



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

FENIKS

Wykłady z pokazami, UJK, cz. I

Dlaczego fizyka jest ciekawa?

Marek Pajek

*Instytut Fizyki
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy
Jana Kochanowskiego w Kielcach*

(pisemna wersja wykładu plenarnego z pokazami z I 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

O autorze

Prof. dr hab. Marek Pajek jest światowej klasy specjalistą w dziedzinie fizyki zderzeń atomowych, gdzie wspólnie ze swoją grupą osiągnął wiele ważnych wyników naukowych. Obecnie sprawuje funkcję dyrektora Instytutu Fizyki UJK. Swoją pasję dzieli między badania naukowe i znakomicie prowadzoną dydaktykę, szczególnie ceniąc sobie wykłady z podstaw fizyki. Jest członkiem zespołu projektu FENIKS w UJK.

- Wojciech Broniowski

Asystentami w wykładach są Andrzej Drogosz, Marcin Drabik i Piotr Jędrzejewicz

Wstęp

Wykład *Dlaczego fizyka jest ciekawa?* inauguruje cykl sześciu wykładów popularnych dla uzdolnionej młodzieży szkolnej (gimnazja i szkoły ponadgimnazjalne) realizowanych w ramach projektu FENIKS. Głównym celem tych wykładów jest zainteresowanie uczniów fizyką poprzez ukazanie podstawowych zasad i zjawisk fizycznych w sposób prosty, ciekawy i jednocześnie inspirujący do dalszych przemyśleń. Nadrzędną zastosowaną zasadą dydaktyczną jest fakt, że fizykę należy poznawać poprzez eksperymenty demonstrujące istotę zjawisk fizycznych w sposób bezpośredni, często bardzo intrygujący, czy nawet spektakularny. Praktyka pokazuje, że taki sposób przekazu jest bardzo efektywną metodą zainteresowania uczniów fizyką, umożliwia również zdobycie poszerzonej wiedzy w zakresie przedmiotu.

Wykłady z pokazami oferowane są uczestnikom projektu w połączeniu z innymi działaniami, jak wizyty na pracowniach uczelnianych celem samodzielnego wykonywania doświadczeń, praca na kółkach w szkole, czy udział w konkursach uczniowskich projektów naukowych. Stanowią one istotny element naszego programu kształcenia, poruszając wiele inspirujących zagadnień, które mogą być następnie dogłębniej omawiane i analizowane w szkole i w pracy domowej.

W programie projektu FENIKS realizowanym w UJK, poza opisanym tutaj wykładem inaugurującym *Dlaczego fizyka jest ciekawa?* (w wymiarze 45 minut), omawiającym nieco szerzej podstawy mechaniki oraz przedstawiającym po krótko wybrane charakterystyczne zjawiska dotyczące fal, elektryczności, światła i termodynamiki, przewidziany jest cykl dalszych pięciu wykładów ukierunkowanych na przedstawienie wybranych zagadnień fizycznych w sposób nieco bardziej szczegółowy (w wymiarze 2 x 45 minut). W tych wykładach prezentowane doświadczenia pokazowe będą połączone z bardziej systematycznym omówieniem podstawowych pojęć, zasad i zjawisk fizycznych, występujących w następujących zagadnieniach zgrupowanych tematycznie:

- *Drgania i fale*
- *Światło*
- *Zjawiska cieplne*
- *Elektryczność i magnetyzm*
- *Kwanty i materia*

Wykłady te umożliwią poznanie i jakościowe zrozumienie, poprzez prezentowane demonstracje fizyczne i ich omówienie, podstawowych zagadnień z zakresu mechaniki, termodynamiki, elektryczności i magnetyzmu, fal elektromagnetycznych oraz kwantowej budowy materii. W kolejnych częściach niniejszego opracowania omówione zostaną bardziej szczegółowo poszczególne wykłady prezentowane w ramach programu FENIKS.

Głównym celem wykładów z pokazami w projekcie FENIKS jest pobudzenie zainteresowania uczniów fizyką, w szczególności poprzez demonstrowanie „atrakcyjnych” efektów i zjawisk fizycznych, przy jednoczesnym jakościowym wyjaśnianiu istoty podstawowych pojęć i koncepcji fizycznych. Spodziewamy się, że chęć pełniejszego zrozumienia prezentowanych pokazów skłoni uczniów (przy

pomocy nauczyciela) do sięgnięcia po bardziej zaawansowane książki z zakresu fizyki. W tym celu przedstawiona jest poniżej zalecana literatura fizyczna, na podstawie której uczniowie mogą znacznie poszerzyć swoje wiadomości. Przytoczona lista zawiera pozycje opisujące podstawy fizyki w sposób przystępny, zjawiskowy, ograniczając „wzory” do niezbędnego minimum [1-3], a także bardziej zaawansowane podręczniki akademickie z zakresu podstaw fizyki [4-11], po które z powodzeniem mogą sięgać bardziej zainteresowani uczniowie. Są to bowiem klasyczne podręczniki akademickie z podstaw fizyki. Bardzo szczególną pozycją w polecanej literaturze jest, znana wielu feniksowiczom, „Historia fizyki” Andrzeja Kajetana Wróblewskiego [12], umożliwiającą śledzenie rozwoju fizyki na przestrzeni dziejów.

Literatura:

- [1] P. G. Hewitt, *Fizyka wokół nas*, PWN, Warszawa, 2001
- [2] L. N. Cooper, *Istota i struktura fizyki*, Tom I-V, PWN, Warszawa, 1975
- [3] E. M. Rogers, *Fizyka dla dociekliwych*, PWN, Warszawa, 1972
- [4] A. K. Wróblewski, J.A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, Tom I-II, PWN, Warszawa, 1981
- [5] C. Kittel, W.D. Knight, M.A. Ruderman, *Mechanika*, PWN, Warszawa, 1973
- [6] E. M. Purcell, *Elektryczność i magnetyzm*, PWN, Warszawa, 1971
- [7] F. C. Crawford, *Fale*, PWN, Warszawa, 1972
- [8] E. H. Wichman, *Fizyka kwantowa*, PWN, Warszawa, 1971
- [9] F. Reif, *Fizyka statystyczna*, PWN, Warszawa, 1971
- [10] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Tom IV, PWN, Warszawa, 2003
- [11] R. Feynman, R. Leighton, M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki*, Tom I-III, PWN, Warszawa, 2005
- [12] A. K. Wróblewski, *Historia fizyki*, PWN, Warszawa 2006



Uczniowie projektu FENIKS i ich nauczyciele na wykładzie z pokazami podczas jednej z wizyt, aula Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego UJK w Kielcach

Dlaczego fizyka jest ciekawa?

Celem wykładu inauguracyjnego *Dlaczego fizyka jest ciekawa?* jest wprowadzenie słuchaczy w podstawowe zagadnienia fizyki z zakresu mechaniki, termodynamiki oraz elektryczności i magnetyzmu w sposób intrygujący, ale zarazem docierający do istoty fizycznej tych zjawisk.

Celem łatwiejszej identyfikacji wykonywanych doświadczeń pokazowych, zostały one zaznaczone wytłuszczoną czcionką. Całość wykładu w postaci filmu może być odtworzona ze strony internetowej

<http://www.feniks.ujk.edu.pl/index.php/pol/Multimedia/Filmy/UJK>

Mechanika

Pierwsza część wykładu poświęcona jest mechanice, podstawowej gałęzi fizyki opisującej ruch ciał i jego związek z działającymi siłami. Na wstępie, proste pokazy dotyczą rozróżnienia dwóch podstawowych rodzajów ruchu: ruchu (jednostajnie) przyspieszonego (**spadająca kulka w powietrzu**) i ruchu jednostajnego (**kulka spadające w rurze wypełnionej gęstą cieczą**).

Pokazy ruchu z wykorzystaniem **toru powietrznego**, umożliwiającego niemal zupełne wyeliminowanie oporu poprzez umieszczenie ciała na poduszce powietrznej, doskonale nadają się do zademonstrowania podstawowych własności ruchu, a w konsekwencji zasad dynamiki Newtona. Wprawiamy w ruch „wózek” na torze powietrznym (najpierw z wyłączoną pompą) poprzez pchnięcie. Wózek ślizga się po rurze (bez poduszki powietrznej), a następnie dość szybko się zatrzymuje w wyniku tarcia. Obrazuje to powszechnie występujący w przyrodzie ruch jednostajnie opóźniony, pojawiający się w wyniku działania oporu w ruchu, w tym przypadku dominującej siły tarcia pomiędzy wózkiem i rurą. Obserwacja ta jest często źródłem błędnego przekonania, że do „utrzymania” ruchu potrzebna jest siła, a w konsekwencji że siła jest nieodzowną „przyczyną” ruchu. Wytworzenie poduszki powietrznej między rurą a wózkiem (poprzez wdmuchiwanie powietrza do perforowanej rury) zmienia radykalnie obraz ruchu. Raz wprawiony w ruch, wózek porusza się ruchem *jednostajnym* wzdłuż rury, odbijając się od sprężystych odbojników na jej końcach. Demonstracja ta doskonale pokazuje, że ruch jednostajny nie wymaga działania żadnej siły do jego podtrzymywania, a raz wprawione w ruch ciało porusza się ruchem jednostajnym, jeśli tylko nie działa na nie siła, w tym przypadku wyeliminowana siła tarcia.

Przechylenie toru powietrznego powoduje, że obserwowany w tym przypadku ruch „wózka” jest ruchem *przyspieszonym* wywołanym siłą przyciągania ziemskiego, a dokładniej jej składową wzdłuż toru powietrznego. Obserwacji ruchu jednostajnego i przyspieszonego dokonujemy porównując **rozmieszczenie śladów kropli atramentu** kapiącego w równych odstępach czasu ze strzykawki umieszczonej na wózku na pas papieru. Pokazy dotyczące ruchu wózka na torze powietrznym

prowadzą do wniosku, że ruch jednostajny nie wymaga działania żadnej siły, oraz że działanie siły powoduje zmianę ruchu (przyspieszenie).

Wnioski te stanowią istotę I i II zasady dynamiki Newtona. Ilościowe sformułowanie II zasady dynamiki, $F=ma$, można wprowadzić porównując **ruch wózka o różnych masach** m na który działają różne siły $F=mg$ (ciężarki).

O tym, że wszystkie ciała spadają z takim samym przyspieszeniem ziemskim g , przekonujemy się obserwując spadek ciał o różnych masach w próżni (**w rurze z odpompowanym powietrzem**). W tym przypadku wyeliminowana jest niemal całkowicie siła oporu powietrza. Podsumowując, powszechność występowania sił oporu (opór powietrza, tarcie) dla typowych ciał poruszających się i obserwowanych w życiu codziennym, powoduje spowalnianie ruchu i, po pewnym czasie, spoczynek ciał. Efekt ten jest przyczyną utrudniającą dotarcie do istoty natury ruchu. Tak więc ruch jednostajny, nie wymagający działania żadnej siły, jest w istocie powszechny i naturalny we Wszechświecie, a działanie sił powoduje „zmianę ruchu”. Obserwacje te są istotą natury ruchu, zawartą w zasadach dynamiki Newtona.

Termodynamika

Zasady dynamiki Newtona umożliwiają opis cząstek, na które działają znane siły. Czy można opisać w ten sposób układy składające się bardzo wielu cząstek? Okazuje się, że szklanka wypełniona wodą, zawierająca niewiarygodnie wielką liczbę (rzędu 10^{23}) cząsteczek H_2O , jest tak bardzo złożonym układem, że nie można go opisać w efektywny sposób metodami mechaniki ze względów pryncypialnych. Po prostu nie możemy rozwiązać tak wielkiej liczby równań ruchu. Aby jednak móc opisywać zachowanie takich złożonych układów, wprowadzamy zgoła inny opis, nie odwołujący się do natury mikroskopowej układu, a oparty tylko na znajomości wielkości makroskopowych (np. ciśnienie, temperatura, objętość), które umiemy mierzyć dostępnymi przyrządami. Ponieważ metoda ta rozwinięta została do opisu zjawisk cieplnych, nazywamy ją termodynamiką, lub też termodynamiką fenomenologiczną.

Termodynamika oparta jest na pewnych zasadach, zwanych zasadami termodynamiki, które rozstrzygają podstawowe kwestie: jaka jest natura ciepła?, co to jest temperatura?, jaki jest kierunek procesów termodynamicznych?, itd. Odpowiedzi na te trzy pytania zawarte w zasadach termodynamiki są następujące:

- 1) ciepło jest energią termicznego ruchu cząsteczek układu, która może być wymieniana między ciałami będącymi w kontakcie,
- 2) temperatura jest miarą nagrzania ciała, którą mierzymy przyrządem zwanym termometrem (wykorzystuje on, na przykład, zjawisko rozszerzalności termicznej ciał),
- 3) ciepło samorzutnie przepływa tylko od ciała „cieplejszego” do „zimniejszego”.

Zasady termodynamiki umożliwiają, w fenomenologiczny sposób, przewidywanie makroskopowego zachowania się złożonych układów termodynamicznych. Omówione to będzie na kilku wybranych doświadczeniach pokazowych przedstawionych poniżej.

Temperaturę ciał mierzymy termometrem, który jest wyskalowany najczęściej w stopniach Celsjusza. Co to jest stopień Celsjusza? Najprościej mówiąc, jest to 1/100 część różnicy wskazań termometru umieszczonego, odpowiednio, we wrzącej wodzie i w topniejącym lodzie, o których zakładamy że są stałe. Ale czy temperatury wrzącej wody i topiącego się lodu są naprawdę stałe, czy też zależą od innych parametrów, na przykład ciśnienia? W istocie tak jest. O tym, że temperatura wrzenia wody zależy od ciśnienia, możemy się przekonać umieszczając **szkłankę z wodą pod kloszem spod którego odpompowujemy powietrze**, więc zmniejszamy ciśnienie. Po pewnym czasie zauważamy, że woda zaczyna wrzeć w temperaturze pokojowej. A więc wodę możemy zagotować nie tylko przez podgrzewanie, co zazwyczaj robimy, ale również przez obniżanie ciśnienia. Zjawisko to można zaobserwować również w wysokich górach, gdzie ze względu na zmniejszone ciśnienie woda wrze w temperaturze niższej niż 100 °C (co utrudnia parzenie herbaty!).

Co więcej, można pokazać, że wodę można również „zagotować”, paradoksalnie, również poprzez oziębianie! Demonstrujemy to w **kolbie napełnionej wrzątkiem, która po zakorkowaniu i schłodzeniu nieco poniżej 100°C ponownie zaczyna wrzeć podczas polewania kolby zimną wodą**. To zaskakujące zjawisko w istocie pokazuje demonstrowane wcześniej zmniejszenie temperatury wrzenia wody przy obniżaniu ciśnienia – schładzanie kolby zimną wodą powoduje bowiem zmniejszenie ciśnienia pary wodnej w kolbie, co prowadzi, tak jak poprzednio, do obniżenia temperatury wrzenia. W ten sposób pokazujemy, że temperatura przejścia fazy ciekłej w gazową (wrzenia), będącego przykładem przejść fazowych opisywanych metodami termodynamiki, zależy od ciśnienia.

Podobne zjawisko można zaobserwować w przypadku innego przejścia fazowego: topnienia lodu. Czy lód topi się w temperaturze 0°C? Pytanie to można postawić inaczej: czy jeżdżąc na łyżwach rzeczywiście ślizgamy się po lodzie? Otóż nie, ślizgamy się po wodzie! Przekonuje nas o tym prosty pokaz w którym **przez bryłę lodu przewieszamy cieniutki drucik obciążony z obu stron ciężkimi hantlami**. Po pewnym czasie zauważamy (zazwyczaj towarzyszy temu wielki huk!), że hantle spadły a drut przeniknął przez bryłę lodu, pomimo że jest ona nadal w całości. Doświadczenie to tłumaczymy następująco: zwiększone ciśnienie pod drutem (cienki drut, duże obciążenie) powoduje lokalne obniżenie temperatury topnienia lodu pod drutem, a woda powstała ze stopionego lodu wypływa ponad drut, gdzie ponownie zamarza, gdyż panuje tam normalne ciśnienie i odpowiadająca mu normalna temperatura topnienia lodu. Proces ten zachodzi w sposób ciągły, prowadząc do „przeniknięcia” drutu przez lód bez jego „przecięcia” na dwie części. Co ten pokaz mówi nam o istocie jazdy na łyżwach? Ślizgamy się w rzeczywistości po wodzie powstałej chwilowo pod łyżwą, gdzie panuje wysokie ciśnienie (stosunkowo duży ciężar łyżwiarza i mała powierzchnia zaostrej krawędzi łyżwy). Oznacza to, że jazdę na łyżwach po lodzie powinniśmy raczej nazywać... jazdą po wodzie.

Termodynamika opisuje zjawiska „cieplne” i dlatego kojarzy potocznie z ciepłem. Dotychczas poruszaliśmy się w zakresie temperatur „charakterystycznych dla życia”, między lodem a wrzątkiem (0-100 °C). Przykładem ciała bardzo zimnego jest ciekły azot, mający temperaturę poniżej -195 °C, który po raz pierwszy został skroplony w 1883 roku przez polskich uczonych, profesorów Uniwersytetu Jagiellońskiego ...

Wróblewskiego i ... Olszewskiego. **Ciekły azot wylewany na stół** zachowuje się podobnie jak woda wylewana na gorącą blachę. W obu tych przypadkach można zaobserwować, że poruszające się kropelki azotu na stole, jak i wody na gorącej blasze, utrzymują się „przy życiu” zaskakująco długo. Zjawisko to, zwane efektem Leidenfrosta, jest spowodowane wytwarzaniem cienkiej warstwy gazu (azotu lub pary wodnej) bardzo słabo przewodzącej ciepło, tym samym uniemożliwiającej szybkie doprowadzenie do wrzenia kropelek cieczy.

W temperaturze ciekłego azotu zmieniają się drastycznie znane nam dobrze własności ciał: miękki listek lub kwiatek, czy elastyczna guma, **po zanurzeniu w ciekłym azocie kruszą się jak delikatne szkło**. Podobnie **zmniejsza się istotnie opór elektryczny metali**, o czym będziemy mówić w dalszej części, omawiając działko magnetyczne.

Ciekły azot w temperaturze pokojowej bardzo szybko paruje, dlatego nie można go przechowywać w zamkniętych szczelnie naczyniach. Można się o tym łatwo przekonać nalewając do metalowej rury trochę ciekłego azotu i zatykając szczelnie jej wylot korkiem gumowym. Po krótkim czasie korek wystrzeliwuje z wielkim hukiem, a urządzenie to jest swego rodzaju **strzelbą azotową**.

Elektryczność i magnetyzm

Innym atrakcyjnym urządzeniem strzelającym jest **działko magnetyczne**, a zrozumienie zasady jego działania jest dobrą sposobnością do omówienia podstawowych zjawisk z zakresu elektryczności i magnetyzmu. Istnienie ładunków elektrycznych dwóch rodzajów (umownie dodatnich i ujemnych) i ich oddziaływanie demonstrujemy przy pomocy **elektroskopu**, elektryzując przez pocieranie laski z różnego materiału. Wykorzystując **maszynę elektrostatyczną** można zademonstrować przepływ prądu elektrycznego. Przepływowi prądu elektrycznego w przewodniku towarzyszy pojawienie się wokół przewodnika pola magnetycznego, o czym przekonuje nas **skręcająca się igła magnetyczna**, jak i **opiłki obrazujące linie pola magnetycznego**. Na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym działa siła, zwana **siłą Lorentza**, co obserwujemy w prostym doświadczeniu. W kolejnej demonstracji z **cewką i oscylującym w jej pobliżu magnesem** pokazujemy, że zmianie pola magnetycznego w pobliżu obwodu elektrycznego towarzyszy indukowanie siły elektromotorycznej w tym obwodzie. Zjawisko to opisane jest ilościowo prawem indukcji Faradaya. Przedstawione zjawiska elektryczne pozwalają zrozumieć działanie **transformatora** – urządzenia mogącego zmieniać napięcie elektryczne, w szczególności wytwarzać wysokie napięcie.

Po takim przygotowaniu pojęciowym możemy zademonstrować – i zrozumieć – działanie dwóch ciekawych urządzeń: działka magnetycznego i generatora Tesli. **Działko magnetyczne** jest przedłużonym rdzeniem transformatora, na który zakładamy luźny pierścień aluminiowy. Po podłączeniu do transformatora napięcia wewnątrz pierścienia pojawia się pole magnetyczne co, zgodnie z prawem Faradaya wywołuje pojawienie się prądu indukcyjnego krążącego w pierścieniu, a działanie siły Lorentza powoduje szybkie unoszenie się pierścienia ku górze i „wystrzeliwanie” z rdzenia. W przypadku umieszczeniu na rdzeniu przeciętego pierścienia nie

obserwujemy efektu unoszenia, gdyż w przeciętym pierścieniu nie może już krążyć prąd indukcyjny. Najbardziej zaskakujący efekt uzyskujemy schładzając pierścień aluminiowy w ciekłym azocie: po umieszczeniu go na rdzeniu transformatora i włączeniu napięcia pierścień wystrzeliwuje wysoko, demonstrując w spektakularny sposób efekt działka magnetycznego. Takie zachowanie pierścienia wyjaśniamy faktem jego schłodzenia w bardzo niskiej temperaturze ciekłego azotu, co znacznie zmniejsza oporność aluminium. Prowadzi to z kolei do znacznego wzrostu wartości indukowanego prądu elektrycznego (prawo Ohma) i w efekcie do znacznego zwiększenia siły Lorentza powodującej „wystrzał” magnetyczny.

Zjawisko indukcji Faradaya stanowi istotę działania tzw. **generatora Tesli**, będącego transformatorem wytwarzającym wysokie napięcie o wysokiej częstotliwości na metalowej sferycznej elektrodzie umiejscowionej na szczycie tego urządzenia. W wyniku zbliżania metalowych przedmiotów do elektrody następują dobrze widoczne, atrakcyjne wizualnie, tj. wyładowania elektryczne w powietrzu (małe błyskawice), którym towarzyszy silna emisja światła. Pojawiające się świecenie wywołane jest wzbudzeniami atomów w zjonizowanym powietrzu w wyniku przepływu prądu elektrycznego w gazie w silnym polu elektrycznym. Zmniejszoną wersją tego urządzenia jest popularna „kula plazmowa”, mały generator wysokiego napięcia umieszczony w plastikowej kuli wypełnionej gazem, w której można obserwować atrakcyjne, zmienne i kolorowe wyładowania elektryczne. **Świetlówka** umieszczona w pobliżu cewki Tesli jarzy się, następuje bowiem jonizacja gazu pod wpływem pola elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości. Rekombinacja jonów powoduje emisję światła.

Drgania i fale

Fale poprzeczne i podłużne demonstrujemy z pomocą **długich kolorowych sprężyn**. Ponadto, obserwacja demonstrowanych zjawisk świetlnych (kula plazmowa), drgań mechanicznych (oscylujący magnes), akustycznych (wystrzał strzelby azotowej), jak też „elektryczny” **obraz fali dźwiękowej głosu wykładowcy obserwowany na oscyloskopie**, wprowadza nas w świat drgań i fal, będący tematem kolejnego wykładu (patrz opracowanie *Drgania i fale*).

Wykaz pokazów

Drgania i Fale

- 1) Wizualizacja fali dźwiękowej z pomocą oscyloskopu, dźwięk kamertonu, elektroniczny generator dźwięku o różnej częstotliwości
- 2) Wizualizacja drgań (gasnących) kamertonu z pomocą rysika i zadymionej szyby

Mechanika

- 1) Ruch na torze powietrznym
- 2) Ptaszek pijący wodę jako (fałszywe) perpetuum mobile
- 3) Ruch jednostajny i jednostajnie przyspieszony na torze powietrznym z wózkiem ze spadającymi kroplami atramentu
- 4) Spadek swobodny ciał w rurze z powietrzem i w rurze próżniowej

Termodynamika

- 1) Bryła lodu przecinana drutem obciążonym hantlami
- 2) Gotowanie wody w temperaturze pokojowej pod kloszem z wypompowanym powietrzem
- 3) Gotowanie wody w zakorkowanej i odwróconej kolbie poprzez polewanie zimną wodą
- 4) Kropelki ciekłego azotu tańczące na podłodze, na blasze, kropelki wody na gorącej blasze (efekt Leidenfrost)
- 5) Kwiatek, guma zanurzone w ciekłym azocie, zmiana własności ciał
- 6) Strzelanie z „działka azotowego” poprzez parowanie ciekłego azotu

Elektryczność i magnetyzm

- 1) Elektroskop, elektryzowanie laski ebonitowej i szklanej, ładunki elektryczne
- 2) Maszyna elektrostatyczna
- 3) Wytwarzanie pola magnetycznego przez przewodnik z prądem, wychylenie się igły magnetycznej
- 4) Wizualizacja pola magnetycznego z pomocą opiłków żelaza
- 5) Siła elektromotoryczna w ramce z prądem z polu magnetycznym magnesu stałego
- 6) Wahadło na sprężynie z magnesem drgające w solenoidzie, obserwacja indukowanego prądu na amperomierzu
- 7) Indukcja prądu w transformatorze, zależność napięcia od liczby zwojów uzwojenia wtórnego
- 8) Działko magnetyczne z pierścieniem w temperaturze pokojowej i pierścieniem schłodzonym ciekłym azotem
- 9) Kula plazmowa, jarzenie się świetlówki w jej pobliżu
- 10) Cewka Helmholtza, łuk elektryczny przy ostrzu noża, jarzenie się świetlówki



„Suto zastawiony” stół ze sprzętem do doświadczeń pokazowych, m. in. cewka Tesli, kula plazmowa, maszyna elektrostatyczna, elektromagnes z rdzeniem, tor powietrzny, bryła lodu przecinana drutem, klosz z pompą próżniową, kolba z wrzącą wodą



Tor powietrzny



Doświadczenie z „gotowaniem przez schładzanie”. Na pierwszym planie bryła lodu z hantlami



Bryła lodu, przez którą przeniknie drut obciążony hantlami



Ruch jednostajnie przyspieszony - demonstracja taśmy papierowej z kroplami atramentu



Kula plazmowa i świetlówka



Zabawa ze sprzętem pokazowym po wykładzie



Czynienie własnej dokumentacji fotograficznej przez uczniów