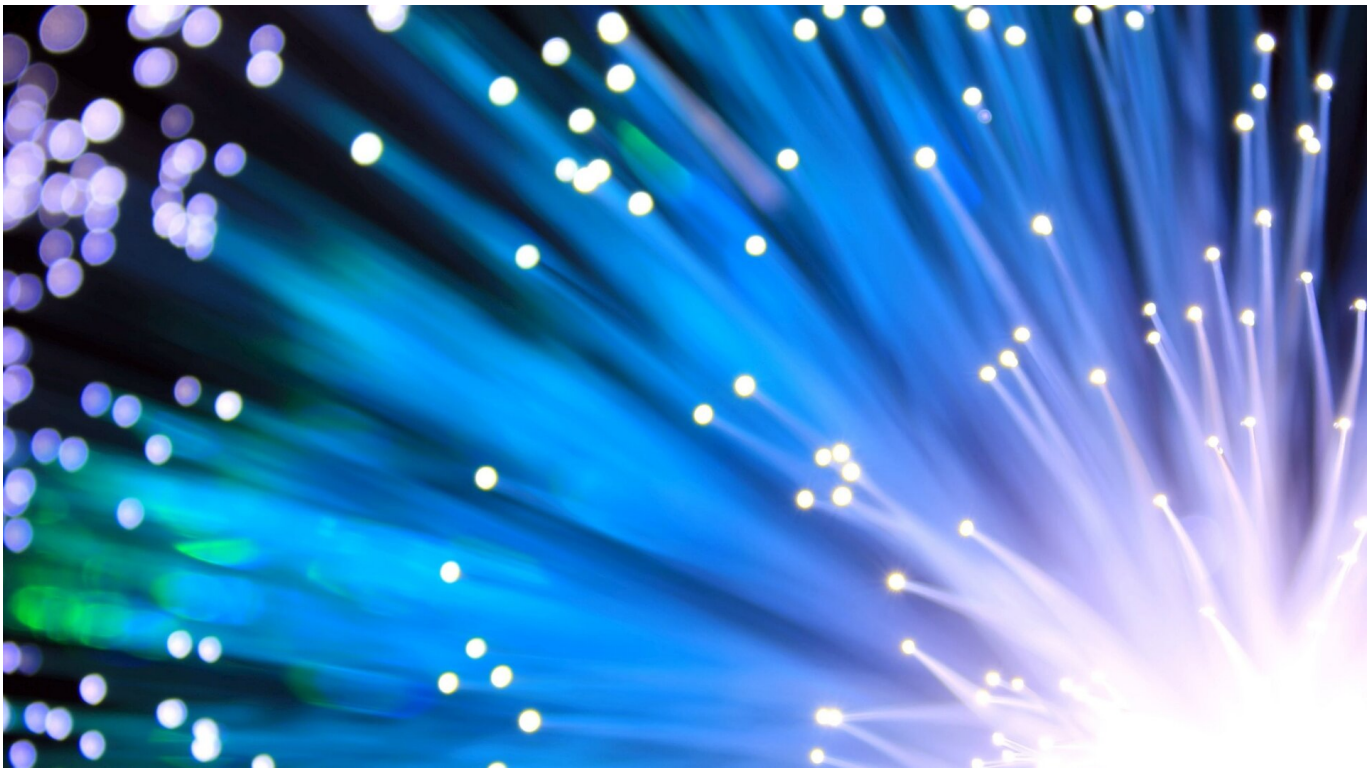


# Efekt fotoelektryczny zewnętrzny


- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Źródło: dostępny w internecie: https://pixabay.com/photos/fiber-optic-cable-blue-network-2749588/ [dostęp 28.04.2022 r.].

# Czy to nie ciekawe?

W 1887 Heinrich Hertz przeprowadził badania nad zjawiskiem powstawania iskier w iskrowniku oświetlonej ultrafioletem cewki. Uczony zauważył, że umieszczenie cewki w szklanym pudle powoduje znaczne obniżenie badanego efektu. Zastosowanie kwarcu, czyli materiału, który nie blokował promieniowania UV, nie powodowało osłabienia iskry. Wynik wydawał się być ciekawy, ale Hertz nie kontynuował badań. Temat został jednak podjęty przez innych fizyków - otworzyło to serię interesujących doświadczeń.

Podobnie jak Hertz zaintrygowani zapewne byli klienci i pracownicy restauracji Wilcox's Pier w 1931 roku. Zobaczyli wtedy po raz pierwszy „magiczne oko" -fotokomórkę, za pomocą której automatycznie otwierano drzwi. Wydarzyło się to 26 lat po tym, jak Albert Einstein wyjaśnił odpowiedzialne za obydwa efekty zjawisko fotoelektryczne.

**Twoje cele**

W tym e-materiale:

- poznasz definicję oraz mechanizm zachodzenia zjawiska fotoelektrycznego,
- zrozumiesz, jak zmienia się natężenie prądu w obwodzie zawierającym anodę i fotokatodę w zależności od parametrów promieniowania elektromagnetycznego

wywołującego efekt fotoelektryczny oraz przyłożonego napięcia,
- zrozumiesz działanie fotokomórki oraz wykorzystujących ją drzwi automatycznych.

# Przeczytaj

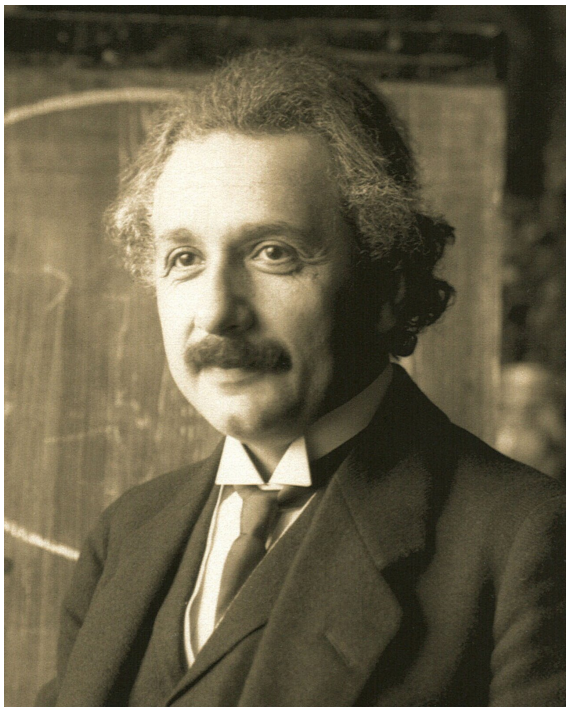
## Warto przeczytać

**Efektem fotoelektrycznym** nazywamy zjawisko emisji elektronów z metalu pod wpływem padającego promieniowania elektromagnetycznego, najczęściej ultrafioletu lub światła widzialnego.

### Wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego

Cech charakteryzujących to zjawisko, takich np. jak maksymalna energia elektronu w zależności od padającego promieniowania, nie da się wytłumaczyć traktując promieniowanie elektromagnetyczne jako falę.

Efekt wyjaśnił w 1905 r. Albert Einstein na gruncie teorii, w której światło nie było opisywane jak fala. Takie podejście było sprzeczne z ówczesną wiedzą o świetle. W 1921 r. został on za to uhonorowany nagrodą Nobla z fizyki. W uzasadnieniu czytamy: „Za jego zasługi dla fizyki teoretycznej, a szczególnie za odkrycie praw rządzących efektem fotoelektrycznym".



Rys. 1. Albert Einstein. Zdjęcie z roku otrzymania nagrody Nobla.

#### Fotony

Uczony założył, że promieniowanie elektromagnetyczne składa się z fotonów, czyli kwantów (porcji) energii. Energia fotonów jest wprost proporcjonalna do częstotliwości promieniowania ($f$). Stałą proporcjonalności jest stała Plancka ($h$) wynosząca $6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$ lub $4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{eV \cdot s}$. Energię fotonów ($E$) zapisujemy więc jako

$$E = hf$$

lub

$$E = hc/\lambda\,,$$

gdzie literą $\lambda$ zaznaczono długość fali promieniowania w próżni, a literą $c$ prędkość światła w próżni, wynoszącą ok. $3 \cdot 10^{8}\ \mathrm{m/s}$.

Fotony oddziałując z materią przekazują swoją energię elektronom, dlatego energia kinetyczna wybitych elektronów, zwanych fotoelektronami, zależy od energii fotonów, czyli częstotliwości promieniowania.

### Maksymalna energia kinetyczna elektronu

Energia ta jest równa energii fotonu pomniejszonej o energię wiązania elektronu z metalem, zwaną pracą wyjścia. Praca wyjścia charakteryzuje dany materiał. Im jej wartość jest mniejsza, tym mniejsza jest energia potrzebna do uzyskania efektu fotoelektrycznego. Typowe wielkości pracy wyjścia przyjmują wartości kilku elektronowoltów, czyli odpowiadają energii fotonów z obszaru światła widzialnego i ultrafioletu.

Związek między tymi energiami można zapisać w postaci

$$E_e = E - W,$$

gdzie $E_e$ jest energię kinetyczną wybitego elektronu, $E$ jest energią fotonu, a $W$ pracą wyjścia.

Pamiętając, że energię fotonu można wyznaczyć znając częstotliwość promieniowania, otrzymujemy wyrażenie

$$E_e = hf - W\ ,$$

często zapisywane jako

$$hf = E_e + W\ .$$

### Graniczna (progowa) częstotliwość efektu fotoelektrycznego

Aby zaszło zjawisko fotoelektryczne energia fotonu musi przewyższać pracę wyjścia. Graniczną częstotliwością (taką, dla której $E_e = 0$) jest więc $f_{gr} = W / h$.

W praktyce energia wybijanych elektronów jest zazwyczaj nieco mniejsza niż $hf - W$. Elektron przedostając się z wnętrza materiału do jego brzegu wytraca część swojej energii kinetycznej. Powyższe wzory umożliwiają wyznaczenie maksymalnej możliwej energii fotoelektronów.

### Podsumujmy

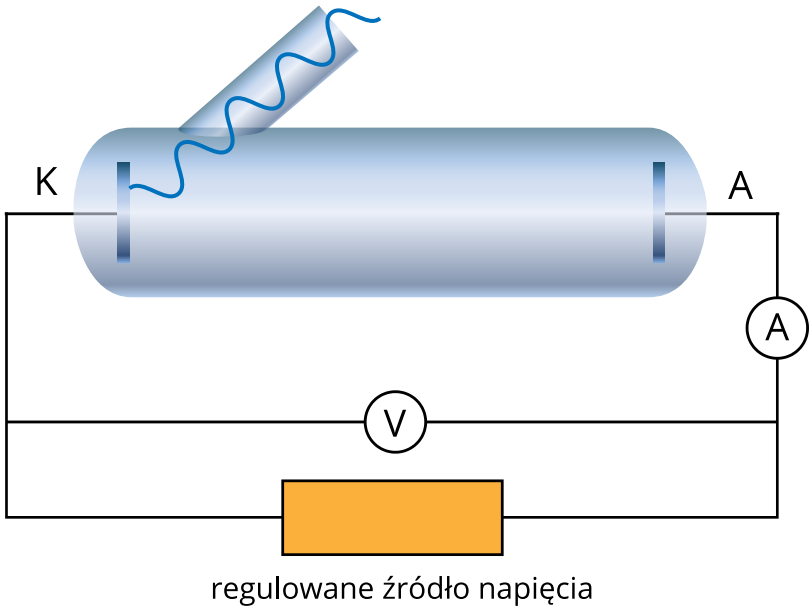
- Efektem fotoelektrycznym jest zjawisko emisji elektronów z metalu pod wpływem padającego promieniowania elektromagnetycznego.
- Energia wybitych elektronów nie zależy od intensywności promieniowania, a jedynie od jego częstotliwości.

- Ponadto istnieje pewna graniczna częstotliwość, poniżej której efekt nie zachodzi. Aby wyjaśnić mechanizm zachodzenia zjawiska fotoelektrycznego Albert Einstein wprowadził pojęcie fotonu jako porcji energii promieniowania elektromagnetycznego.
- Nie jest możliwe wytłumaczenie tego efektu na gruncie falowej teorii Maxwella.

> **Ważne!**
>
> Zjawisko fotoelektryczne jest jednym z najważniejszych przemawiających za stosowaniem korpuskularnej interpretacji promieniowania elektromagnetycznego.

## Badanie zjawiska fotoelektrycznego

Jak można poznać cechy zjawiska fotoelektrycznego w praktyce? Aparatura, służąca jego badaniu najczęściej składa się z elektrod: katody **K** oraz anody **A** umieszczonych w próżniowej bańce i podłączonych do obwodu zawierającego źródło napięcia o regulowanej wartości, miliamperomierza oraz woltomierza. Schemat takiego układu przedstawiono na Rys. 1.



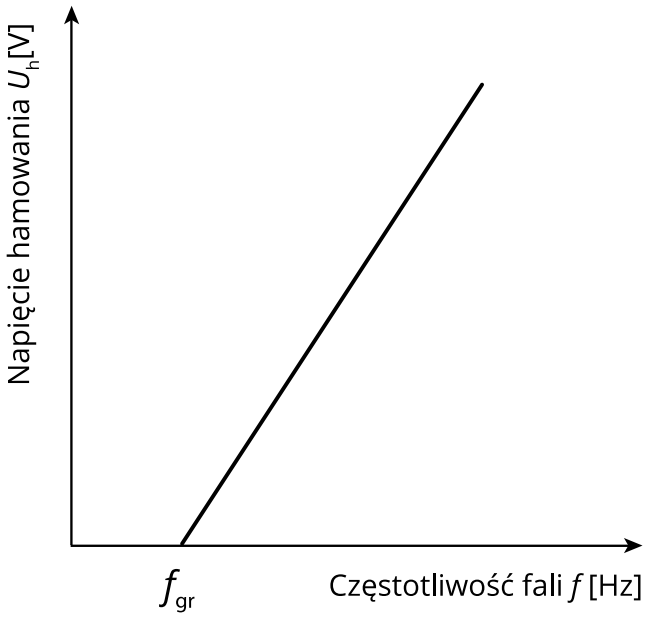

Rys. 1. Układ służący do badania efektu fotoelektrycznego

Jeśli promieniowanie elektromagnetyczne nie pada na katodę, prąd w obwodzie nie płynie, więc wskazania amperomierza i woltomierza są praktycznie zerowe. Oświetlenie katody promieniowaniem o częstotliwości większej od granicznej powoduje emisję elektronów; obserwujemy przepływ prądu.

Natężenie prądu (liczba przepływających w jednostce czasu elektronów pomnożona przez ich ładunek) jest wprost proporcjonalne do natężenia oświetlenia, które z kolei jest wprost proporcjonalne do liczby fotonów. Można zatem wnioskować, że im więcej pada fotonów, tym więcej wybijanych jest elektronów, ale nie każdy foton wybija elektron.

### Napięcie hamowania elektronów

Do układu można ponadto przyłożyć napięcie w taki sposób, że wybijane elektrony są przyspieszane lub spowalniane pomiędzy katodą i anodą. Co więcej, można elektrony wyhamować - wtedy miliamperomierz pokaże 0. Najmniejsze napięcie powodujące zatrzymanie wszystkich elektronów nazywamy napięciem hamowania. Wartość napięcia hamowania zależy od energii kinetycznej elektronów. A od czego zależy energia kinetyczna elektronów? Jeśli zjawisko jest wywołane fotonami o dużej energii, to elektrony uzyskają dużą energię kinetyczną. Można więc zauważyć, że wartość napięcia hamowania zależy liniowo od częstotliwości promieniowania, co pokazano na Rys. 2.

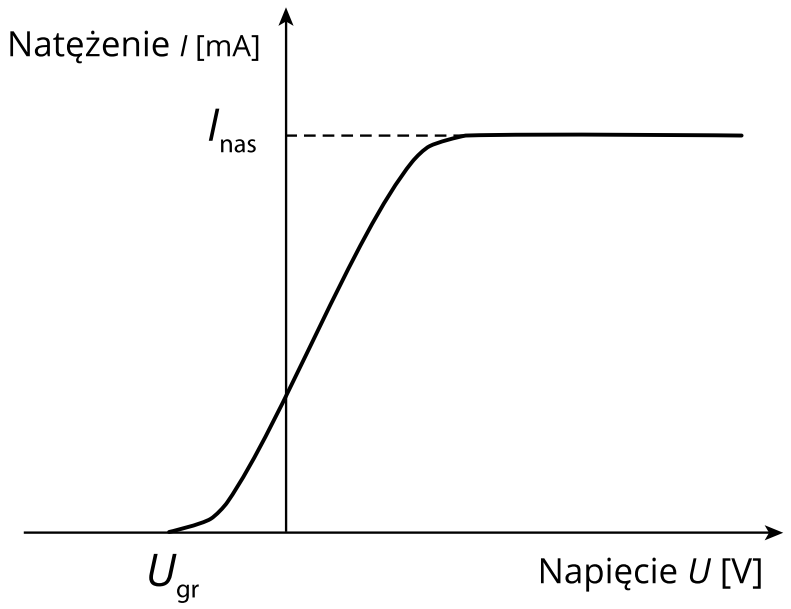



Rys. 2. Zależność napięcia hamowania od częstotliwości promieniowania wywołującego efekt fotoelektryczny

Punkt, w którym wykres przecina oś częstotliwości odpowiada częstotliwości granicznej, poniżej której efekt fotoelektryczny nie występuje.

### Prąd nasycenia

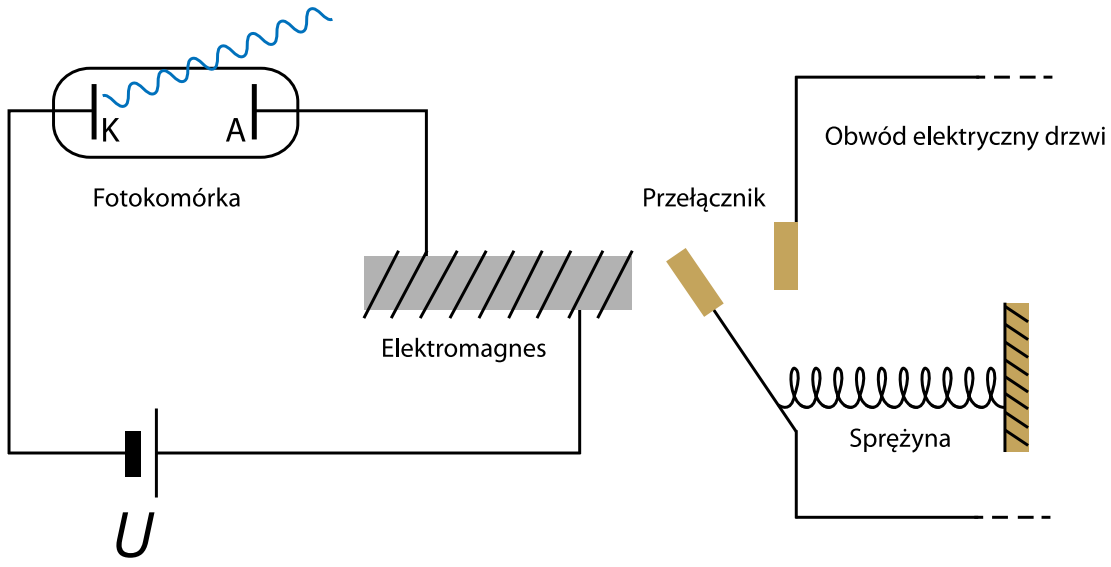
Jeśli napięcie zmniejszamy od wartości napięcia hamowania do zera, natężenie prądu w obwodzie zaczyna rosnąć. W kolejnym kroku można przyłożyć napięcie tak, aby elektrony wybijane z katody były przyspieszane w drodze do anody. Powoduje to dalszy wzrost natężenia prądu aż do wartości granicznej, zwanej prądem nasycenia. Dotyczy to sytuacji, w której każdy wybity elektron dociera do anody. Wartość natężenia prądu nasycenia nie zależy od częstotliwości promieniowania, ale od liczby padających fotonów, czyli od natężenia światła. Efekt został pokazany na Rys. 3. Ujemna wartość napięcia na wykresie dotyczy sytuacji, w której biegun **+** źródła został przyłożony do katody, a więc gdy elektrony są hamowane.




Rys. 3. Zależność natężenia prądu w obwodzie od napięcia przyłożonego pomiędzy katodę i anodę

**Jak może działać fotokomórka?**

Wróćmy jeszcze na chwilę do „magicznego oka" w restauracji Wilcox's Pier. W dzisiejszych czasach automatyczne drzwi wykorzystujące fotokomórkę nie są w stanie nikogo zaskoczyć. Warto jednak rozumieć sposób ich działania, przedstawiony na Rys. 4.




Rys. 4. Schemat układu automatycznie otwierających się drzwi

Najprostsza fotokomórka składa się z lampy próżniowej, zawierającej dwie elektrody, anodę i katodę. Katoda jest zbudowana z metalu, z którego pod wpływem światła - w wyniku zjawiska fotoelektrycznego - wybijane są elektrony. Oświetlona lampa przewodzi prąd. W obwodzie znajduje się też elektromagnes. Jeśli przepływa przezeń prąd, wytworzone

pole magnetyczne przyciąga ramię przełącznika powodując, że obwód drzwi jest otwarty, a same drzwi pozostają zamknięte. Przerwanie dostępu światła np. przez zbliżenie się do fotokomórki powoduje zatrzymanie przepływu prądu w jej obwodzie, wyłączenie elektromagnesu, zamknięcie obwodu drzwi i w końcu otwarcie drzwi.

## Słowniczek

**Efekt fotoelektryczny zewnętrzny**

(ang. photoelectric effect) zjawisko wybijania elektronów z powierzchni materiału pod wpływem padającego promieniowania elektromagnetycznego. Zjawisko polega na przekazywaniu całej energii fotonu promieniowania elektronowi, zwanemu fotoelektronem. Energia kinetyczna fotoelektronów nie zależy więc od natężenia promieniowania, tylko od jego częstotliwości.

**Stała Plancka**

(ang. Planck constant) jedna z podstawowych stałych fizycznych łącząca energię fotonów z częstotliwością promieniowania elektromagnetycznego. Istnienie takiej stałej zostało zapostulowane przez Plancka w ramach badań nad widmem ciała doskonale czarnego, a jej wartość oszacowana z ówczesnych danych doświadczalnych. Od 2018 roku jest przyjmowana jako dokładna i wynosząca $6{,}62607015 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J} \cdot \mathrm{s}$.

**Foton**

(ang. photon) Foton jest cząstką elementarną, przenoszącą kwant, czyli jedną porcję energii promieniowania elektromagnetycznego. Energia fotonu jest ściśle określona i uzależniona od częstotliwości fali elektromagnetycznej. nazwa pochodzi od greckiego słowa $\varphi\omega\varsigma$ (fos) oznaczającego światło.

# Film samouczek

## Efekt fotoelektryczny

Prześledź przebieg eksperymentu, w którym zademonstrowane jest rozładowanie elektroskopu poprzez jego oświetlenie lampą promieniującą światło nadfioletowe. Zwróć szczególną uwagę na bilans energii w zjawisku fotoelektrycznym.

Film dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/DkVLSUSve

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

---

**Polecenie 1**

Wyjaśnij, dlaczego w omówionym doświadczeniu po włączeniu lampy UV listki elektroskopu powróciły do pozycji początkowej. Uwzględnij w swojej wypowiedzi fakt, że przed włączeniem lampy elektroskop był oświetlony typowym światłem dostępnym w laboratorium.

**Polecenie 2**

W opisanym w filmie doświadczeniu zamieniono cynkową płytkę przymocowaną do główki elektroskopu na inną, o identycznych rozmiarach, ale wykonaną z innego metalu.
Można przewidywać, że rozładowanie oscyloskopu wskutek zjawiska fotoelektrycznego

- ◯ na pewno nastąpi.
- ◯ na pewno nie nastąpi.
- ◯ na pewno nastąpi, jeśli użyliśmy metalu o pracy wyjścia mniejszej, niż dla cynku.
- ◯ na pewno nie nastąpi, jeśli użyliśmy metalu o pracy wyjścia większej, niż dla cynku.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

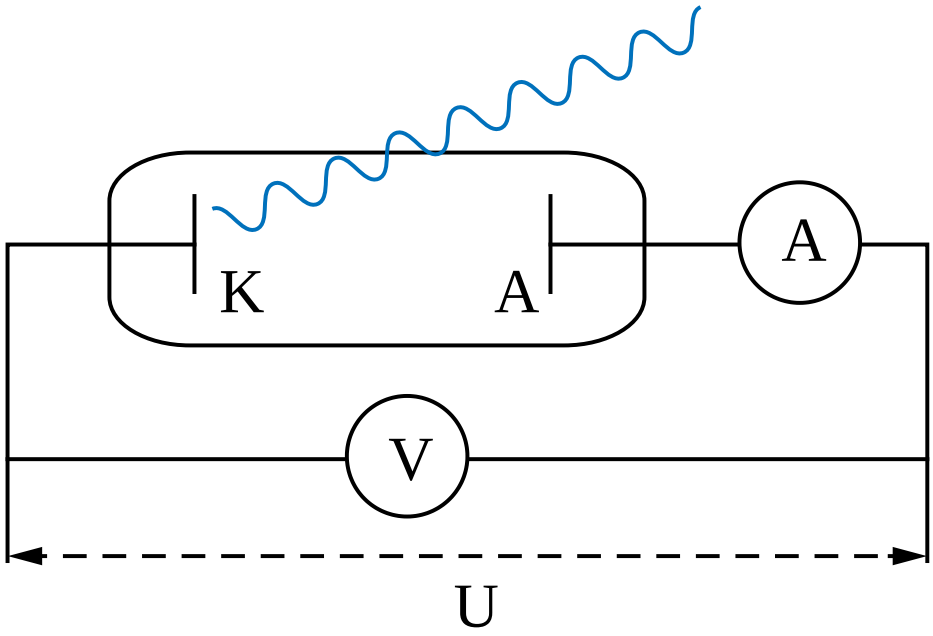
## Ćwiczenie 1

Zaznacz poprawne stwierdzenia opisujące efekt fotoelektryczny zewnętrzny:

- [ ] energia fotoelektronów zależy od energii promieniowania elektromagnetycznego wywołującego efekt fotoelektryczny, czyli jest proporcjonalna do natężenia fali
- [ ] energia fotoelektronu zależy od energii fotonów promieniowania elektromagnetycznego wywołującego efekt fotoelektryczny oraz nie zależy od natężenia fali
- [ ] dla danego materiału istnieje progowa częstotliwość promieniowania, poniżej której nie zachodzi zjawisko fotoelektryczne
- [ ] dla danego materiału istnieje progowa częstotliwość promieniowania, powyżej której nie zachodzi zjawisko fotoelektryczne

## Ćwiczenie 2

Uzupełnij zdania opisujące zachowanie obwodu zamieszczonego na rysunku




Schemat najprostszej fotokomórki.

a) W sytuacji, gdy zachodzi efekt fotoelektryczny, natężenie prądu nasycenia jest proporcjonalne do ☐ / odwrotnie proporcjonalne od ☐ / nie zależy od ☐ długości fali promieniowania padającego na katodę fotokomórki.

b) Napięcie hamowania jest proporcjonalne do ☐ / odwrotnie proporcjonalne do ☐ / nie zależy od ☐ długości fali promieniowania padającego na katodę fotokomórki.

c) Natężenie prądu nasycenia jest proporcjonalne do ☐ / odwrotnie proporcjonalne od ☐ / nie zależy od ☐ napięcia przyłożonego do obwodu.

## Ćwiczenie 3

Praca wyjścia dla litu wynosi 2,4 eV.

Oblicz największą długość fali promieniowania, które może wywołać emisję elektronów z litu w zjawisku fotoelektrycznym.
Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź:

Graniczna długość fali wynosi _____ nm

## Ćwiczenie 4

Wykorzystaj wynik poprzedniego ćwiczenia i rozstrzygnij, czy światło czerwonego wskaźnika laserowego może wywołać fotoemisję elektronów z litu.
Wpisz rozstrzygnięcie wraz z krótkim uzasadnieniem w przygotowane pole i porównaj z wyjaśnieniem wzorcowym.

## Ćwiczenie 5

Przymocowana do główki elektroskopu cynkowa płytka została naelektryzowana ujemnie, co spowodowało odchylenie listków elektroskopu. Następnie płytka została oświetlona światłem ultrafioletowym o częstotliwości $f = 1{,}25\ \mathrm{PHz}$ (przedrostek peta- oznacza $10^{15}$). Oświetlenie płytki spowodowało powrót listków elektroskopu do położenia pierwotnego. Wiedząc, że praca wyjścia dla cynku wynosi 4,3 eV, a stała Plancka $h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{eV} \cdot \mathrm{s}$, odpowiedz na pytania:

a) Jaka jest maksymalna energia kinetyczna elektronów wybijanych z płytki?

Wynik podaj w eV z dokładnością jednego miejsca po przecinku.

$E_e$ = _____ eV.

b) Czy oświetlenie naelektryzowanej płytki cynkowej światłem czerwonym ($\lambda$ = 600 nm) spowoduje jej rozładowanie?

(t/n) _____

## Ćwiczenie 6

Jaka jest maksymalna prędkość elektronu wyemitowanego w efekcie fotoelektrycznym z powierzchni manganu pod wpływem promieniowania UV o częstotliwości $f = 10^{15}\ \mathrm{Hz}$? Praca wyjścia dla manganu wynosi 4,1 eV. Masa elektronu wynosi $m = 511\ \mathrm{keV}/c^2$, stała Plancka $h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{eV} \cdot \mathrm{s}$. Wybierz właściwą odpowiedź w postaci ułamka prędkości światła $c$:

- 0,4 $c$
- 0,04 $c$
- 0,004 $c$
- 0,0004 $c$

## Ćwiczenie 7

Napięcie hamowania dla fotokomórki oświetlonej promieniowaniem o długości fali w próżni $\lambda$ = 200 nm wynosi 1,6 V. Oblicz pracę wyjścia fotokatody. Stała Plancka wynosi $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J} \cdot \mathrm{s}$, ładunek elektronu $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}$.
Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: Praca wyjścia wynosi _____ eV

## Ćwiczenie 8

Wydajnością kwantową fotokomórki nazywamy stosunek $\eta$ (czyt. *eta*) liczby wybijanych z katody elektronów do liczby padających fotonów, przy założeniu, że ich energia jest większa od pracy wyjścia.

Oblicz natężenie prądu nasycenia fotokomórki oświetlanej promieniowaniem o częstotliwości $f = 6 \cdot 10^{14}\ \mathrm{Hz}$ i mocy ***P* = 20 W**. Przyjmij, że promieniowanie to wywołuje zjawisko fotoelektryczne, a wydajność kwantowa $\eta = 0{,}1\%$.
Stała Plancka $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J} \cdot \mathrm{s}$.
Ładunek elementarny $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}$.
Wynik podaj w miliamperach w postaci liczby całkowitej.

Odpowiedź: Natężenie prądu nasycenia wynosi _____ mA.

# Dla nauczyciela

| | |
|---|---|
| **Imię i nazwisko autora:** | Aleksandra Fijałkowska |
| **Przedmiot:** | Fizyka |
| **Temat zajęć:** | **Efekt fotoelektryczny** |
| **Grupa docelowa:** | III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony |

| | |
|---|---|
| **Podstawa programowa:** | **Cele kształcenia – wymagania ogólne**<br>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.<br>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.<br>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.<br>**Zakres podstawowy Treści nauczania – wymagania szczegółowe**<br>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:<br>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;<br>10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;<br>15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu;<br>X. Fizyka atomowa. Uczeń:<br>5)opisuje zjawiska jonizacji, fotoelektryczne i fotochemiczne jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej,<br>**Zakres rozszerzony**<br>**Treści nauczania – wymagania szczegółowe**<br>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:<br>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;<br>10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji;<br>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu;<br>XI. Fizyka atomowa. Uczeń:<br>7) opisuje zjawiska jonizacji, fotoelektryczne i fotochemiczne jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej. |

| | |
|---|---|
| **Kształtowane kompetencje kluczowe:** | **Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:**<br>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,<br>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,<br>• kompetencje cyfrowe,<br>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się. |
| **Cele operacyjne:** | Uczeń:<br>1. obejrzy prezentację zjawiska fotoelektrycznego i wyciągnie wnioski.<br>2. formułuje definicje zjawiska fotoelektrycznego oraz wyrażenie na maksymalną energię kinetyczną fotoelektronu,<br>3. ocenia, jakie promieniowanie może wywołać efekt fotoelektryczny w wykorzystanym układzie. |
| **Strategie nauczania:** | Strategia eksperymentalno-obserwacyjna |
| **Metody nauczania:** | Pokaz |
| **Formy zajęć:** | Praca zespołowa |
| **Środki dydaktyczne:** | - Elektroskop,<br>- płytka cynkowa,<br>- źródło światła UV,<br>- pałka ebonitowa,<br>- wełniana szmatka. |
| **Materiały pomocnicze:** | - |
| **PRZEBIEG LEKCJI** | |
| **Faza wprowadzająca:** | |

| | |
|---|---|
| Nauczyciel przymocowuje płytkę do główki elektroskopu. Demonstruje, że w chwili początkowej listki elektroskopu spoczywają, elektroskop nie jest naładowany. Następnie nauczyciel pociera laskę ebonitową wełną, elektryzując ją ujemnie, po czym przykłada naelektryzowaną pałkę do płytki cynkowej. Listki elektroskopu odchylają się. Nauczyciel omawia z uczniami wyniki obserwacji, uczniowie zastanawiają się, skąd wziął się ładunek na elektroskopie.<br><br>Nauczyciel oświetla płytkę światłem ultrafioletowym. Listki elektroskopu opadają. Nauczyciel z uczniami dyskutują, dlaczego światło ultrafioletowe spowodowało rozładowanie elektroskopu. | |
| **Faza realizacyjna:** | |
| Nauczyciel przypomina pojęcie fotonu jako nośnika energii promieniowania elektromagnetycznego oraz wzór na energię fotonu. Nauczyciel wyjaśnia mechanizm zachodzenia zjawiska fotoelektrycznego oraz wprowadza opisujący go wzór $E_e = hf - W$ i dokładnie go analizuje. Podaje wykresy opisujące zjawisko fotoelektryczne i prawa, które nim rzadzą. Uczniowie wyznaczają minimalną energię fotonów niezbędnych do zajścia zjawiska fotoelektrycznego dla płytki zastosowanej w fazie wprowadzającej, minimalną częstotliwość promieniowania oraz maksymalną długość fali światła w próżni. Nauczyciel pyta uczniów, jakiego efektu spodziewają się przy zastosowaniu oświetlania o niższej częstotliwości np. czerwonego. | |
| **Faza podsumowująca:** | |
| Uczniowie rozwiązują co najmniej jedno spośród zadań 3 lub 4 z zestawu ćwiczeń .<br><br>Nauczyciel ocenia pracę uczniów rozwiązujących zadania dając im informację zwrotną odnośnie ich wiedzy. | |
| **Praca domowa:** | |
| Nauczyciel poleca uczniom znalezienie/wypisanie przedmiotów codziennego użytku wykorzystujących zjawisko fotoelektryczne oraz rozwiązanie wybranych przez niego zadań z zestawu ćwiczeń. | |
| **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:** | Uczniowie mogą przypomnieć sobie w domu pokaz zaprezentowany na lekcji oraz jego fizyczną interpretację. |