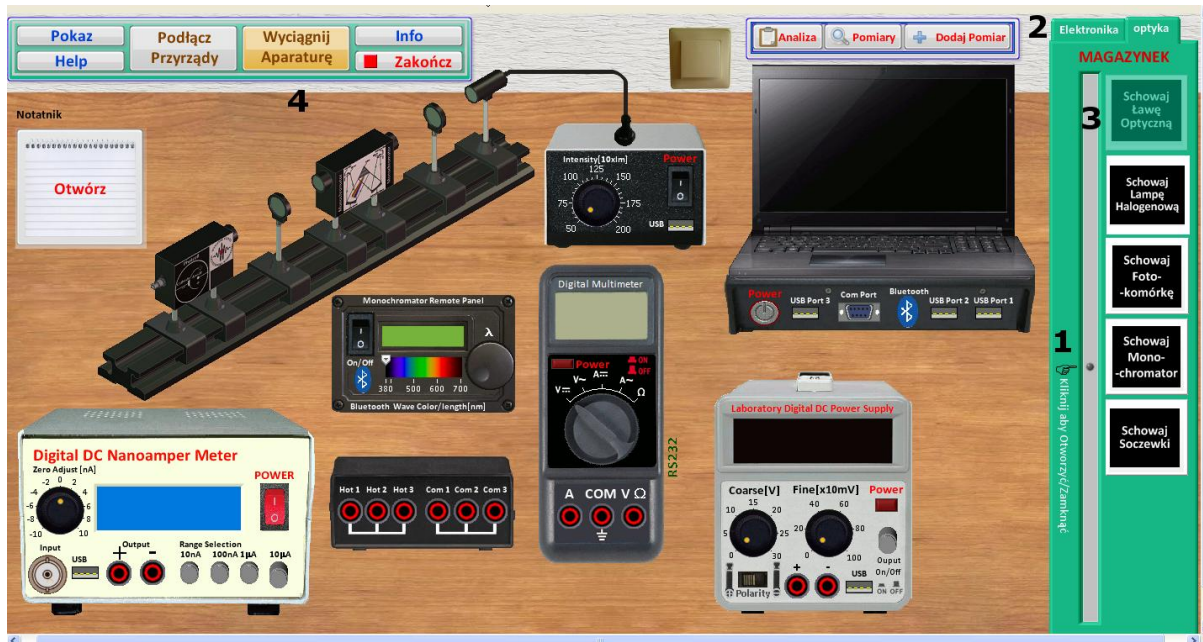
Kroki 1-3 powtarzaj, aż uda ci się skompletować całą aparaturę, lub skorzystaj z przycisku „Wyciągnij Aparaturę” oznaczony jako krok 4. Następnie należy włączyć i podłączyć aparaturę. W celu podłączenia aparatury postępuj zgodnie z rys. 8 i 9, wykonując następujące kroki,

- 1) Włącz zasilanie w aparaturze,
- 2) Podłącz przewody do aparatury.
 - a. Ręcznie – wybierając dane wejście/wyjście danego przyrządu
 - b. Automatycznie - wybierając przycisk „Podłącz Przyrządy”

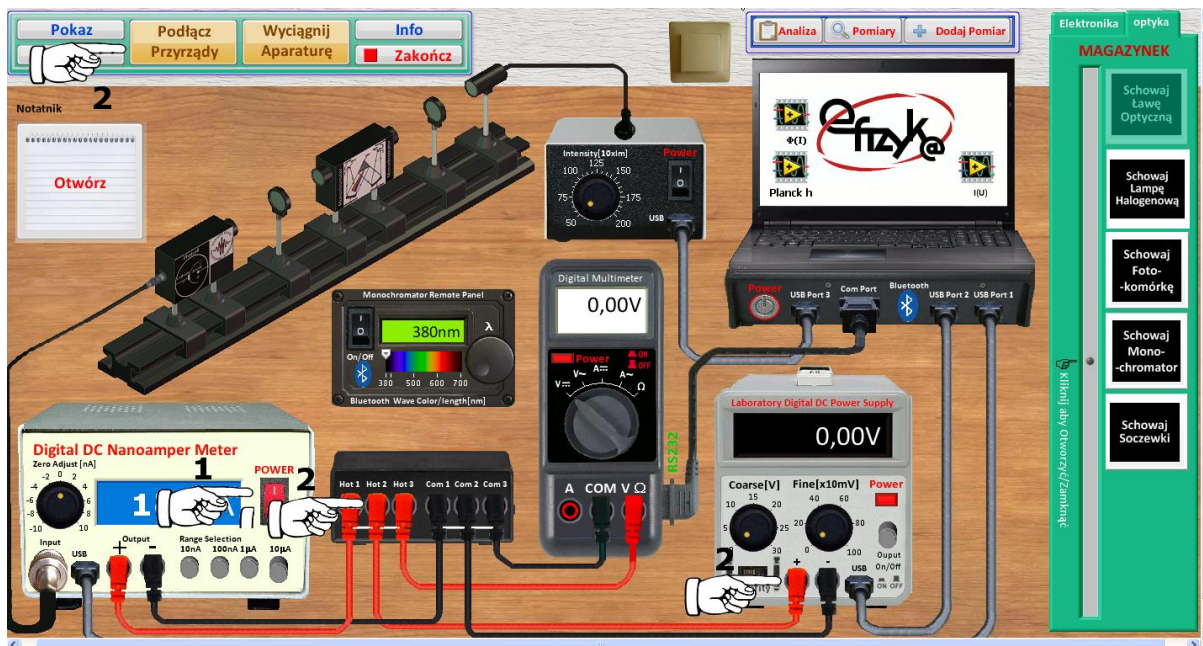
W trakcie wyboru wejścia/wyjścia danego przyrządu podświetli się wejście/wyjście, aparatury do którego należy ten przewód podłączyć. O poprawnym skompletowaniu i połączeniu aparatury świadczą zapalone na pomarańczowo przyciski „Wyciągnij aparaturę” i

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

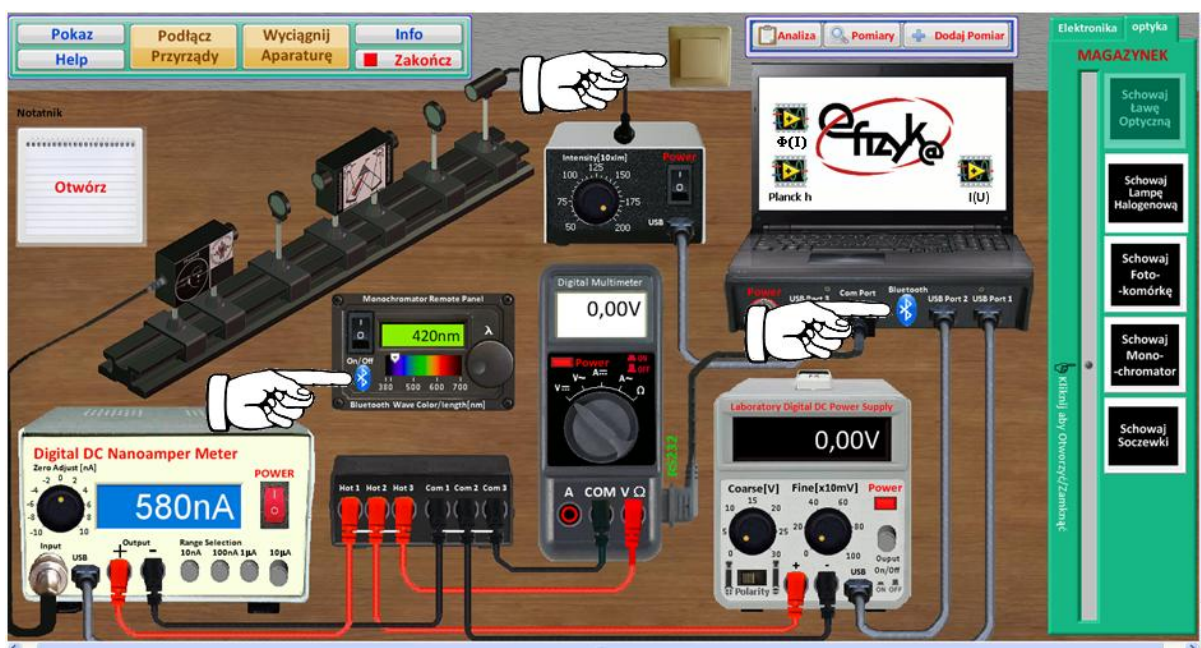
„Podłącz Przyrządy”. Po podłączeniu przyrządów i włączeniu zasilania należy ręcznie połączyć interfejsy bezprzewodowe bluetooth łączący panel sterowania monochromatora z laptopem oraz zgasić światło, w tym celu postępuj zgodnie z rys. 9.



Rys. 7 Wybór aparatury



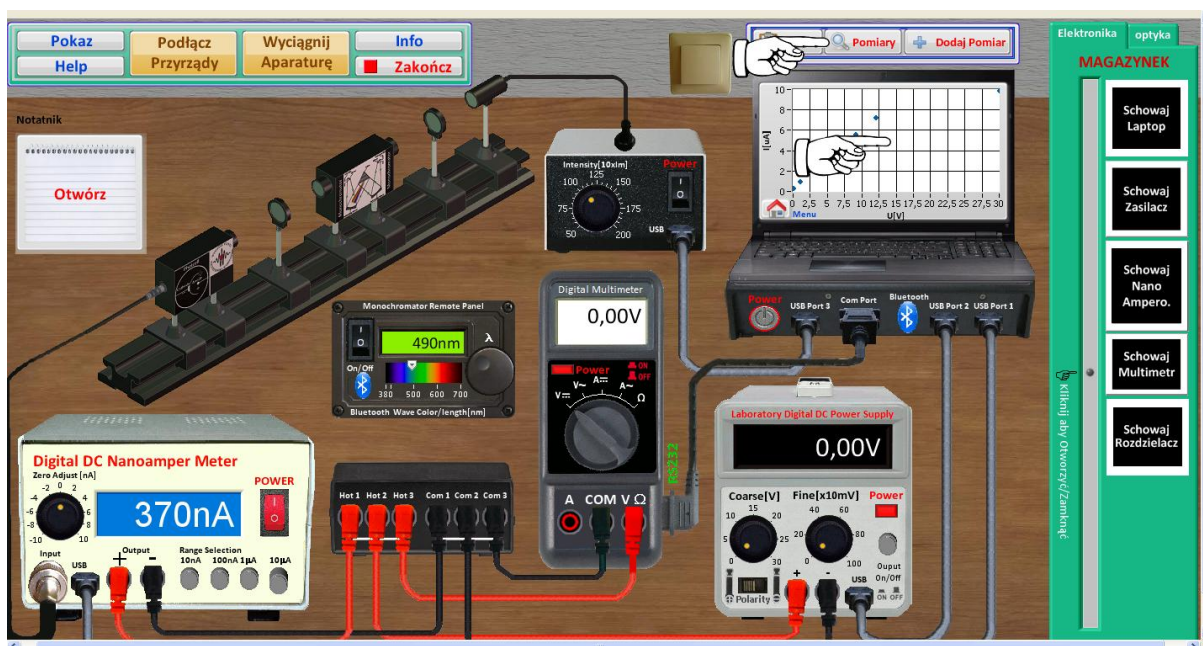
Rys. 8 Podłączanie aparatury



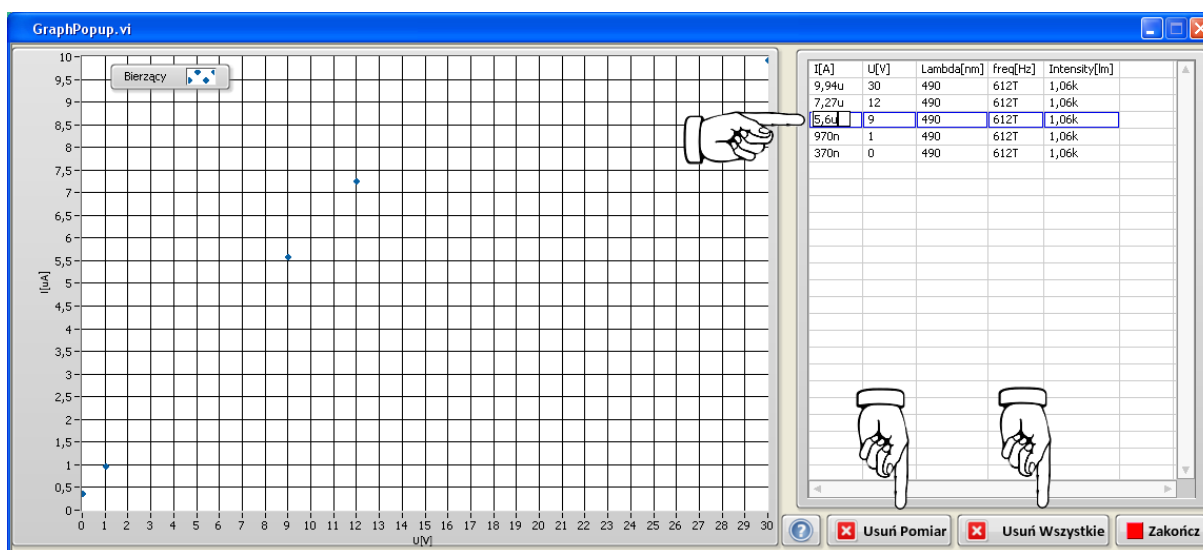
Rys. 9 Włącznie komunikacji bluetooth i zgaszenie światła

3.3. Wykonanie ćwiczenia

W trakcie wykonywania wirtualnego ćwiczenia należy odpowiednio ustawić aparaturę i wybrać program obsługi zbierania danych pomiarowych z wirtualnego laptopa. Zebrane punkty pomiarowe są zapisane w wirtualnym laptopie o ile jest włączone jego zasilanie. Włączenie danego programu nie powoduje skasowania danych zebranych w trakcie obsługi innego programu wirtualnego laptopa, do których można zawsze wrócić ponownie wychodząc do menu głównego i wybierając dany program. Dane można skasować i podglądać włączając okno przeglądania danych poprzez wybranie przycisku „Pomiary” lub kliknięcie na pulpit wirtualnego laptopa w trakcie zbierania danych, tak jak pokazano na rys. 10. Okno przeglądania i kasowania danych przedstawiono na rys. 11. W celu skasowania niechcianego punktu pomiarowego kliknij na komórkę tablicy zawierającą ten punkt pomiarowy i wciśnij przycisk „Usuń Pomiar”, lub skasuj wszystkie pomiary wybierając przycisk „Usuń Wszystkie”, zgodnie z rys. 11.



Rys. 10 Włączenie programu przeglądania i kasowania danych pomiarowych



Rys. 11 Program przeglądania i kasowania danych pomiarowych

3.3.1. Wyznaczenie Stałej Plancka

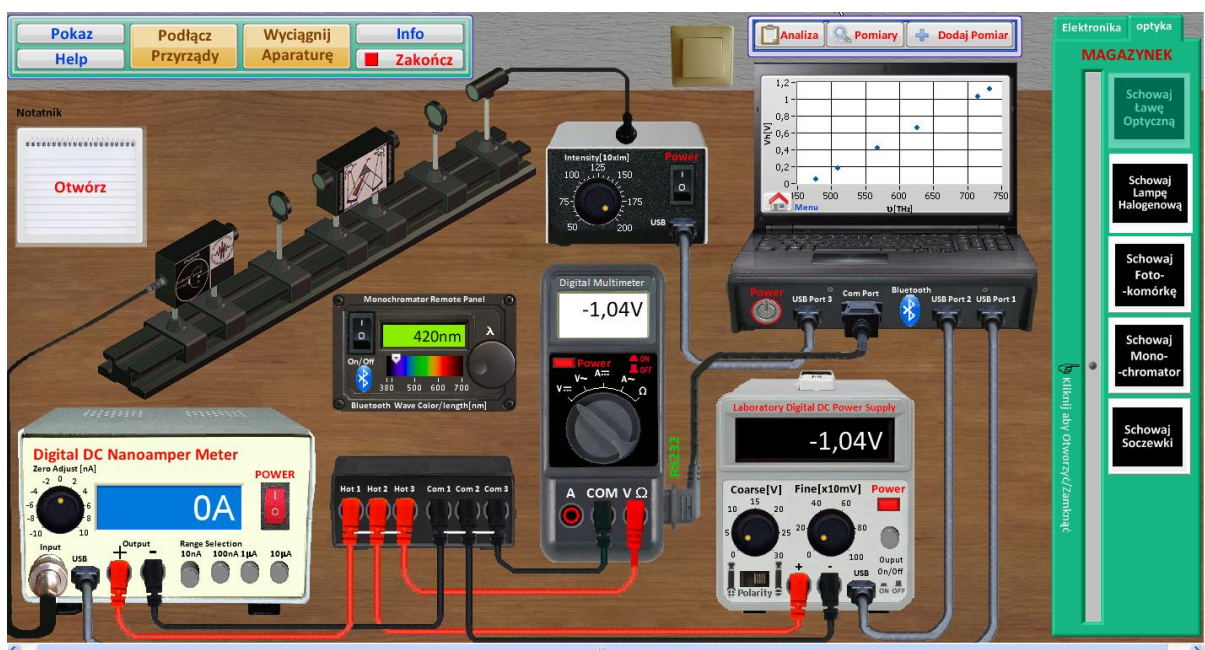
W celu przeprowadzenia eksperymentu pomiaru stałej Plancka postępuj zgodnie z następującymi krokami,

- 1) Włącz program oznaczony jako „Planck h” z menu wirtualnego laptopa,
- 2) Ustaw pokrętko multimetru na pomiar napięcia stałego,
- 3) Ustaw polaryzację napięcia zasilacza na ujemne,

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

- 4) Włącz wyjście zasilacza,
- 5) Ustaw natężenie światła, najlepiej maksymalne aby zapewnić jak największą dokładność pomiaru,
- 6) Ustaw długość fali,
- 7) Ustaw napięcie zasilacza na wartość przy, której prąd mierzony dla najmniejszego zakresu pomiarowego osiąga wartość zero,
- 8) Zapisz punkt pomiarowy klikając przycisk „Dodaj Pomiar”.

Kroki 6-8 powtarzaj do momentu zebraniu kilku punktów pomiarowych pozwalających na dokładne dopasowanie do nich linii prostej. Na rys. 12 przedstawiono przykład widoku ekranu po poprawnym wykonaniu eksperymentu pomiaru stałej Plancka.



Rys. 12 Eksperyment wyznaczenia stałej Plancka

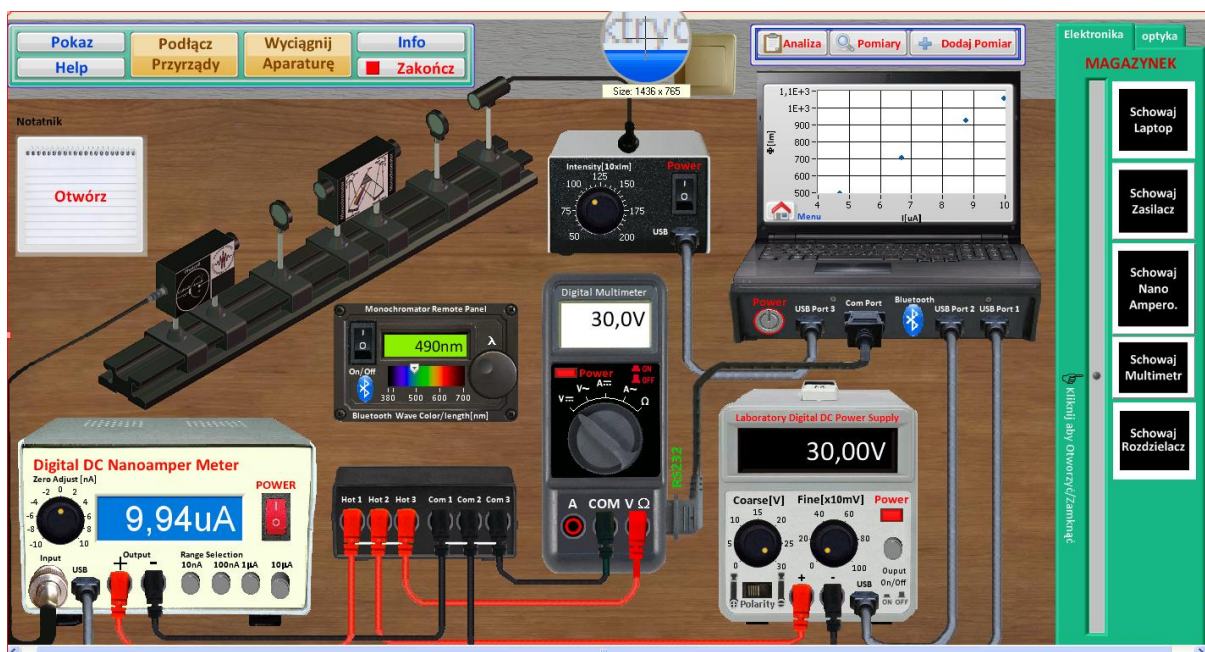
3.3.2. Badanie zależności natężenia prądu fotokomórki od natężenia światła

W celu zbadania zależności natężenia prądu fotokomórki w funkcji natężenia światła postępuj zgodnie z następującymi krokami,

- 1) Włącz program „ $I(\Phi)$ ” z menu wirtualnego laptopa,
- 2) Ustaw pokrętko multimetru na pomiar napięcia stałego,
- 3) Ustaw polaryzację napięcia zasilacza na dodatnie,
- 4) Włącz wyjście zasilacza,

- 5) Ustaw wartość napięcia w zasilaczu, najlepiej maksymalne, w celu uzyskania największej dokładności pomiaru,
- 6) Ustaw długość fali,
- 7) Ustaw poziom natężenia światła,
- 8) Zapisz punkt pomiarowy klikając przycisk „Dodaj Pomiar”.

Kroki 6-8 powtarzaj do momentu zebrania uzyskania kilku-kilkunastu punktów pomiarowych. Na rys. 13 przedstawiono przykład widoku ekranu po poprawnym wykonaniu badania pomiaru natężenia światła w funkcji prądu fotokomórki.



Rys. 13 Badanie zależności natężenia światła w funkcji natężenia prądu fotokomórki

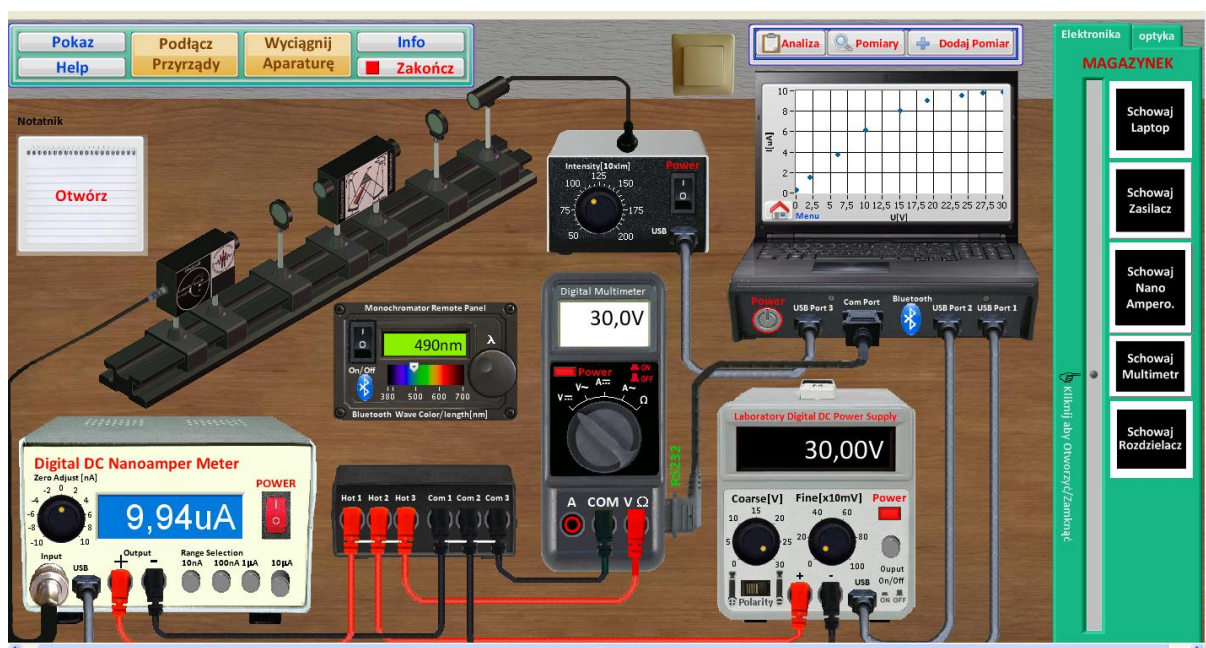
3.3.3. Badanie zależności natężenia prądu fotokomórki od napięcia

W celu zbadania zależności natężenia prądu fotokomórki w funkcji przyłożonego napięcia postępuj zgodnie z następującymi krokami,

- 1) Włącz program oznaczony jako „I(V)” z menu wirtualnego laptopa,
- 2) Ustaw pokrętkę multimetru na pomiar napięcia stałego,
- 3) Ustaw polaryzację napięcia zasilacza na dodatnie,
- 4) Ustaw natężenie światła, najlepiej maksymalne aby zapewnić jak największą dokładność pomiaru,
- 5) Włącz wyjście zasilacza,

- 6) Ustaw wartość napięcia w zasilaczu,
- 7) Ustaw długość fali,
- 8) Zapisz punkt pomiarowy klikając przycisk „Dodaj Pomiar”.

Kroki 6-8 powtarzaj do momentu zebraniu kilku-kilkunastu punktów pomiarowych, do momentu aż punkty pomiarowe będą się układać tak jak na rys. 4. Na rys. 14 przedstawiono przykład widoku ekranu po poprawnym wykonaniu badania pomiaru natężenia światła w funkcji napięcia.



Rys. 14 Badanie zależności natężenia światła w funkcji napięcia przyłożonego do fotokomórki

3.4. Analiza danych i generowanie sprawozdania

Po zebraniu punktów pomiarowych należy dokonać analizy danych w tym celu z Panelu Użytkownika wybierz przycisk „Analiza”. Otworzy się okno podprogramu analizy danych i generowania sprawozdania, co przedstawia rys. 15. Na panelu widoczne są pola do uzupełnienia z nazwą szkoły, daty oraz imion członków zespołu dane ćwiczenie, które należy wypełnić, oraz pole wyboru uzupełnienia dane rozdziału sprawozdania. Po wyborze danego rozdziału otworzy się okno z polami tekstowymi do uzupełnienia sprawozdania, tak jak pokazano to na przykładzie rys. 16 i rys. 17. W celu poprawnego wypełnienia pól tekstowych i analizy danych kieruj się podpowiedziami, które automatycznie generowane przy pierwszym otwarciu okna analizy i generowania sprawozdania. Analiza danych jest wykonywana

automatycznie po naciśnięciu odpowiednich przycisków, które umożliwiają na dopasowanie odpowiednich krzywych do danych pomiarowych np. linii prostej oraz zwrócenia współczynników dopasowania i ich przeliczenie na odpowiednie wartości np. stałej Plancka i pracy wyjścia (zobacz rys. 17).

AnalizaWynikow.vi

ANALIZA WYNIKÓW / GENEROWANIE SPRAWOZDANIA

Nazwa Szkoły

Data

Imiona i Nazwiska członków zespołu

- 1. Cel ćwiczenia
- 2. Podstawy fizyczne
- 3. Układ pomiarowy
- 4. Wyniki
 - 4.1 Pomiar napięcia hamowania
 - 4.2 Pomiar charakterystyk fotokomórki
- 5. Opracowanie i analiza wyników
 - 5.1 Stała Plancka i praca wyjścia
 - 5.2 Zależność foto-prądu od natężenia światła
- 6. Podsumowanie

Help

Pomiary

Odśwież

Seria Pomiarowa I(V)

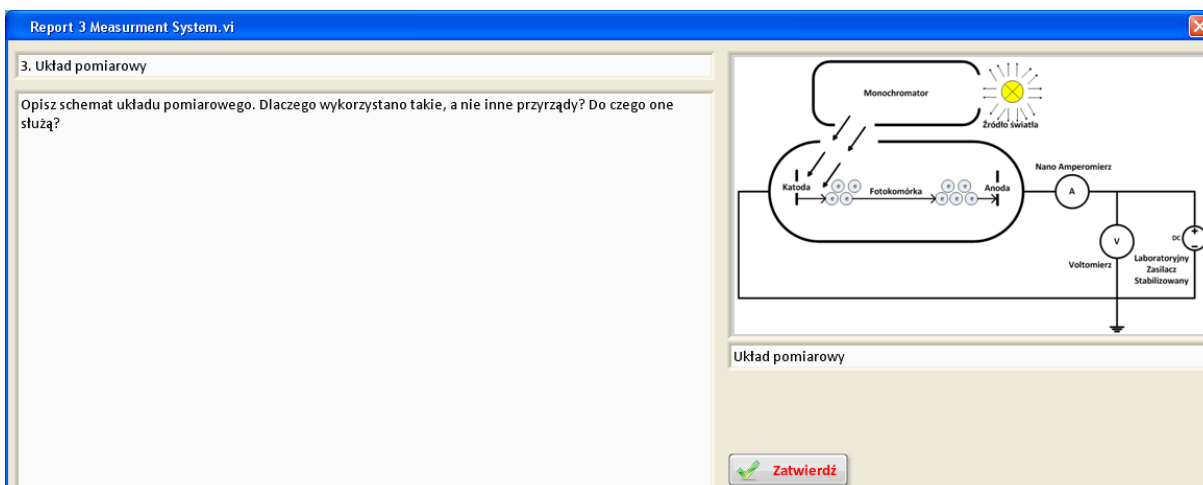
Notatnik

Otwórz

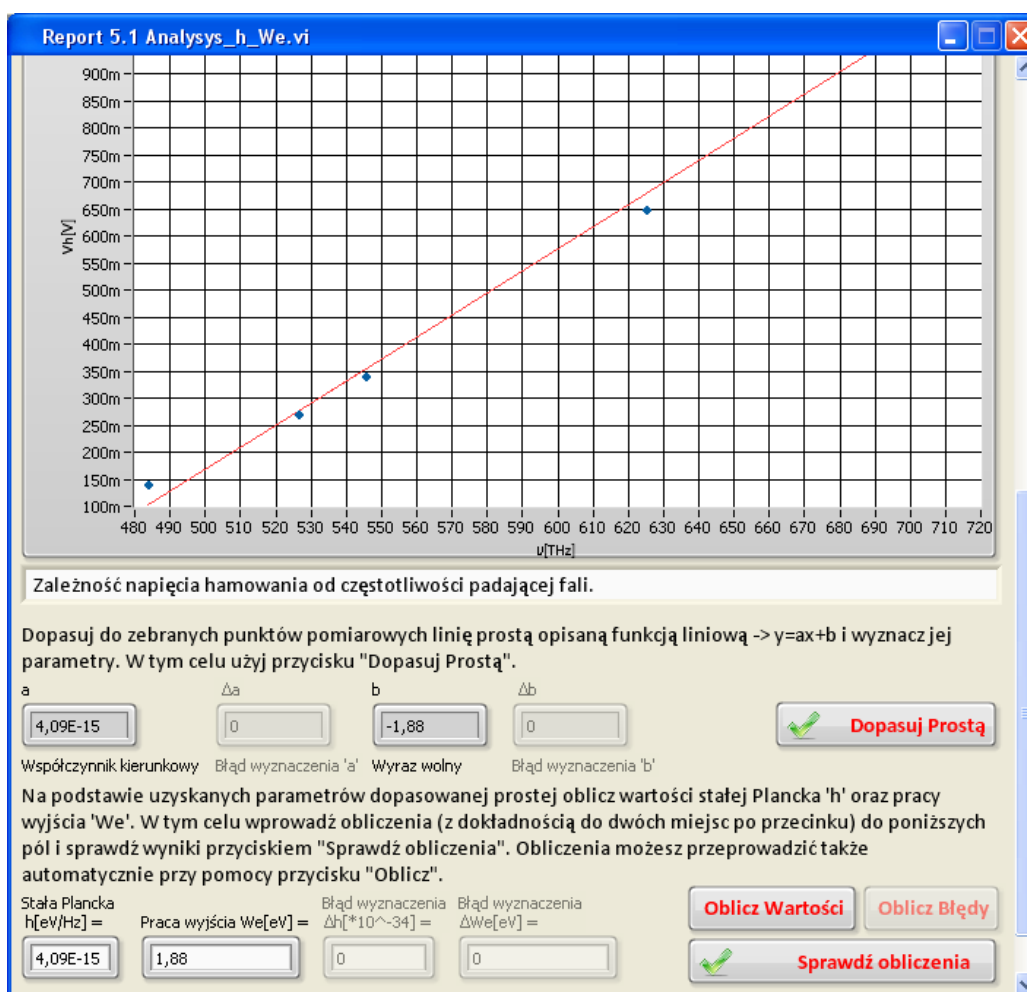
PDF

Zakończ

Rys. 15 Okno analizy wyników i generowania sprawozdania



Rys. 16 Okno rozdziału 3 programu generowania sprawozdania



Rys. 17 Okno analizy danych pomiarowych

Po wypełnieniu wszystkich pól sprawozdania i wykonaniu analizy danych wygeneruj sprawozdania wybierając przycisk „PDF”, który otworzy okno systemu Windows do zapisu pliku sprawozdania w formacie PDF. Z widoku okna analizy dostępne są także przyciski,

- Notatnik – umożliwia otwarcie okna notatnika, w celu wykorzystania zanotowanych uwag w trakcie wykonywania ćwiczenia,
- Help – otwiera okienko pomocy z podpowiedziami,
- Pomiary i Seria Pomiarowa – umożliwia wybranie serii danego eksperymentu i otwarcie okna programu przeglądania i kasowania danych pomiarowych,
- Odśwież – kasuje zawartość wypełnionych pól tekstowych uzupełniając ich zawartość wartościami domyślnymi (podpowiedziami),
- Zakończ – kończy działanie programu analizy i generowania sprawozdania i powraca do wirtualnego ćwiczenia.

Zawartość wypełnionego sprawozdania jest dostępna nawet po wyjściu z okna analizy, a więc sprawozdanie można uzupełniać na bieżąco w trakcie wykonywania ćwiczenia.