

Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Zakład Dydaktyki Fizyki

Oktawia Rózek
nr albumu 242387

Praca licencjacka
na kierunku Fizyka Nauczanie

Wybrane doświadczenia z fizyki realizowane w III etapie edukacyjnym.

Opiekun pracy dyplomowej
dr Krzysztof Rochowicz
Zakład Dydaktyki Fizyki

Toruń 2015

Pracę przyjmuję i akceptuję

Potwierdzam złożenie pracy dyplomowej

.....
data i podpis opiekuna pracy

.....
data i podpis pracownika dziekanatu

Składam serdeczne podziękowania
Panu dr Krzysztofowi Rochowiczowi
za okazywaną cierpliwość i pomoc w trakcie
przygotowywania pracy dyplomowej.

Uniwersytet Mikołaja Kopernika zastrzega sobie prawo własności niniejszej pracy licencjackiej w celu udostępniania dla potrzeb działalności naukowo-badawczej lub dydaktycznej.

Spis treści

1. Wstęp.....	6
2. Eksperyment w nauczaniu.....	7
2.1. Fizyka a życie.....	7
2.2. Doświadczenie, eksperyment, zadanie doświadczalne.....	8
2.3. Funkcje eksperymentu w procesie dydaktycznym.....	8
3. Podstawa programowa z fizyki obowiązująca w gimnazjum.....	10
3.1. Treści kształcenia.....	10
3.2. Wymagania doświadczalne.....	12
4. Realizacja doświadczeń fizycznych obowiązujących w edukacji gimnazjalnej.....	14
4.1. Wyznaczanie gęstości substancji.....	14
4.1.1. Wstęp teoretyczny.....	15
4.1.2. Wyznaczanie gęstości mąki.....	17
4.1.3. Wyznaczanie gęstości cukru.....	20
4.2. Badanie ruchu jednostajnego prostoliniowego.....	22
4.2.1. Wstęp teoretyczny.....	23
4.2.2. Wyznaczanie szybkości biegacza.....	30
4.2.3. Wyznaczanie prędkości pieszego.....	33
4.3. Wyznaczanie średniej wartości prędkości.....	34
4.3.1. Wstęp teoretyczny.....	35
4.3.2. Wyznaczanie średniej prędkości samochodu zabawki.....	41
4.3.3. Wyznaczanie średniej prędkości autobusu miejskiego.....	47
4.4. Badanie wartości siły, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało.....	49
4.4.1. Wstęp teoretyczny.....	51
4.4.2. Badanie wartości siły, którą woda działa na zanurzony w niej balsam do ciała...54	
4.4.3. Badanie wartości siły, którą woda działa na zanurzoną w niej kostkę.....	57
4.5. Wyznaczanie ciepła właściwego wody za pomocą czajnika elektrycznego.....	60
4.5.1. Wstęp teoretyczny.....	60
4.5.2. Wyznaczanie ciepła właściwego wody za pomocą czajnika elektrycznego.....	63
5. Karty pracy.....	67
5.1. Karta pracy - wyznaczanie gęstości substancji.....	67
5.2. Karta pracy - badanie ruchu jednostajnie prostoliniowego.....	69

5.3. Karta pracy - wyznaczanie średniej wartości prędkości.....	70
5.4. Karta pracy - badanie wartości siły, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało.....	74
5.5. Karta pracy - wyznaczanie ciepła właściwego wody.....	76
6. Podsumowanie.....	78
7. Bibliografia.....	79
8. Spis rysunków.....	81
9. Spis tabel.....	86
10. Spis wykresów.....	87
11. Spis cytatów.....	88

1. Wstęp

Doświadczenia i eksperymenty towarzyszą nam od wieków, niektóre z nich, takie jak pomiar obwodu Ziemi wykonany przez Eratostenesa datuje się już na rok 230 p n e. Zatem śmiem twierdzić, że towarzyszyły człowiekowi od zawsze. Są one nierozłączną częścią procesu poznania, dzięki nim uczymy się postrzegać rzeczywistość, mają ważną rolę w naszym życiu. Doświadczenia, czyli wywoływanie lub odtwarzanie zjawisk w sztucznych warunkach mają na celu wzbogacenie naszej wiedzy, są także środkiem weryfikacji hipotez, a zatem szczególną rolę pełnią też w nauczaniu fizyki.

W trzecim etapie edukacji szkolnej (gimnazjum) nauczyciel ma za zadanie zrealizować piętnaście doświadczeń z różnych dziedzin fizyki. Właśnie te doświadczenia będą tematem mojej pracy, mam zamiar opisać je szczegółowo i o ile będzie to możliwe przeprowadzić w warunkach „domowych” wykorzystując przedmioty codziennego użytku, takie same jakie posiada przeciętny uczeń. Praca składa się z pięciu rozdziałów. Z czego drugi i trzeci będą stanowić część teoretyczną pracy, czwarty zaś będzie częścią metodyczno - praktyczną.

Drugi rozdział pt.: „Eksperyment w nauczaniu” poświęcę przedstawieniu definicji eksperymentu i definicji doświadczenia. Scharakteryzuję funkcje eksperymentu w procesie dydaktycznym. Sformułuję pojęcie zadania doświadczalnego, często mylonego z doświadczeniem.

W trzecim rozdziale zatytułowanym: „Podstawa programowa z fizyki” zreferuję podstawę programową dotyczącą nauczania w gimnazjum, opiszę treści kształcenia związane z tym przedmiotem. Zwrócę szczególną uwagę na wymagania doświadczone, które ściśle związane są z przebiegiem moich eksperymentów.

Czwarty rozdział nazwany: „Realizacja doświadczeń fizycznych obowiązujących w edukacji gimnazjalnej” zawierać będzie dokładny opis przeprowadzonych przeze mnie doświadczeń, poprzedzonych wstępem teoretycznym oraz ciekawostkami historycznymi dotyczącymi danego zagadnienia. Rozdział ten wzbogacony będzie o zdjęcia ilustrujące krok po kroku przebieg doświadczeń.

Piąty rozdział zawiera karty pracy związane z omawianymi w poprzednim rozdziale zagadnieniami.

2. Eksperyment w nauczaniu

2.1. Fizyka a życie

Warto poświęcić więcej czasu na przygotowanie lekcji doświadczalnej z fizyki, aby dojrzeć radość oraz zrozumienie na twarzach uczniów. Zwłaszcza jeśli chodzi o taki przedmiot jak fizyka. Dlaczego? Ponieważ fizyka wyjaśnia to co nas otacza. Dlaczego Słońce świeci? Dlaczego przedmioty upuszczone spadają na ziemię? Te zagadnienia dotyczą naturalnych spraw, wydarzeń, które spotykamy na każdym kroku. Są one tak oczywiste, że często nie zadajemy sobie żadnego trudu, żeby sprawdzić, dlaczego coś działa właśnie tak a nie inaczej. Uczniowie twierdzą, iż znajomość fizyki jest niepotrzebna i do niczego nieprzydatna w życiu. Nieświadomi jak bardzo się mylą. Z prawami fizyki spotykamy się na niemal każdym kroku. Wystarczy wspomnieć o sile odśrodkowej i bezwładności, gdy jedziemy autobusem. O magnetyzmie, gdy przyczepiany na lodówkę kartkę z listą zakupów. O elektrodynamice, gdy uruchamiamy silnik samochodu lub suszymy włosy suszarką. O optyce, gdy przeglądamy się w lustrze. Rozejrzyjmy się - miękkie łóżko, czajnik, lodówka czy prom kosmiczny, wszystko czego używamy zawdzięczamy fizyce. Cywilizacja rozwija się w głównej mierze właśnie dzięki niej. Jednak wciąż na Ziemi pozostał ogrom niewyjaśnionych i tajemniczych zjawisk. Jednak znajomość fizyki umożliwia nam odkrycie mechanizmów ich działania. Niestety młodzi ludzie często przyjmują buntowniczą postawę wobec nauczania fizyki w szkole. Fizyka jest interesującą dziedziną nauki, jednak niewiele osób pewnie zdecyduje się na złączenie z nią swojej przyszłości. Co jest tego powodem? Zbyt szybkie tempo nauczania, sporo materiału do przyswojenia w zbyt krótkim czasie, sucha teoria nie mająca przełożenia na sytuacje spotykające nas w życiu codziennym, niestety takie lekcje zniechęcają do dalszej kontynuacji nauki fizyki. Jednak gdy cofnę się pamięcią do momentu wyboru kierunku studiów i przeanalizuję co wówczas skłoniło mnie do takiego właśnie wyboru, stwierdzam iż były to ciekawie prowadzone lekcje fizyki prowadzone przez nauczyciela w gimnazjum, bogate w doświadczenia, które wzbudziły we mnie chęć poznania świata w nieco inny sposób. I na pewno tak prowadzone zajęcia są jednym z rozwiązań problemu „Nie lubię fizyki”. Czy zmiana poglądu myślenia młodych ludzi odnośnie kształćmy uczniów w atrakcyjny sposób. Możemy udowodnić za pomocą doświadczeń, że to nie czarna magia, dostępna tylko dla wybitnych profesorów, lecz jedna z wielu dziedzin życia, wcale nie taka trudna, jak na pierwszy rzut oka się wydaje.

2.2. Doświadczenie, eksperyment, zadanie doświadczalne

Doświadczenie w filozofii jest jednym z głównych pojęć teorii poznania. Określone jako całość procesu postrzegania rzeczywistości lub ogół postrzeżonych faktów. Filozofowie wyróżniali doświadczenia zmysłowe, czyli zewnętrzne, oraz doświadczenia rozumowe zwane inaczej wewnętrznymi. W encyklopedii doświadczenie figuruje jako metodologiczne wywoływanie lub odtwarzanie zjawiska w sztucznych warunkach, synonim eksperymentu bądź próby. Jest to również ogół wiadomości zdobytych na podstawie obserwacji i przeżyć. Doświadczenie to również znajomość życia, rzeczy i ludzi, bądź zasób umiejętności, praktyka, wprawa. Słowo *doświadczenie* może odnosić się zarówno do nieprzetworzonych psychicznie, bezpośrednio odczutyh zdarzeń, tak samo jak do mądrości zdobytej w wyniku dalszej refleksji na temat tych wydarzeń lub ich interpretacji.¹

Eksperyment (z języka łacińskiego *experimentum* - doświadczenie, badanie) – w naukach przyrodniczych i społecznych jest to zbiór działań wzbudzających w obiektach materialnych określone reakcje i zjawiska w warunkach pozwalających kontrolować wszelkie istotne czynniki, które poddaje się dokładnej obserwacji, innymi słowy doświadczenie naukowe przeprowadzone w celu zbadania jakiegoś zjawiska². Zadanie to pewne określone założenie, które przyjmujemy sobie do wykonania. Zatem **zadanie doświadczalne** posiada zawsze jakiś sprecyzowany cel, do którego dąży się podczas wykonywania zadania, najczęściej jest to wyznaczenie pewnych wielkości fizycznych, bądź udowodnienie reguł występujących w przyrodzie. Wykonywanie zadania jest zwykle procesem, mniej lub bardziej rozciągniętym w czasie, który składa się z określonych metod, czy procedur działania. Sposób wykonywania zadania jest pozostawiony inwencji twórczej wykonującego, bądź ściśle sprecyzowany, zależnie od tego jakie zadanie mamy wykonać. Niekiedy mamy ściśle podany sposób realizacji celu, jak w przypadku zadań z fizyki, a innym razem mamy podany jedynie cel, a sposób wykonania sami generujemy spośród wielu dostępnych nam sposobów lub metod. Zadania fizyczne w szkole pojawiają się w procesie nauczania jako część urozmaicająca lekcje, w formie zadań domowych, zadań na olimpiadach fizycznych i różnych konkursach³.

2.3. Funkcje eksperymentu w procesie dydaktycznym

Doświadczenie i obserwacja to podstawowe źródła naszej wiedzy oraz narzędzia weryfikacji hipotez. Nasza ludzka ciekawość świata wciąż pcha nas do poznawania czegoś nowego. W taki właśnie sposób uczymy się życia, występujących zjawisk i ich przyczyn,

¹ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 494

² D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 548

³ <http://sjp.pwn.pl/sjp/zadanie;2542078>, dostęp dnia 15.09.14

tworzymy pewne schematy i dostrzegamy skutki działań. Takie umiejętności wraz z posługiwaniem się wyobraźnią są niezbędnym elementem właściwego funkcjonowania oraz rozwoju techniki i postępu w każdej dziedzinie życia. Fizyka jest nauką, która pozwala nam w dużej mierze wykształcić w sobie takie właśnie cechy.

Kolejne kroki jakie podejmujemy dochodząc do praw fizycznych, to jak posługujemy się uzyskiwanymi informacjami, jak je wykorzystujemy i przetwarzamy, mogą być dla nas pewnego rodzaju wzorcem w innych dziedzinach wiedzy. Fizyki uczymy się przez łączenie eksperymentów z obserwacją, faktami, wiedzą i myśleniem. Mimo niewielkiej liczby godzin przeznaczonych na fizykę, oraz obszernego materiału, powinniśmy starać się jak najczęściej przeprowadzać doświadczalne lekcje, a eksperymentowanie powinno być częścią procesu nauczania fizyki w szkołach.

W gimnazjum powinniśmy przeprowadzić 15 doświadczeń, z czego minimum połowa powinna być wykonana samodzielnie przez uczniów. Właśnie tego typu doświadczenia mają największe znaczenie w procesie dydaktycznym. Podczas ich wykonywania uczniowie:

- zdobywają umiejętność planowania i organizowania własnej pracy,
- określają cele i warunki przebiegu doświadczenia,
- zapoznają się z budową i zasadą działania przyrządów pomiarowych oraz urządzeń codziennego użytku,
- uczą się stawiania hipotez badawczych, określania warunków fizycznych niezbędnych do zajścia danego zjawiska, opisywania określonego zjawiska fizycznego i przyporządkowanych mu wielkości.

Skutkiem jest poszerzenie i uporządkowanie ich wiadomości, weryfikacja wiedzy, formułowanie wniosków. Uczniowie rozwijają w sobie także umiejętność współpracy w zespole, bycia odpowiedzialnym za wspólne dzieło oraz pokonywania trudności, a także cierpliwości, wyrozumiałości, staranności, dokładności i samokontroli. Dzięki lekcjom doświadczalnym możemy w pełni wykorzystać aktywność uczniów i ich zdolność poznawczą oraz rozwijać w nich zainteresowanie fizyką. Ponadto doświadczenia poparte przykładami z życia codziennego przyczyniają się do postrzegania fizyki jako prostej i potrzebnej nauki. Dzięki temu uczeń przestaje bać się tego przedmiotu⁴.

⁴ <http://www.bsp.bielsko.pl/publikacje/bolek4.htm>, dostęp dnia 30.12.14

3. Podstawa programowa z fizyki obowiązująca w gimnazjum

W polskim prawie oświatowym obowiązkowy na danym etapie edukacyjnym określony został zestaw treści nauczania oraz umiejętności, które muszą być uwzględnione w programie nauczania i umożliwiają ustalenie kryteriów ocen szkolnych i wymagań egzaminacyjnych. Podstawę programową dla wszystkich rodzajów szkół ogłasza minister odpowiedzialny za oświatę i wychowanie. W roku 2012 weszła w życie aktualna podstawa programowa.

3.1. Treści kształcenia

Treść kształcenia w podstawie programowej wyróżnia cele kształcenia, jako wymagania ogólne oraz treści nauczania, czyli wymagania szczegółowe. Celem ogólnym kształcenia uczniów w nauczaniu fizyki jest pozyskanie takich umiejętności jak:

- wykorzystanie wielkości fizycznych do opisu poznanych zjawisk lub rozwiązania prostych zadań obliczeniowych,
- przeprowadzanie doświadczeń i wyciąganie wniosków z otrzymanych wyników,
- wskazywanie w otaczającej rzeczywistości przykładów zjawisk opisywanych za pomocą poznanych praw i zależności fizycznych,
- posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy przeczytanych tekstów (w tym popularno-naukowych).

Natomiast w drugiej części przedstawione są dokładne wymagania dotyczące wszystkich działów poznawanych przez uczniów podczas procesu nauczania. Część z nich zostaje zrealizowana podczas przeprowadzenia doświadczeń takich jak te opisane w rozdziale trzecim. Przeprowadzając doświadczenie polegające na badaniu ruchu jednostajnego oraz przez wyznaczanie szybkości średniej uczeń przysposabia:

- posługiwanie się pojęciem prędkości do opisu ruchu,
- przeliczanie jednostki prędkości,
- odczytywanie prędkości i przebytej odległości z wykresów zależności drogi i prędkości od czasu oraz rysowaniem tych wykresów na podstawie opisu słownego,
- odróżnianie prędkości średniej od chwilowej w ruchu niejednostajnym,
- posługiwanie się pojęciem przyspieszenia do opisu ruchu prostoliniowego, jednostajnie przyspieszonego.

Zatem nabywa wiedzę i umiejętności z działu ruch i siły. Obliczając gęstość ciała bądź wyznaczając wartość siły działającej na ciało zanurzone w cieczy uczniowie przyswajają wiadomości dotyczące właściwości materii, ale również siły:

- analizowanie różnic w budowie mikroskopowej ciał stałych, cieczy i gazów;
- omawianie budowy kryształów na przykładzie soli kamiennej;
- posługiwanie się pojęciem gęstości;
- stosowanie do obliczeń związku między masą, gęstością i objętością ciał stałych i cieczy, na podstawie wyników pomiarów wyznacza gęstość cieczy i ciał stałych;
- opisywanie zjawiska napięcia powierzchniowego na wybranym przykładzie;
- posługiwanie się pojęciem ciśnienia (w tym ciśnienia hydrostatycznego i atmosferycznego);
- formułowanie prawa Pascala i podawanie przykładów jego zastosowania;
- analizowanie i porównywanie wartości sił wyporu dla ciał zanurzonych w cieczy lub gazie;
- wyjaśnienie pływania ciał na podstawie prawa Archimedesesa;
- podawanie przykładów sił i rozpoznawanie ich w różnych sytuacjach praktycznych;
- stosowanie do obliczeń związku między masą ciała, przyspieszeniem i siłą;
- posługiwanie się pojęciem siły ciężkości;
- opisywanie wpływu oporów ruchu na poruszające się ciała.

Przeprowadzając piąte doświadczenie uczniowie wzbogacą swoją wiedzę o takie pojęcia jak: ciepło, ciepło właściwe, energia wewnętrzna. Podstawa programowa wyróżnia także wymagania przekrojowe, podczas przeprowadzania opisanych przeze mnie doświadczeń zostają zrealizowane niżej wymienione wymagania:

- opisywanie przebiegu i wynik przeprowadzanego doświadczenia, wyjaśnia rolę użytych przyrządów, wykonuje schematyczny rysunek obrazujący układ doświadczalny;
- wyodrębnianie zjawiska z kontekstu, wskazywanie czynników istotnych i nieistotnych dla wyniku doświadczenia;
- szacowanie rzędu wielkości spodziewanego wyniku i ocenianie na tej podstawie wartości obliczanych wielkości fizycznych;
- przeliczanie wielokrotności i podwielokrotności (przedrostki mikro-, mili-, centy-, hekto-, kilo-, mega-); przeliczanie jednostek czasu (sekunda, minuta, godzina, doba);
- rozróżnianie wielkości dane i szukane;

- odczytywanie danych z tabeli i zapisywanie danych w formie tabeli;
- rozpoznawanie proporcjonalności prostej na podstawie danych liczbowych lub na podstawie wykresu oraz posługiwanie się proporcjonalnością prostą;
- sporządzanie wykresu na podstawie danych z tabeli (oznaczenie wielkości skali na osiach), a także odczytywanie danych z wykresu;
- rozpoznawanie zależności rosnącej i malejącej na podstawie danych z tabeli lub na podstawie wykresu oraz wskazywanie wielkości maksymalnej i minimalnej;
- posługiwanie się pojęciem niepewności pomiarowej;
- zapisywanie wyniku pomiaru lub obliczenia fizycznego jako przybliżonego (z dokładnością do 2–3 cyfr znaczących);
- planowanie doświadczenia lub pomiaru, wybieranie właściwego narzędzia pomiaru; mierzenie: czasu, długości, masy.

Oprócz tego typu zagadnień uczeń podczas całego kształcenia nabywa nowych wiadomości z takich działów jak:

- energia,
- elektryczność,
- magnetyzm,
- ruch drgający i fale,
- fale elektromagnetyczne i optyka.

3.2. Wymagania doświadczalne

W trakcie nauki w gimnazjum dobrze byłoby gdyby uczeń obserwował i opisywał jak najwięcej doświadczeń. Nie mniej niż połowa doświadczeń opisanych poniżej powinna zostać wykonana samodzielnie przez uczniów w grupach, pozostałe doświadczenia – jako pokaz dla wszystkich, wykonany przez wybranych uczniów pod kontrolą nauczyciela. W swojej pracy opisują wybrane doświadczenia.

Uczeń podczas nauczania fizyki:

- 1) wyznacza gęstość substancji, z jakiej wykonano przedmiot w kształcie prostopadłościanu, walca lub kuli za pomocą wagi i linijki;
- 2) wyznacza prędkość przemieszczania się (np. w czasie marszu, biegu, pływania, jazdy rowerem) za pośrednictwem pomiaru odległości i czasu;
- 3) dokonuje pomiaru siły wyporu za pomocą siłomierza (dla ciała wykonanego z jednorodnej substancji o gęstości większej od gęstości wody);

- 4) wyznacza masę ciała za pomocą dźwigni dwustronnej, innego ciała o znanej masie i linijki;
- 5) wyznacza ciepło właściwe wody za pomocą czajnika elektrycznego lub grzałki o znanej mocy (przy założeniu braku strat);
- 6) demonstruje zjawisko elektryzowania przez tarcie oraz wzajemnego oddziaływania ciał naładowanych;
- 7) buduje prosty obwód elektryczny według zadanego schematu (wymagana jest znajomość symboli elementów: ogniwo, opornik, żarówka, wyłącznik, woltomierz, amperomierz);
- 8) wyznacza opór elektryczny opornika lub żarówki za pomocą woltomierza i amperomierza;
- 9) wyznacza moc żarówki zasilanej z baterii za pomocą woltomierza i amperomierza;
- 10) demonstruje działanie prądu w przewodzie na igłę magnetyczną (zmiany kierunku wychylenia przy zmianie kierunku przepływu prądu, zależność wychylenia igły od pierwotnego jej ułożenia względem przewodu);
- 11) demonstruje zjawisko załamania światła (zmiany kąta załamania przy zmianie kąta padania – jakościowo);
- 12) wyznacza okres i częstotliwość drgań ciężarka zawieszzonego na sprężynie oraz okres i częstotliwość drgań wahadła matematycznego;
- 13) wytwarza dźwięk o większej i mniejszej częstotliwości od danego dźwięku za pomocą dowolnego drgającego przedmiotu lub instrumentu muzycznego;
- 14) wytwarza za pomocą soczewki skupiającej ostry obraz przedmiotu na ekranie, odpowiednio dobierając doświadczalnie położenie soczewki i przedmiotu.

Prezentowana podstawa programowa w zakresie podstawowym (gimnazjum i pierwsza klasa szkół ponadgimnazjalnych) obejmuje znaczną część tradycyjnego materiału uczonego dotychczas. Obecna podstawa zakłada, że dane zagadnienie uczone będzie tylko jeden raz w gimnazjum lub w pierwszej klasie szkoły ponadgimnazjalnej, co stanowi największą zmianę w nowej postawie programowej. Wyjątkiem są tu zagadnienia omawiane w wersji rozszerzonej w drugiej lub trzeciej klasie liceum. Podstawa programowa zakłada, że na poziomie podstawowym, w gimnazjum i pierwszej klasie szkoły ponadgimnazjalnej uczenie fizyki powinno odbywać się głównie na poziomie jakościowym, natomiast w wersji rozszerzonej zakłada głównie uczenie ilościowe, z wykorzystaniem bardziej zaawansowanego języka matematycznego⁵.

⁵<http://www.fizyka.osw.pl/Portals/physicseducation/Podstawa%20programowa%20z%20fizyki%20-%202009.pdf>, dostęp dnia 15.05.14

4. Realizacja doświadczeń fizycznych obowiązujących w edukacji gimnazjalnej

4.1. Wyznaczanie gęstości substancji

Co jest cięższe: kilogram pierza czy kilogram żelaza? Co to znaczy, że pierze jest lżejsze?

Rysunek 1. Stos pierza.



Źródło: <http://www.pierzeipuch.pl/oferta.html> , dostęp dnia 21.11.14

Rysunek 2. Odłam żelaza.



Źródło: <http://www.skup-zelazo-molibdenu.gielda-zlomu.pl/artykuly/zelazo-molibden-wlasciwosci.html> , dostęp dnia 21.11.14

Odpowiadając na te pytania musimy wspomnieć o gęstości. Już w III w. p. n. e. żyjący wówczas Archimedes⁶ znalazł metodę określania gęstości ciała. Pojęcie gęstości pojawiało się też w dziele Kartezjusza⁷, „Principia philosophiae”. Autor w drugiej części omawia najogólniejsze zagadnienia fizyki kartezjańskiej, dotyczące kosmosu, ciał fizycznych, materii, czasu oraz ruchu i tam przedstawia gęstość ściśle związaną z definicją masy, wówczas nazywaną ilością materii. Przez Newtona⁸ gęstość również określana była

⁶ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 98

⁷ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 465

⁸ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom II*, Warszawa 1999, s. 613

przez pojęcie masy. Newton sprecyzował masę jako wielkość proporcjonalną zarówno do gęstości ciała, jak i do jego objętości. Uważał, że gęstość ciała zależy od tego, jaką część objętości ciała zajmuje materia. Swoją tezę przedstawił między innymi w pracy pt.: „Philosophiae naturalis principia mathematica”, gdzie obok praw powszechnego ciężenia sformułował prawa ruchu leżące u podstaw mechaniki. W tym temacie wyznaczą gęstość dwóch substancji sypkich, które przyjmą kształt naczynia, przez co zajmę się pierwszym z wymagań doświadczalnych podstawy programowej.

4.1.1. Wstęp teoretyczny

Gęstość^{9 10} to wielkość charakteryzująca rozkład przestrzenny rozważanej wielkości fizycznej, np. masy, siły, pędu, energii, ładunku elektrycznego. Dla rozkładu jednorodnego gęstość wielkości A jest równa stosunkowi tej wielkości w rozważanym obszarze do objętości V tego obszaru. Dla rozkładu niejednorodnego gęstość określa się w danym punkcie i stanowi ona granicę tego stosunku, gdy objętość rozważanego obszaru (zawierającego dany punkt) dąży do 0. Na początek zależność gęstości, masy i objętości w rozkładzie jednorodnym. Gęstość lub gęstość masy (masa właściwa) przedstawia wzór (1), gdzie m - masa rozważanego ciała o objętości V .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

W przypadku substancji niejednorodnych, gęstość nie jest „stała w przestrzeni” i określana jest dla każdego punktu z osobna. Definiuje się ją jak wyżej, przy założeniu, że wybrana porcja substancji, obejmująca dany punkt, jest jak najmniejsza. Wybierając próbkę w otoczeniu danego punktu otrzymujemy gęstość w tym punkcie jako granicę stosunku masy próbki dm do jej objętości dV przy rozmiarach próbki dążących do zera (2).

$$\rho = \frac{dm}{dV} \quad (2)$$

Znajomość gęstości pozwala na obliczenie masy określonej objętości substancji. Dla substancji jednorodnej zachodzi zależność (3),

$$m = \rho V \quad (3)$$

a dla ciał niejednorodnych obrazuje równanie (4)

⁹ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom II*, Warszawa 1999, s. 704

¹⁰ <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/3905205>, dostęp dnia 06.10.14

$$m = \int_V \rho dV \quad (4)$$

Oprócz gęstości opisanej powyżej, w fizyce istnieje również dużo innych wielkości nazywanych gęstością. Gęstość siły ciężkości (ciężar właściwy) przedstawia wzór (5), w którym \vec{Q} - siła ciężkości działająca na ciało (ciężar ciała), \vec{g} - przyspieszenie nadawane ciału przez siłę ciężkości (na Ziemi - przyspieszenie ziemskie).

$$\gamma = \frac{\vec{Q}}{V} = \frac{m\vec{g}}{V} = \rho \vec{g} \quad (5)$$

Możemy również obliczyć gęstość pędu w sposób przedstawiony we wzorze (6), gdzie \vec{p} - pęd i \vec{V} - prędkość ciała.

$$\vec{\chi} = \frac{\vec{p}}{V} = \rho \vec{V} \quad (6)$$

Ciekawą wielkością jest też gęstość ładunku elektrycznego przedstawiona poniżej (7), gdzie Q - całkowity ładunek w obszarze V .

$$\rho = \frac{Q}{V} \quad (7)$$

Warto wspomnieć o gęstości prądu elektrycznego (8), gdzie $\rho_+, \vec{V}_+, \rho_-, \vec{V}_-$ - gęstości i prędkości dodatniego i ujemnego ładunku elektrycznego.

$$\vec{j} = \rho_+ \vec{V}_+ + \rho_- \vec{V}_- \quad (8)$$

Oprócz zdefiniowanych wyżej gęstości objętościowych (dla przestrzennych rozkładów), wprowadza się analogicznie gęstości powierzchniowe i liniowe, odpowiednio dla rozkładów powierzchniowych i liniowych. W wypadku wielkości fizycznych charakteryzujących przepływ, gęstość (objętościowa) jest równocześnie gęstością (powierzchniową) strumienia tej wielkości i jej wartość określa ilość tej wielkości przepływającą w jednostce czasu przez jednostkę powierzchni, prostopadłą do kierunku przepływu. Gęstość pędu jest więc gęstością strumienia masy. Gęstość prądu elektrycznego \vec{j} - gęstością strumienia ładunku (natężenia prądu elektrycznego), wartość (długość) wektora \vec{j} jest równa stosunkowi natężenia prądu elektrycznego I do pola powierzchni S prostopadłej do kierunku przepływu prądu - wzór (9).

$$|\vec{j}| = \frac{I}{S} \quad (9)$$

Definicja z jaką spotykają się uczniowie jest prostsza i brzmi następująco:

Gęstość jest wielkością fizyczną charakterystyczną dla danej substancji w określonej temperaturze. Oblicza się ją jako iloraz masy ciała i objętości, który możemy przedstawić za pomocą wzoru (10).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10)$$

Jednostką gęstości w układzie SI jest $1 \frac{kg}{m^3}$. Co to znaczy, że gęstość substancji wynosi $1 \frac{kg}{m^3}$?

Wyobraźmy sobie sześcian o wymiarach $1m \times 1m \times 1m$, który ma masę równą $1kg$. Jest on wykonany z materiału o gęstości $1 \frac{kg}{m^3}$. Jeżeli zaś identyczny sześcian, wykonany z innej

substancji ma masę np. $5000 kg$, to gęstość tej substancji wynosi $5000 \frac{kg}{m^3}$.

Pojęcie gęstości często wprowadza się za pomocą jednakowych prostopadłościennych bryłek, np. żelaza, miedzi, drewna, aluminium. Uczeń odpowiada na pytanie „czym różnią się te bryłki?”, wnioskując iż jedne są lżejsze, a inne cięższe. W kolejnym kroku ważymy bryłki oraz porównujemy ich objętości. Obserwujemy sytuację, w której aby zrównoważyć na szalce ciężar małego sześcianu z żelaza potrzebujemy kilku klocków np. z drewna o tych samych wymiarach, jak sześcian z metalu. W ten sposób uczeń poznaje jedną z pierwszych wielkości fizycznych i właśnie taką gęstość, a dokładniej masę właściwą będą wyznaczać w kolejnych podrozdziałach.

4.1.2. Wyznaczanie gęstości mąki

Cel: Wyznaczenie gęstości substancji sypkiej – mąki.

Materiały: waga kuchenna, mąka, linijka/miara, naczynie o regularnych kształtach.

Rysunek 3. Materiały potrzebne do wykonania doświadczenia: Pomiar gęstości mąki.



Źródło: fotografia własna.

Czynności: 1. Wsypujemy mąkę do naczynia, którego objętość jesteśmy w stanie obliczyć. Jeśli nie posiadamy takiego naczynia możemy je zastąpić np. prostopadłościennym kartonem. Mąkę wsypujemy tak jak pokazuje rysunek czwarty, staramy się wypełnić całe naczynie.

Rysunek 4. Mąka w naczyniu.



Źródło: fotografia własna.

2. Mierzymy masę mąki.

Rysunek 5. Pomiar masy mąki i naczynia.



Źródło: fotografia własna.

Masa mąki w naczyniu 523g.

3. Mierzymy masę samego naczynia.

Rysunek 6. Pomiar masy pustego naczynia.



Źródło: fotografia własna.

Masa naczynia 45g.

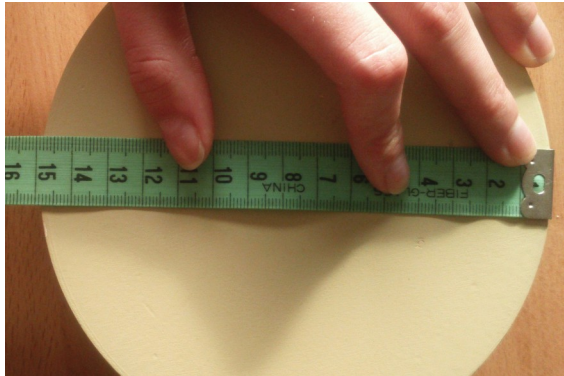
4. Obliczamy masę samej mąki

Masa mąki = masa mąki w naczyniu - masa naczynia $M_{mąki} = 523\text{g} - 45\text{g} = 478\text{g}$

5. W kolejnych krokach będziemy obliczać objętość jaką „zajęła” mąka. Najpierw dokonujemy pomiaru naczynia.

6. Pomiar dna naczynia.

Rysunek 7. Pomiar dna naczynia.



Źródło: fotografia własna.

7. Pomiar wysokości naczynia.

Rysunek 8. Pomiar wysokości naczynia.



Źródło: fotografia własna.

8. Musimy również wymierzyć szerokość brzegu naczynia, ponieważ objętość jaką zajmuje nasz pojemnik jest większa od objętości zajmowanej przez mąkę.

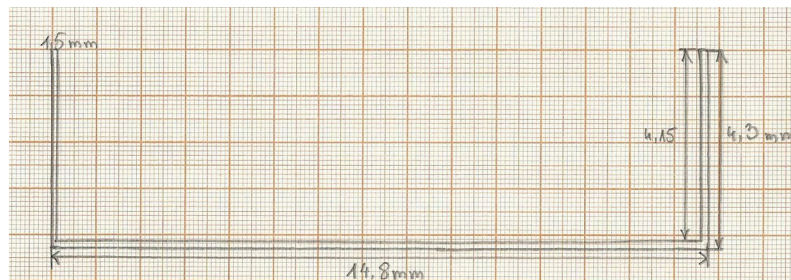
Rysunek 9. Pomiar grubości naczynia.



Źródło: fotografia własna.

9. Zestawmy wszystkie otrzymane wymiary.

Rysunek 10. Schemat przedstawiający wymiary naczynia.



Źródło: fotografia własna.

10. Obliczmy poszukiwaną objętość.

Mąka przyjmuje kształt naczynia tzn. walca o wymiarach: $r = 7,25 \text{ cm}$ (połowa średnicy $d = 14,5 \text{ cm}$), wysokość $h = 4,15 \text{ cm}$.

Objętość walca obliczamy za pomocą wzoru: $V = P_p h$,

gdzie $P_p = \pi r^2$

$$V = 3,14 \cdot 7,25 \text{ cm} \cdot 7,25 \text{ cm} \cdot 4,15 \text{ cm} = 684,94 \text{ cm}^3$$

Zatem objętość, którą zajmuje jest równa $684,94 \text{ cm}^3$.

11. Obliczamy gęstość mąki:

$$\rho_m = \frac{478 \text{ g}}{684,94 \text{ cm}^3} = 0,698 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Wynik: Nasza gęstość to $0,698 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, jest porównywalna z gęstością z tablic, która

wynosi $0,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Zatem możemy pokusić się o stwierdzenie iż doświadczenie zostało przeprowadzone poprawnie i z dość dużą dokładnością.

Dla porównania przeprowadzimy analogicznie takie samo doświadczenie wykorzystując inną substancję.

4.1.3. Wyznaczanie gęstości cukru

Cel: Wyznaczenie gęstości substancji sypkiej - cukru.

Materiały: waga kuchenna, cukier, linijka/miara, naczynie.

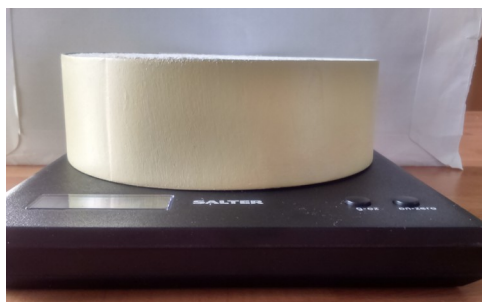
Rysunek 11. Materiały potrzebne do doświadczenia: Pomiar gęstości cukru.



Źródło: fotografia własna.

Czynności: 1. Wsypujemy cukier do naczynia, które wykorzystaliśmy w poprzednim doświadczeniu.

Rysunek 12. Pomiar masy cukru.



Źródło: fotografia własna.

2. Mierzymy masę cukru.

Rysunek 13. Pomiar masy cukru w naczyniu.



Źródło: fotografia własna.

Masa cukru w naczyniu 692g.

3. Ponieważ korzystamy z tego samego naczynia jego masa jest równa 45g , jak zmierzaliśmy w poprzednim doświadczeniu.

4. Obliczamy masę cukru:

Masa naczynia z cukrem – masa pustego naczynia = masa cukru

$$M_c = 692\text{g} - 45\text{g} = 647\text{g}$$

5. W kolejnym kroku obliczalibyśmy objętość jaką zajął cukier. Cukier jest substancją sypką tak jak mąka, przyjmuje kształt naczynia, do którego go nasypujemy i wypełnia je.

Objętość jaką zajął jest równa $684,94\text{ cm}^3$

6. Obliczamy gęstość cukru:
$$\rho_c = \frac{647\text{g}}{684,94\text{ cm}^3} = 0,945 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Wynik: Gęstość cukru z tablic $1,520 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, nasza gęstość jest o ponad pół grama mniejsza. Co doprowadziło do tak sporej różnicy pomiędzy wartościami, przyczyn jest wiele. Jedną z nich są błędy pomiaru wynikające z pomiarów bezpośrednich długości i masy. Dokładność miary to 1 mm , dokładność wagi to 1g . Kolejną przyczyną jest pomiar pośredni gęstości, tzn. dokonujemy pomiaru gęstości za pomocą pomiaru objętości i masy, a później korzystamy ze wzoru, do którego postawiamy zmierzone wartości. Jednak najbardziej na wynik naszego doświadczenia wpływa struktura cukru. Zwróćmy uwagę na budowę ziarenka cukru, w przybliżeniu jest to mała kosteczka. Dla porównania drobina mąki jest kilkadziesiąt razy mniejsza od cukru, co ma wpływ na ułożenie substancji w naczyniu. Pomiedzy kosteczkami cukru znajduje się powietrze, podczas gdy pomiędzy cząstkami maki tego powietrza jest znacznie mniej. Stąd wynikają różnice w gęstościach jakie otrzymaliśmy.

4.2. Badanie ruchu jednostajnego prostoliniowego

Cechą charakterystyczną materii jest ruch, począwszy od atomów i cząsteczek, a skończywszy na planetach, gwiazdach i innych obiektach kosmicznych. Opisem praw ruchu zajmuje się mechanika. Jeśli interesuje nas ruch ciał poruszających się z prędkościami znacznie mniejszymi od prędkości światła w próżni i nie chcemy wnikać w strukturę wewnętrzną tych ciał, wówczas wystarcza opis oferowany przez mechanikę klasyczną, oparty na prawach ruchu Newtona. Mechanika klasyczna dzieli się na statykę, zajmującą się badaniem równowagi ciał, np. unoszących się w powietrzu lub w wodzie, kinematykę, zajmującą się analizą ruchów bez wnikania w ich przyczynę, oraz dynamikę, uwzględniającą siły wywołujące ruch. Jeśli ciała poruszają się z prędkościami porównywalnymi z prędkością światła, wówczas do opisu ruchu musimy zastosować mechanikę relatywistyczną, opartą na szczególnej teorii względności Einsteina¹¹. Jeśli natomiast chcemy wnikać głęboko w strukturę materii i opisać ruchy cząstek elementarnych, jąder atomowych czy cząsteczek,

¹¹ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 544

musimy skorzystać ze specjalnego aparatu matematycznego, oferowanego przez mechanikę kwantową¹². Ponieważ w tym rozdziale będę zajmować się kolejnym zagadnieniem z podstawy programowej – badaniem ruchu, skupię się na zagadnieniach z dziedziny mechaniki klasycznej - kinematyki, a dokładniej analizą ruchu ciała w świecie makroskopowym. Ścisłej mówiąc ruchem jednostajnym prostoliniowym, który tak jak wiele innych zagadnień z mechaniki formując się przez lata niejednokrotnie stawał się powodem polemiki między naukowcami. Dawniej sądzono, że aby utrzymać ciało w ruchu (mowa tu również o ruchu jednostajnym) potrzebne jest działanie sił z zewnątrz. Galileusz¹³ - włoski fizyk, astronom, filozof, żyjący w latach 1564-1642 i uważany za twórcę fizyki nowożytnej, twierdził, iż „ Aby zmienić prędkość ciała potrzeba siły, aby utrzymać prędkość ciała nie trzeba siły”. Jak opisujemy ruch jednostajny w dzisiejszych czasach – postaram się przybliżyć w kolejnym podrozdziale.

4.2.1. Wstęp teoretyczny

Ruchem¹⁴ nazywamy zmianę w czasie położenia ciała materialnego wobec wyróżnionego układu odniesienia, zmianę wzajemnego położenia elementów ciała, a także rozchodzenie się zaburzeń pól fizycznych. Jednak w gimnazjum definicja ruchu ogranicza się do zmiany położenia ciała względem przyjętego układu odniesienia. Jeżeli każdy punkt ciała porusza się tak samo (w tym samym kierunku i z tą samą prędkością), to zwykle możemy jego ruch traktować jak ruch cząstki, co jest częstym sposobem modelowania ruchu obiektów w zadaniach, np. o ruchu klocków, samochodów. Gdy jednak interesuje nas w jaki sposób toczy się koło, wówczas nie możemy traktować tego ruchu koła jako ruchu cząstki punktowej. Traktowanie cząstki (obiektu, ciała) jak punktu materialnego jest tylko przybliżeniem, idealizacją, modelem stworzonym na potrzeby badania pewnych zagadnień między innymi określania położenia, które przedstawiamy względem obserwatora znajdującego się w początku układu odniesienia. Układ odniesienia to nic innego jak wybrany układ ciał, względem którego określa się położenie opisywanego ciała. W zależności od tego jaki układ odniesienia wybierzemy badane ciało może poruszać się lub pozostawać w spoczynku. Idąc na spacer z psem, z którym idziemy w tym samym kierunku i tak samo szybko, jesteśmy względem niego w spoczynku. Jednocześnie jesteśmy w ruchu (zmienia się nasze położenie) względem drzew, które mijamy. Położenie cząstki

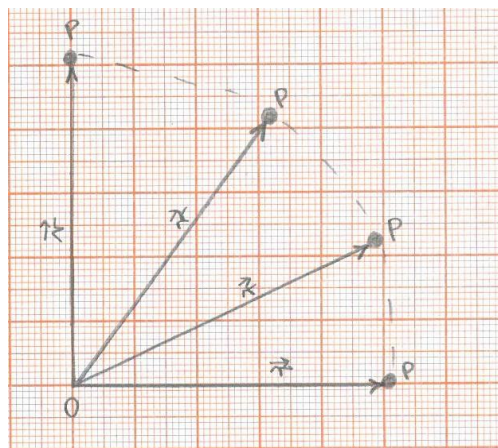
¹² K. Kierejsza, *Nowa encyklopedia szkolna*, Kraków 2005, s.358

¹³ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 675

¹⁴ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom III*, Warszawa 1999, s. 220

charakteryzuje wektor odniesienia zwany inaczej wektorem wodzącym \vec{r} , przeprowadzony od początku układu odniesienia do cząstki: cząstka znajduje się w punkcie P . Gdy cząstka porusza się zmienia się jej położenie - zmienia się wektor położenia, tak jak przedstawia poniższy rysunek.

Rysunek 14. Zmiana położenia wektora wodzącego za cząstką.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Ruch^{15 16} jest zmianą położenia w przestrzeni i czasie, jak wspomniałam do jego opisu potrzebny jest układ odniesienia oraz chronometr do pomiaru czasu. Zazwyczaj wybieramy taki układ odniesienia, który maksymalnie upraszcza opis ruchu. Wektor położenia możemy umieścić w kartezjańskim układzie współrzędnych $Oxyz$ w przypadku gry mamy do czynienia z ruchem w trzech wymiarach, np. lecący ptak porusza się w przestrzeni trójwymiarowej. Tymczasem do opisu ruchu łódki na morzu użyjemy dwuwymiarowego układu współrzędnych, a do opisu słupka rtęci w termometrze wystarczy nam jednowymiarowy układ. Prostokątne układy współrzędnych dwu- i trójwymiarowe nazywane są kartezjańskimi od nazwiska wybitnego francuskiego filozofa i matematyka, Rene Descates'a, zwanego Kartezjuszem. Przedstawiony na rysunku 15 wektor możemy opisać za pomocą wzoru (11), gdzie x, y, z to współrzędne wektora, a $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ to wektory jednostkowe.

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k} \quad (11)$$

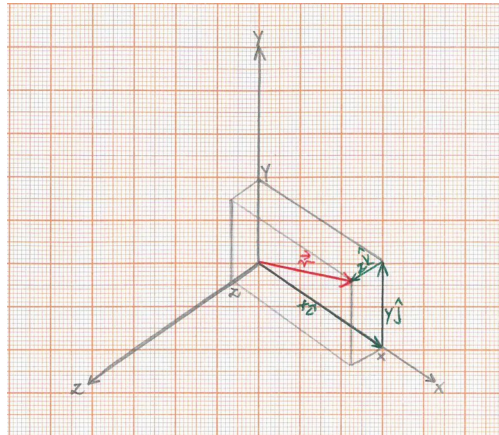
Wektor położenia zależy od czasu, mówimy iż jest funkcją czasu $\vec{r}(t)$, w związku z tym jego współrzędne x, y, z również zależą od czasu (12).

$$\vec{r}(t) = x(t)\hat{i} + y(t)\hat{j} + z(t)\hat{k} \quad (12)$$

¹⁵ Opracowanie własne na podstawie wykładu *Fizyka ogólna 1- Mechanika* prof. dr hab. J. Zaremby

¹⁶ G. Francuz-Ornat, T. Kulawik, M. Nowotny-Różańska, *Spotkania z fizyką. Podręcznik dla gimnazjum 1*, Warszawa 2012, s.124

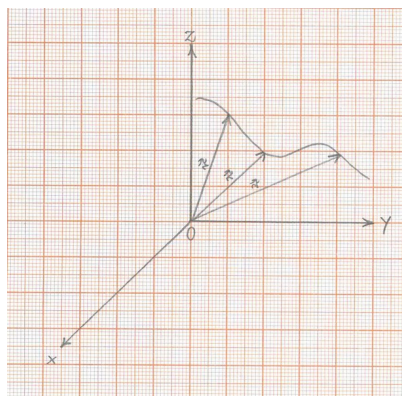
Rysunek 15. Wektor \vec{r} przedstawiony w układzie Oxyz.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

W mechanice klasycznej (niutonowskiej) zakładamy, że czas płynie identycznie dla każdego obserwatora, to znaczy dla każdego układu odniesienia, mówimy tutaj o „czasie absolutnym”. Różni obserwatorzy, nawet tacy poruszający się względem siebie, zmierzają taki sam odstęp czasu między dwoma takimi samymi zdarzeniami (powyższe założenie zostało zakwestionowane przez Szczególną Teorię Względności). W kinematyce do badania ruchu trzeba wprowadzić pojęcie przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia. Są to wielkości wektorowe określające kierunek i zwrot badanego ruchu. Przemieszczenie określa zmianę położenia i wyrażane jest w jednostkach długości, np. metrach. W podręczniku do fizyki znajdujemy prostą definicję przemieszczenia (inaczej zwanego przesunięciem) jako odległości między początkowym i końcowym położeniem ciała. Położenia ciała w kolejnych momentach wyznaczają tor lub trajektorię ciała. Tor cząstki jest to krzywa zakreślana przez koniec wektora $\vec{r}(t)$, w szkole ograniczamy się do linii, którą „zakreśla” poruszające się ciało. Co ważne tor nie zależy od czasu.

Rysunek 16. Krzywa przedstawiająca tor ruchu cząstki.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Wykres przedstawiony na rysunku 16 pokazuje ruch cząstki poruszającej się torem krzywoliniowym. Jednak w III etapie edukacyjnym sytuacji z jakimi spotyka się uczeń to zazwyczaj ruch cząstek po torze prostoliniowym, chociaż wymaga się, aby uczeń wiedział o różnorodności torów ruchu i potrafił wymienić przykłady. Przy okazji omawiania rodzajów toru ruchu niekiedy zwraca się uwagę na rozróżnianie toru, drogi (długości toru ruchu) i przemieszczenia. Uczniowie poznają również różne rodzaje ruchu, a pierwszym z nich jest ruch jednostajny prostoliniowy.

Ruchem jednostajnym prostoliniowym¹⁷ – nazywamy ruch odbywający się wzdłuż prostej ze stałą prędkością. Warto wspomnieć, że zgodnie z I zasadą dynamiki Newtona ciało porusza się po torze prostoliniowym z prędkością o stałej wartości (lub pozostaje w spoczynku, o ile spoczywało w chwili początkowej), jeżeli działająca na ciało siła wypadkowa jest równa zeru. W opisywanym ruchu wektor prędkości jest stały, innymi słowy jego kierunek (i zwrot) nie zależą od czasu. Skutkiem tego szybkość, czyli wartość bezwzględna prędkości, także jest niezmienna. To znaczy, że przyspieszenie jest równe zeru, a prędkość średnia równa jest prędkości chwilowej. Co więcej wartość bezwzględna przemieszczenia (zmiany położenia) jest taka sama jak droga pokonana przez ciało. Skoro prędkość¹⁸ w ruchu jednostajnym nie zmienia się w funkcji czasu, tzn. zmiana położenia w równych odstępach czasu jest stała, $V_t = V = const$, a zatem przemieszczenie zależy wprost proporcjonalnie od czasu, jak pokazuje zapis (13).

$$\Delta \vec{x}_t = \vec{x}_{t_2} - \vec{x}_{t_1} = \vec{V}(t_2 - t_1) = \vec{V} \Delta t \quad (13)$$

Przy czym (14) to odcinek czasu, w którym ciało pokonuje (15), czyli przebyło drogę zapisaną za pomocą wzoru (16), gdzie $V = |\vec{V}|$ to szybkość.

$$\Delta t = t_2 - t_1 > 0 \quad (14)$$

$$\Delta \vec{x}_t = \vec{x}_{t_2} - \vec{x}_{t_1} \quad (15)$$

$$\Delta s_t = s_{t_2} - s_{t_1} = |\vec{x}_{t_2} - \vec{x}_{t_1}| = |\Delta \vec{x}_t| = |\vec{V}| \Delta t = V(t_2 - t_1) \quad (16)$$

Oznacza to, że po czasie t_2 ciało znajduje się w położeniu przedstawionym za pomocą wyrażenia (17).

$$\vec{x}_{t_2} = \vec{V}(t_2 - t_1) + \vec{x}_{t_1} \quad (17)$$

¹⁷ <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/ruch;3969748.html>, dostęp dnia 14.10.14

¹⁸ R. P. Feynman, *Feynmana wykłady z fizyki. T. 1.1, Mechanika, szczególna teoria względności*, Warszawa 2001, s. 134

Gdy podstawimy $t=t_2$ i $t_1=0$ powyższe równanie ruchu przyjmuje postać opisaną w (18), a pokonaną drogę możemy przedstawić w postaci (19), gdzie t jest parametrem czasu, x_0 to początkowe położenie ciała, s_0 to droga pokonana przez ciało do tej pory (przeważnie przyjmujemy, że jest ona równa zero), natomiast \vec{V} oraz V to stałe odpowiednio prędkość i szybkość.

$$\vec{x}_t = \vec{V}t + \vec{x}_0 \quad (18)$$

$$s_t = |\vec{x}_t| = Vt + s_0 \quad (19)$$

Jeżeli ruch opisany jest za pomocą położenia x względem czasu t za pomocą funkcji całkownej $x(t)$, to droga jest równa długości krzywej przez nią wyznaczonej. Ponieważ prędkość jest pochodną drogi względem czasu (20), to przy oznaczeniach jw. przemieszczenie można wyrazić całką oznaczoną w postaci wzoru (21), przy czym prędkość jako stałą V względem czasu można wyłączyć przed całkę.

$$V(t) = \frac{dx}{dt} \quad (20)$$

$$\Delta x_t = x_{t_2} - x_{t_1} = \int_{t_1}^{t_2} dx_t = \int_{t_1}^{t_2} \vec{V} dt = \vec{V}(t_2 - t_1) \quad (21)$$

Dla $t=t_2$ oraz $t_1=0$ jest $x_t = \vec{V}t + x_0$.

Droga to długość krzywej, co przedstawia wzór (22), czyli dla $t=t_2$ oraz $t_1=0$ jest równa wartości przedstawionej we wzorze (23).

$$\Delta s_t = s_{t_2} - s_{t_1} = \int_{t_1}^{t_2} dx_t = \int_{t_1}^{t_2} |\vec{V}| dt = V(t_2 - t_1) \quad (22)$$

$$s_t = Vt + s_0 \quad (23)$$

Zgodnie z podstawą programową uczniowie gimnazjum powinni wiedzieć, że prędkość ruchu (\vec{V}) w każdej sekundzie ruchu, określamy jako iloraz wektora przemieszczenia przez czas trwania tego przemieszczenia i przedstawiamy za pomocą zależności (24) gdzie \vec{V} to prędkość, $\Delta \vec{x}$ to przemieszczenie, a Δt to czas trwania przemieszczenia¹⁹.

$$\vec{V} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \quad (24)$$

¹⁹ G. Francuz-Ornat, T. Kulawik, M. Nowotny-Róžańska, *Spotkania z fizyką. Podręcznik dla gimnazjum 1*, Warszawa 2012, s.132

Prędkość jest wielkością wektorową. W ruchu prostoliniowym przemieszczenie $\Delta \vec{x}$ jest równe drodze $\Delta \vec{x} = s$, więc prędkość można obliczyć ze wzoru (25), gdzie: s jest odcinkiem przebytej drogi, a t jest odcinkiem czasu.

$$V = \frac{s}{t} \quad (25)$$

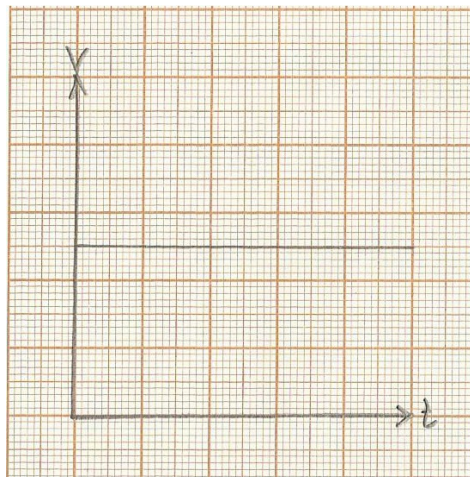
Prędkość mierzymy w metrach na sekundę $\left(\frac{m}{s}\right)$. Nie możemy podstawić każdego napotkanego czasu, a wyłącznie konkretny przedział - w którym ruch się odbywa. Podobnie z drogą, bierzemy pod uwagę odcinek, do którego obliczamy prędkość. Należy zaznaczyć, że pojęcie prędkości odnosi się do wektora, zaś pojęcie szybkości związane jest ze skalarem - wartością prędkości. Przyda się rozumieć - po co bywa i czemu tak bywa przedstawiona wersja wektorowa - tak naprawdę jest to definicja prędkości. Zapisaliśmy w niej dwa wektory - prędkości i przemieszczenia. Widzimy, że kierunek i zwrot wektora prędkości bywa ten sam co przemieszczenia. Jest to dodatkowa informacja dla nas. Tak więc, dzięki zapisowi wektorowemu wiemy, jak znaleźć wektor prędkości jeśli odnajdziemy jej kierunek ze zwrotem. W większości zadań z ruchem jednostajnym prostoliniowym możemy pomijać wzmiankę o kierunku i zwrocie prędkości, skoro się nie zmieniają. Dlatego będziemy używać zwykłej formy bez wektorów. Zwracamy uwagę iż w ruchu jednostajnym prędkość ruchu pozostaje stała co przedstawia (26).

$$V = const \quad (26)$$

Tworzymy definicję: w ruchu jednostajnym w równych odcinkach czasu ciało przebywa równe odległości – prędkość ruchu pozostaje stała. Możemy to również stwierdzić za pomocą doświadczeń, np. badania ruchu pęcherzyka powietrza poruszającego się w cieczy lub obserwacji jadących samochodów, które poruszają się ze stałą prędkością, a ich torem ruchu jest linia prosta. Relacja ta przedstawiona została na wykresie 1. Jeżeli prędkość ruchu pozostaje stała, to obliczenie przebytej drogi jest proste – wystarczy pomnożyć prędkość przez czas, który minął od początku ruchu. Przebyta droga s w ruchu jednostajnym jest iloczynem prędkości V i czasu t (27).

$$s = V \cdot t \quad (27)$$

Wykres 1. Zależności $V(t)$.

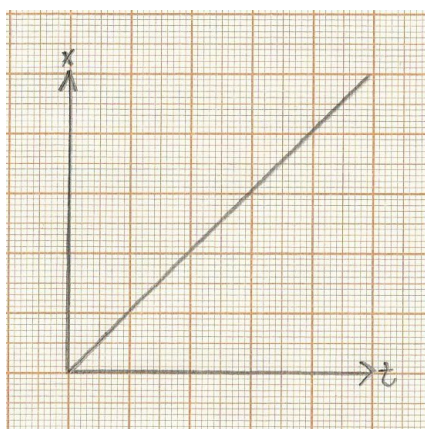


Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Oprócz umiejętności korzystania z zależności pozwalającej obliczyć drogę od uczniów wymaga się również umiejętności rysowania wykresów zależności drogi lub położenia od czasu - wykres 2. W niektórych przypadkach, zamiast o drodze - mówimy o położeniu ciała. Z reguły dowiadujemy się, iż ciało znajdowało się początkowo w odległości x_0 , po czym poruszało się z prędkością V w czasie t . Znając te wielkości, możemy podać, w jakiej odległości (od jakiegoś miejsca) przedmiot znajduje się po wykonaniu ruchu - obliczamy, jaką drogę pokonał i dodajemy początkową odległość. Można to oczywiście zobrazować wzorem (28), gdzie: s jest przebytą drogą, V - prędkością ruchu, t - czasem, a s_0 drogą przebytą zanim zaczęto pomiar czasu (drogą początkową).

$$s = s_0 + V \cdot t \quad (28)$$

Wykres 2. Zależność $x(t)$.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Jednak tę zależność uczniowie poznają w czwartym etapie edukacji. Drogę i położenie w wypadku ruchu jednostajnego prostoliniowego możemy używać zamiennie - dają nam przecież tę samą informację, tzn. o jaką odległość przemieściło się ciało.

4.2.2. Wyznaczanie szybkości biegacza

Cel doświadczenia: Wyznaczanie prędkości przez pomiar odległości i czasu.

Materiały: taśma miernicza, stoper, kreda (opcjonalnie).

Wykonujący doświadczenie: Hubert.

Czynności: 1. Zaznaczamy na podłożu odcinek o pewnej długości. Możemy również wykorzystać wyznaczone już odcinki na drodze, np. przydrożne słupki.

Rysunek 17. Hubert na drodze, na której zostanie wykonane doświadczenie.



Źródło: fotografia własna.

2. Odmierzamy odległości pomiędzy kolejnymi słupkami. Jeśli nie mamy odpowiednio długiej miary możemy po prostu zmierzyć odległość sznurkiem lub wstążeczką, a później wymierzyć jej długość. Do doświadczenia wybrałam 3 odcinki. Odcinek to odległość pomiędzy słupkami ze średnicą jednego słupka włącznie.

Rysunek 18. Pomiar odległości pomiędzy słupkami.



Źródło: fotografia własna.

Odcinki mają odpowiednio długości: $82,041\text{ m}$, $82,063\text{ m}$ oraz $82,055\text{ m}$.

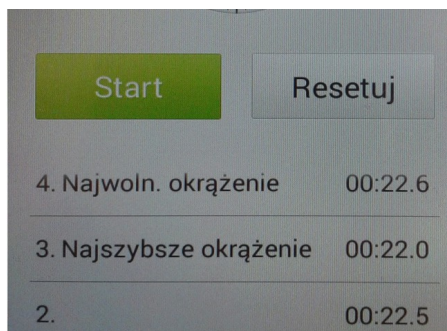
2. Hubert biegnie jednostajnie pokonując trzy wyznaczone odcinki. Uzyskuje on czasy: $22,5\text{ s}$, $22,0\text{ s}$, $22,6\text{ s}$

Rysunek 19. Hubert na starcie i mijający kolejne słupki.



Źródło: fotografia własna.

Rysunek 20. Pomiar czasu.



Źródło: fotografia własna.

4. Wyniki przedstawiamy w tabeli.

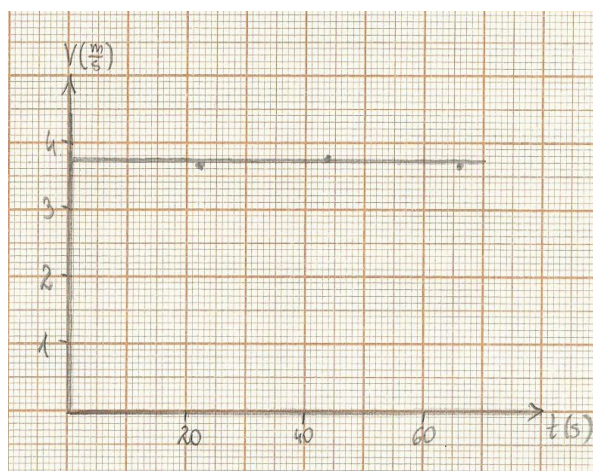
Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów dla biegu Huberta.

Pokonany dystans (numeracja)	Pokonany dystans (m)	Czas zmierzony stoperem (s)	Szybkość (m/s)
1-wszy	82.04	22.5	3.65
2-gi	82.06	22	3.73
3-ci	82.06	22.6	3.63

Źródło: opracowanie własne.

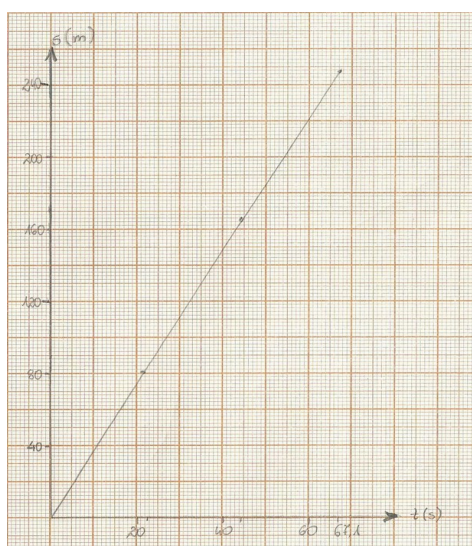
5. Rysujemy wykresy $V(t)$ i $s(t)$.

Wykres 3. Zależność $V(t)$.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Wykres 4. Zależność $s(t)$.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Wnioski: Hubert pokonuje prawie takie same odcinki drogi w przybliżonych odstępach czasu. Jego szybkość waha się pomiędzy $3,63$ a $3,73 \frac{m}{s}$. Porównując do siebie wyniki uzyskanych prędkości (dla każdego odcinka) i biorąc pod uwagę niepewność pomiaru możemy wywnioskować, że zaobserwowany przez nas ruch był ruchem jednostajnym, gdyż zgodnie z definicją prędkość w każdym fragmencie ruchu jest taka sama. Biorąc pod uwagę dokładność pomiaru wszystkie wyniki są zgodne.

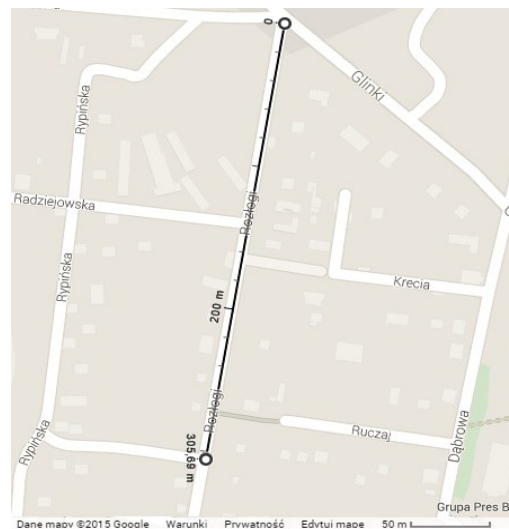
4.2.3. Wyznaczanie prędkości pieszego

Cel: Wyznaczenie naszej prędkości.

Materiały: stoper, mapa miasta.

Czynności: 1. Wyznaczamy trasę, którą chcemy pokonać. Niech to będzie fragment prostej drogi, którą w kolejnym etapie pokonamy ze stałą prędkością.

Rysunek 21. Mapa z wyznaczoną trasą.



Źródło: <https://www.google.pl/maps/place/Rozłogi,+Bydgoszcz/>, dostęp dnia 21.11.14

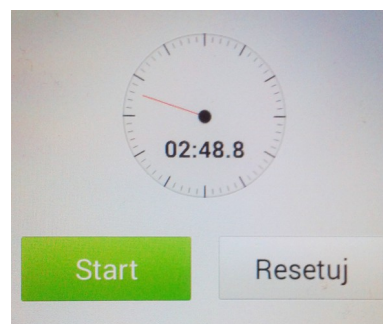
2. Sprawdzamy długość drogi korzystając z mapy. Obliczamy ją wykorzystując właściwości skali mapy lub korzystając z opcji map umieszczonych w internecie, tak jak zostało to przedstawione na rysunku 21.

Długość, którą pokonam jest równa $305,69\text{ m}$.

3. Pokonujemy drogę ruchem jednostajnym odmierzając przy tym czas.

Czas: $168,8\text{ s}$

Rysunek 22. Czas pokonania wyznaczonego odcinka.



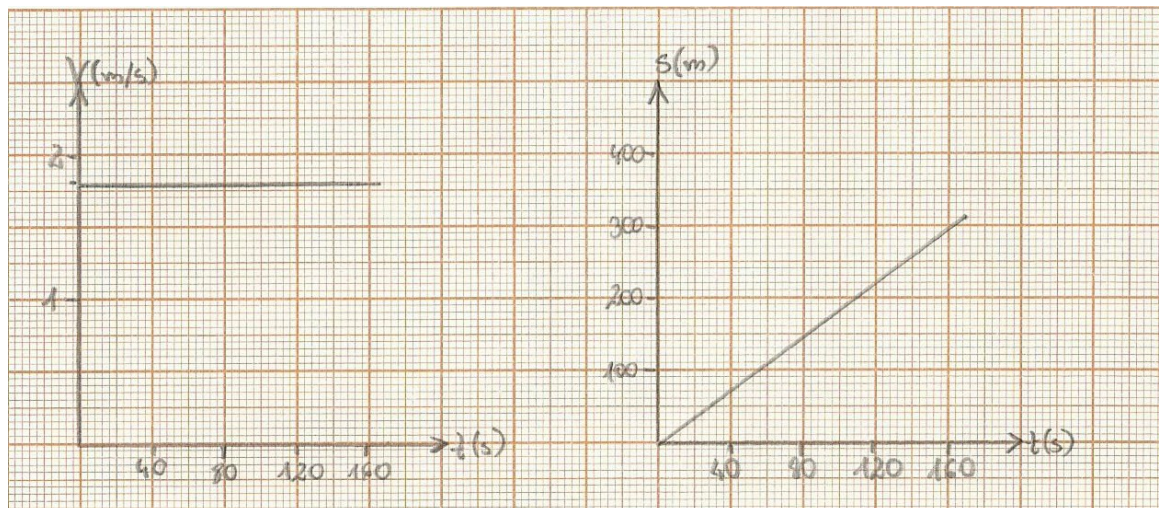
Źródło: fotografia własna.

4. Obliczamy naszą prędkość.

Korzystamy ze wzoru (25). Podstawiamy: $V = \frac{305,69 \text{ m}}{168,8 \text{ s}} = 1,81096 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,52 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

5. Tworzymy wykresy $V(t)$ i $s(t)$.

Wykres 5. Zależność $V(t)$. **Wykres 6.** Zależność $s(t)$.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Wniosek: Poruszam się z prędkością równą $6,52 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ czyli podobnie jak przeciętny pieszy. Jednak doświadczenie, jak każde poprzednie, jest obarczone błędem. W tym przypadku oprócz czasu reakcji człowieka, trzeba zwrócić uwagę na długość drogi, która mogła być niedokładnie wymierzona.

4.3. Wyznaczanie średniej wartości prędkości

Co roku napotykamy się na zmiany w rozkładach jazdy PKP. Mnoży się liczba artykułów dotyczących nowych rozkładów, szybszych połączeń i krótszego czasu podróży. W jednym z nich czytamy: „14 grudnia br., w rozkładowych kursach, pociągi przekroczą prędkość $160 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, z którą jeździmy w Polsce od 25 lat. Tym samym, będziemy pierwszym krajem spośród nowych członków Unii Europejskiej, w którym prędkość zostanie podniesiona do $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ”²⁰. Czy mówi się tu o prędkości rozwijanej przez pociągi, czyli prędkości chwilowej? Może jednak chodzi o prędkość średnią na całej trasie? Czy prędkość chwilowa i prędkość średnia w ogóle różnią się od siebie? Czy istnieje ruch, w którym

²⁰ Źródło cytatu: <http://www.plk-sa.pl/biuro-prasowe/informacje-prasowe/nowe-czasy-na-kolei-krotsza-podroz-w-nowym-rozkladzie-jazdy-2687/>, dostęp dnia 28.12.14

prędkość chwilowa równa się prędkości średniej? Odpowiedzi na tego typu pytania przedstawię w tym rozdziale.

Rysunek 23. Nowy pociąg na jednej z tras województwa świętokrzyskiego.

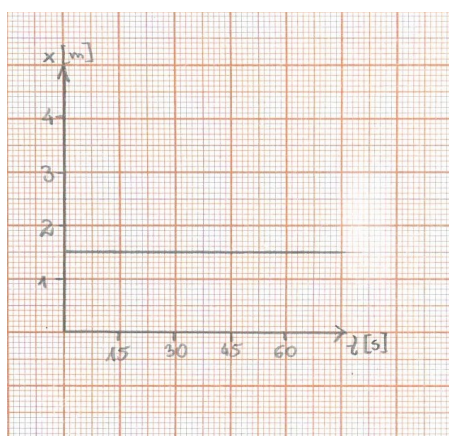


Źródło: <http://www.kurierkolejowy.eu/aktualnosci/7010/Swietokrzyskie-PR-uruchamiaja-nowe-pociagi.html>, dostęp dnia 07.01.15

4.3.1. Wstęp teoretyczny

Wygodnym sposobem zobrazowania ruchu ciała jest wykreślenie jego położenia x jako funkcji czasu t , czyli sporządzenia wykresu $x(t)$. Na poniższym rysunku (wykres 7) pokazano funkcję $x(t)$ dla autobusu, potraktowanego jako cząstka, który pozostaje w spoczynku w punkcie $x=1,5\text{ m}$. Kolejny rysunek (wykres 8) obrazuje poruszanie się autobusu. Pojawia się on w chwili $t=0\text{ s}$ w punkcie $x=1,5\text{ m}$, po czym wyjeżdża z zatoki autobusowej i porusza się w kierunku $x=4,5\text{ m}$, mija go w chwili $t=20\text{ s}$, a następnie przesuwa się w linii prostej²¹.

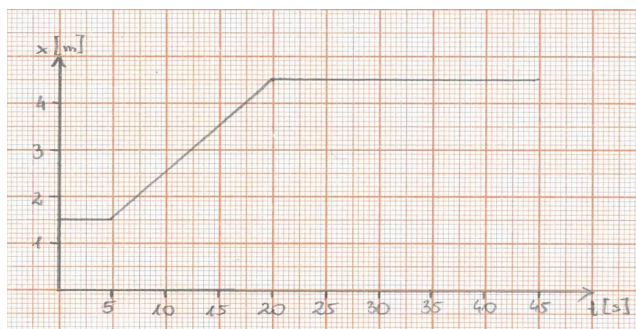
Wykres 7. Zależność $x(t)$.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

²¹ D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.1*, Warszawa 2007, s. 16

Wykres 8. Zależność $x(t)$.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Wykres 8 pokazuje zmianę położenia ciała w czasie, zatem możemy obliczyć jak szybko porusza się autobus. Szybkość autobusu możemy wyrazić w różny sposób, jedną z możliwości jest podanie średniej prędkości V_{sr} .

Prędkość średnia²² – jeżeli ciało zmieniło położenie z x_1 na x_2 w przedziale czasu pokazanym w formule (29), to prędkość średnią w tym przedziale czasu przedstawia wzór (30). Znak wielkości V_{sr} wskazuje średni kierunek ruchu, ponieważ jest wielkością wektorową. Prędkość średnia nie zależy od drogi, po jakiej poruszało się ciało, a tylko od jej położenia początkowego i końcowego.

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (29)$$

$$V_{sr} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (30)$$

Na wykresie x jako funkcji t , prędkość średnia w przedziale czasu Δt jest równa nachyleniu prostej, przechodzącej przez punkty krzywej, odpowiadające początkowi i końcowi tego przedziału. Podsumowując: aby obliczyć prędkość średnią musimy zmierzyć jedynie czas całego ruchu, od jego początku do końca, oraz całkowitą drogę przebytą. W przypadku gdy mamy do czynienia z ruchem prostoliniowym prędkość średnią V_{sr} definiujemy jako stosunek całkowitej przebytej s drogi do całkowitego czasu t , od początku do końca ruchu. Prędkość, jaką rozwija nasz autobus w czasie jazdy (na całej trasie) jest oczywiście wyższa, ale obliczenie prędkości średniej uwzględni również przyspieszenie i hamowanie. Zatem jak szybko porusza się autobus? Prędkościomierz autobusu w każdej chwili wskazuje prędkość, z jaką się porusza. Jest to tak zwana prędkość chwilowa. Prędkość wskazywana może się zmieniać, w zależności od tego czy autobus rusza z przystanku, hamuje, czy stoi. Aby prędkość obliczona z wyżej przedstawionego wzoru odpowiadała wskazaniom prędkościomierza, odcinki czasu Δt muszą być dostatecznie krótkie.

²²D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.1*, Warszawa 2007, s. 16

Prędkość chwilowa to po prostu prędkość ciała w danej chwili, otrzymujemy ją z prędkości średniej, zmniejszając przedział czasu Δt do wartości coraz bliższej zeru, zatem jest równa wyrażeniu (31).

$$V_{ch} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (31)$$

Prędkość chwilowa²³ w pewnej chwili jest równa nachyleniu wykresu x do funkcji t , w punkcie odpowiadającym tej chwili. Czego od uczniów wymaga podstawa programowa? Odróżnienia prędkości średniej od chwilowej w ruchu niejednostajnym.

Tabela 2. Porównanie prędkości średniej i chwilowej.

	Prędkość średnia	Prędkość chwilowa
Oznaczenie	V_{sr}	V_{ch}
Definicja	Definiujemy jako stosunek całkowitej przebytej drogi s do całkowitego czasu t , od początku do końca ruchu.	Definiujemy jako stosunek przemieszczenia Δx drogi do czasu małego przyrostu Δt .
Wzór	$V_{sr} = \frac{s_{całkowita}}{t_{całkowity}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}$	$\vec{V}_{ch} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$

Źródło: opracowanie własne.

Tłumaczy się również czym jest ruch niejednostajny - ruchem, w którym wartość prędkości zmienia się w czasie. Powinniśmy dodać, że oprócz zmiany wartości prędkości zmieniać się może również kierunek lub zwrot. Z ruchem niejednostajnym ściśle związane jest przyspieszenie. Gdy prędkość cząstki się zmienia, mówimy, że ona przyspiesza. Dla ruchu wzdłuż osi przyspieszenie średnie a_{sr} w przedziale czasu Δt jest przedstawione w zależności (32), gdzie V_1 jest prędkością cząstki w chwili t_1 , a V_2 jest prędkością w chwili t_2 ²⁴.

$$a_{sr} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (32)$$

Skoro określiliśmy czym jest prędkość średnia i chwilowa, zdefiniowaliśmy przyspieszenie średnie, to pora na przyspieszenie chwilowe. Przyspieszenie chwilowe jest pochodną prędkości względem czasu jak w (33).

²³D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.1*, Warszawa 2007, s. 18

²⁴D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.1*, Warszawa 2007, s. 20

$$a = \frac{dV}{dt} \quad (33)$$

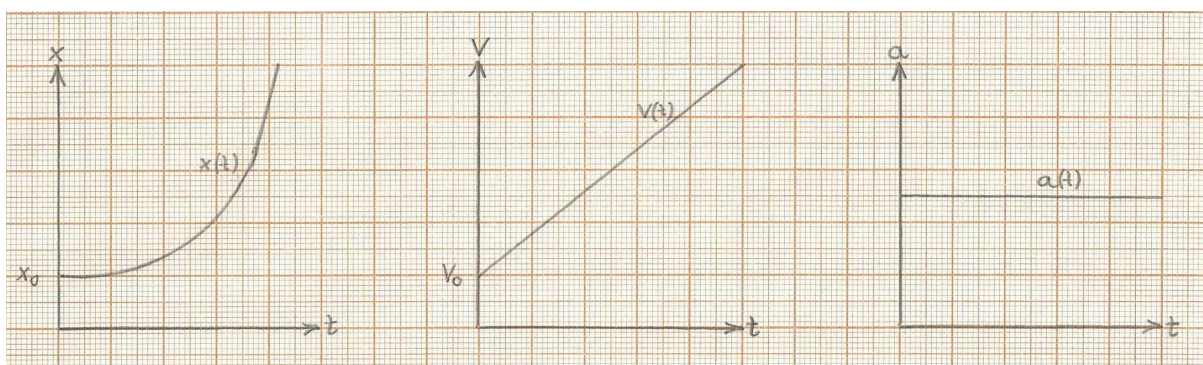
Przyspieszenie cząstki w danej chwili jest równe szybkości zmiany prędkości cząstki w tej chwili. Korzystając z wyrażen określających prędkość chwilową oraz przyspieszenie chwilowe możemy dokonać przekształceń pokazanych przez wyrażenie (34).

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{x}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (34)$$

Co oznacza, że przyspieszenie ciała w danej chwili jest równe drugiej pochodnej jego położenia $x(t)$ względem czasu. Jednostką przyspieszenia jest $\frac{m}{s \cdot s}$, czyli $\frac{m}{s^2}$.

Przyspieszenie jest wielkością wektorową, a zatem posiada wartość bezwzględną, jak i kierunek. Jego znak określa kierunek względem osi, podobnie jest zresztą z położeniem bądź prędkością. Przyspieszenie dodatnie jest skierowane w dodatnim kierunku osi, a przyspieszenie ujemne w kierunku ujemnym. Bardzo często spotykamy się z ruchami, dla których przyspieszenie jest stałe lub niemal stałe. Na przykład, gdy ruszamy ze stacji pociągami. Wykresy położenia, prędkości i przyspieszenia pociągu mają postać taką, jak na rysunkach 9-11. Zauważmy, że $a(t)$ jest funkcją stałą, więc nachylenie wykresu $V(t)$ musi być stałe. Natomiast wykres położenia jest przedstawiony za pomocą ramienia paraboli. Gdy pociąg dojeżdża do stacji, zaczyna hamować i wówczas jego opóźnienie zwykle też jest stałe.

Wykres 9. Zależność $x(t)$. **Wykres 10.** Zależność $V(t)$. **Wykres 11.** Zależność $a(t)$.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Równania²⁵ opisujące przedstawioną sytuację, wyglądają jak we wzorze (35), gdzie V_0 to prędkość w chwili $t=0$, a V to prędkość w chwili późniejszej t .

²⁵D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.1*, Warszawa 2007, s. 23

$$a = a_{sr} = \frac{V - V_0}{t - 0} \quad (35)$$

Gdy przyspieszenie jest stałe, przyspieszenie średnie jest równe przyspieszeniu chwilowemu. Przekształcając to równanie, otrzymujemy (36).

$$V = V_0 + at \quad (36)$$

Równanie to opisuje zależność $V(t)$ przedstawioną na wykresie 10. Podobnie dokonując przekształceń otrzymamy (37), z czego wynika (38).

$$V_{sr} = \frac{x - x_0}{t - 0} \quad (37)$$

$$x = x_0 + V_{sr}t \quad (38)$$

Gdy prędkość zmienia się liniowo w czasie, prędkość średnia w pewnym przedziale czasu jest równa średniej arytmetycznej prędkości na początku tego przedziału i na jego końcu. Więc prędkość średnia przedstawiona jest przez (39).

$$V_{sr} = \frac{1}{2}(V_0 + V) \quad (39)$$

Wykonując podstawienie otrzymujemy zależność (40).

$$V_{sr} = V_0 + \frac{1}{2}at^2 \quad (40)$$

I dalej (41).

$$x - x_0 = V_0t + \frac{1}{2}at^2 \quad (41)$$

Dokonując przekształceń i eliminując V_0 otrzymamy wyrażenie (42).

$$x - x_0 = Vt + \frac{1}{2}at^2 \quad (42)$$

Do równań możemy dojść poprzez całkowanie - całkując równanie definiujące przyspieszenie, przy założeniu, że a jest stałe. Na początek zapisujemy definicję przyspieszenia (43).

$$dV = a dt \quad (43)$$

Biorąc całkę nieoznaczoną po obu stronach równania otrzymujemy (44).

$$\int dV = \int a dt \quad (44)$$

Przyspieszenie a jest stałe zatem możemy je wynieść przed znak całki (45).

$$\int dV = a \int dt \quad (45)$$

Stąd otrzymujemy (46).

$$V = at + C \quad (46)$$

Wyznaczamy C i widzimy, że dla $t=0$ mamy $V=V_0$. Podstawiając te wartości otrzymujemy (47).

$$V_0 = a(0) + C = C \quad (47)$$

Podstawiając ten wynik do równania (48).

$$V = at + C \quad (48)$$

Otrzymamy (49).

$$V = V_0 + at \quad (49)$$

Podobnie jesteśmy w stanie wyprowadzić równanie (50).

$$x - x_0 = V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (50)$$

Zaczynając od wypisania definicji prędkości (51).

$$dx = V dt \quad (51)$$

Bierzemy całki nieoznaczone po obu stronach i wykonujemy podstawienie za V (52).

$$\int dx = \int (V_0 + at) dt \quad (52)$$

Wynosimy przed znak całki stałe (53).

$$\int dx = V_0 \int dt + a \int t dt \quad (53)$$

Całkowanie prowadzi do wzoru (54), gdzie C' jest inną stałą całkowania.

$$x = V_0 t + \frac{1}{2} at^2 + C' \quad (54)$$

Wyżej pokazane równania przedstawiają ruch niejednostajny w podejściu akademickim. W szkole obowiązujące równania są w nieco prostszej formie. Omawia się pojęcie **ruchu jednostajnie przyspieszonego**²⁶, jako ruchu, w którym wartość **szybkości** w każdej sekundzie wzrasta o tę samą wartość. Poznają wzór na szybkość (55), przy założeniu iż prędkość początkowa jest równa zero.

$$V = a \cdot t \quad (55)$$

Uczniowie dowiadują się również, że wykresem zależności szybkości od czasu w tym ruchu jest półprosta nachylona pod kątem ostrym do osi czasu. Wartość pola pod tą półprostą jest równa wartości przebytej drogi w podanym czasie. **Przyspieszenie ciała** - wartość przyspieszenia jest równa ilorazowi przyrostu prędkości i czasu, w którym ten przyrost

²⁶G. Francuz-Ornat, T. Kulawik, M. Nowotny-Różańska, *Spotkania z fizyką. Podręcznik dla gimnazjum 1*, Warszawa 2012, s.138

nastąpił. Wielkość ta informuje o ile wzrasta szybkość ciała w jednostce czasu, a przedstawia to wyrażenie (56).

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V - V_0}{t - t_0} \quad (56)$$

W ruchu przyspieszonym prostoliniowym kierunek i zwrot przyspieszenia jest zgodny z kierunkiem i zwrotem prędkości. Sporządza się wykres zależności przyspieszenia od czasu w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym. Definiując **drogę** w ruchu jednostajnie przyspieszonym przyjmujemy, że szybkość początkowa ciała wynosi zero, to drogę policzymy ze wzoru (57).

$$s = \frac{1}{2} at^2 \quad (57)$$

Rysujemy także wykres $s(t)$.

4.3.2. Wyznaczanie średniej prędkości samochodu zabawki

Cel doświadczenia: Wyznaczanie średniej prędkości

Materiały: stoper, miara, samochód, kolorowe paski i taśma lub kolorowa taśma.

Rysunek 24. Materiały potrzebne do doświadczenia: Wyznaczanie szybkości samochodu.

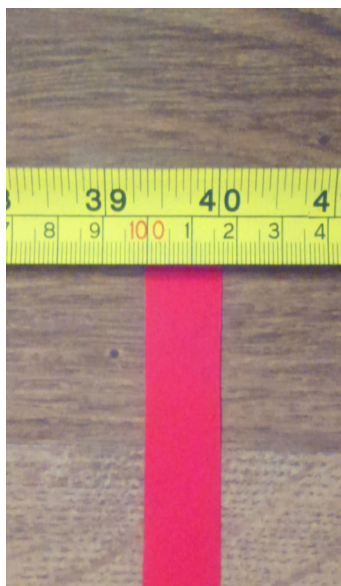


Źródło: fotografia własna.

Czynności:

1. Wyznaczamy odległość, którą ma pokonać samochód oczywiście w linii prostej, np. 4m, przygotowujemy sobie 5 kolorowych pasków.
2. Zaznaczamy pierwszy odmierzony metr paskami.

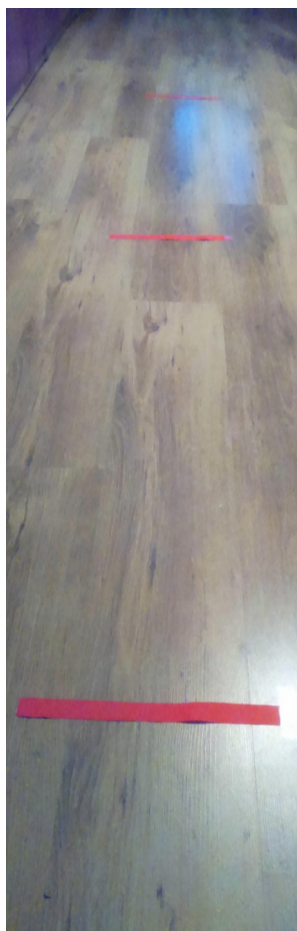
Rysunek 25. Wyznaczanie odległości.



Źródło: fotografia własna.

3. Zaznaczamy kolejne metrowe odcinki.

Rysunek 26. Wyznaczanie kolejnych odcinków drogi.



Źródło: fotografia własna.

4. Gdy przygotowujemy drogę ustawiamy samochód na starcie. Samochód startuje z pozycji s_0 .

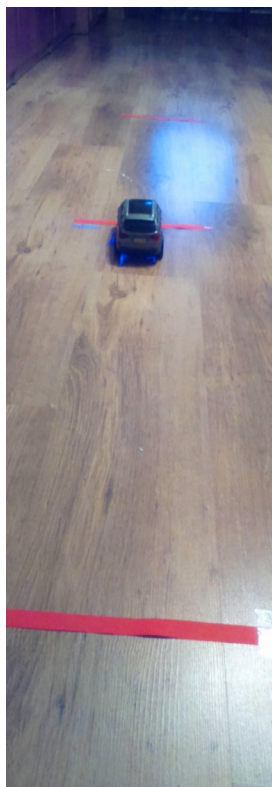
Rysunek 27. Samochód w położeniu s_0 .



Źródło: fotografia własna.

5. Odmierzamy czas dla pierwszego pokonanego metra. Równolegle odmierzamy czas dla każdego kolejnego metra.

Rysunek 28. Pierwszy pokonany metr.



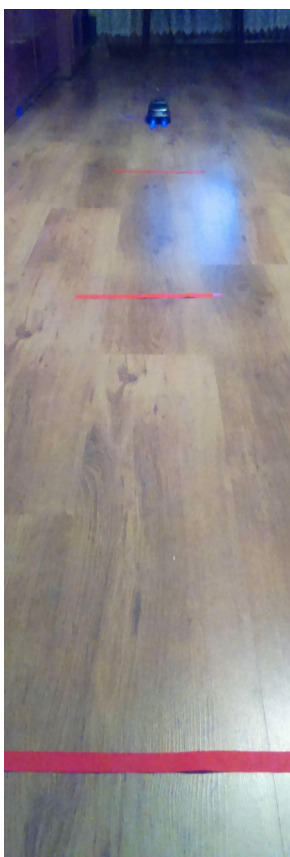
Źródło: fotografia własna.

Rysunek 29. Drugi pokonany metr.



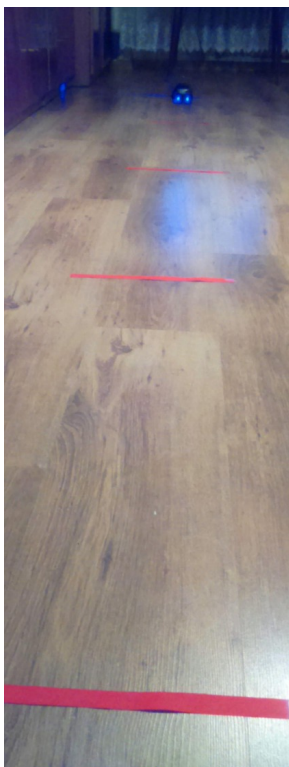
Źródło: fotografia własna.

Rysunek 30. Trzeci pokonany metr.



Źródło: fotografia własna.

Rysunek 31. Czwarty pokonany metr.



Źródło: fotografia własna.

Otrzymane czasy: 2,6 s, 1,7 s, 1,6 s, 1,5 s .

Rysunek 32. Otrzymane czasy.

Start	Resetuj
4.	00:01.5
3.	00:01.6
2.	00:01.7
1. Najwoln. okrążenie	00:02.6

Źródło: fotografia własna.

6. Otrzymane wyniki przedstawiamy w tabeli.

Tabela 3. Zestawienie wyników pomiarów.

Pokonywany dystans (numeracja)	Pokonywany dystans (m)	Czas zmierzony stoperem w (s)	Prędkość chwilowa (m/s)
1-wszy	1m	2,6	0,39
2-gi	1m	1,7	0,59
3-ci	1m	1,6	0,63
4-ty	1m	1,5	0,67

Źródło: opracowanie własne.

7. Obliczamy prędkość samochodu za pomocą wzoru: $\vec{V}_{ch} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$ i uzupełniamy tabelę.

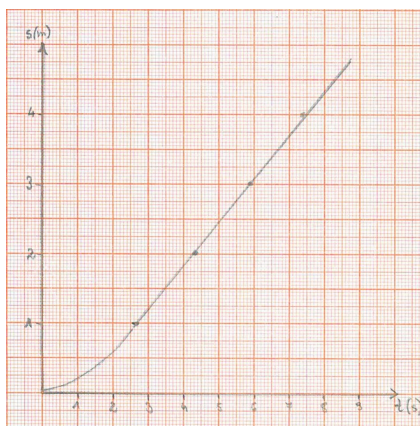
8. Obliczamy prędkość średnią samochodu za pomocą wzoru:

$$V_{sr} = \frac{s_{całkowita}}{t_{całkowity}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}$$

$$V_{sr} = \frac{1m + 1m + 1m + 1m}{0,39s + 0,59s + 0,63s + 0,67s} = 1,7544 \frac{m}{s}$$

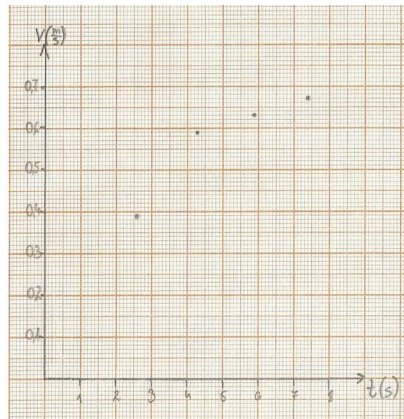
9. Wyniki doświadczenia przedstawiam za pomocą wykresów.

Wykres 12. Zależność przebytej drogi od czasu.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Wykres 13. Zależność $V(t)$.



Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Wynik: Jak widzimy ciało pokonuje takie same odcinki drogi w przybliżonych odstępach czasu. Obliczona prędkość chwilowa oscyluje pomiędzy $0,6$ a $0,7 \frac{m}{s}$. Wyjątkiem jest szybkość obliczona dla pierwszego metra, widzimy że jest znacznie niższa. Musimy wziąć pod uwagę, iż samochód potrzebował czasu, aby się rozpędzić. Śmiem twierdzić, że w pierwszych czterech metrach poruszał się ruchem przyspieszonym, a w kolejnych etapach ruchem jednostajnym. Warto zwrócić uwagę, iż powodem niewielkich odchyleń jest czas reakcji człowieka, powszechnie przyjmujemy $0,2 s$. W przypadku gdy mowa o tak krótkich odstępach czasu widzimy, iż błędy przy pomiarze stoperem są nieuniknione. Gdybyśmy jednak takie samo doświadczenie przeprowadzili dla większych odległości np. czterech odcinków po $10 m$, czasy byłyby dłuższe, a co za tym idzie nasza reakcja przy pomiarze czasu nie miałaby aż tak dużego wpływu na wyniki. Wpływ na pomiary mogą również mieć nierówności podłoża, wady konstrukcyjne silnika samochodu, przerwy w dostawie energii, które zakłócałyby jazdę samochodu. Prędkość średnia, jaka została obliczona dla całego przebytego odcinka znacznie różni się od prędkości chwilowej obliczonej dla krótkich odstępów czasu. Przy obliczaniu prędkości średniej dla ruchu w tym doświadczeniu nie pominiemy rozpędzania się samochodu, co zrobilibyśmy obliczając średnią arytmetyczną z prędkości chwilowych, tak jak często robią to uczniowie.

4.3.3. Wyznaczanie średniej prędkości autobusu miejskiego

Cel doświadczenia: Wyznaczanie średniej prędkości przez pomiar odległości i czasu.

Materiały: mapa miasta, stoper.

Czynności: 1. Wyznaczamy trasę, którą chcemy pokonać. Niech to będzie fragment prostej drogi (odległość między dwoma przystankami), którą w kolejnym etapie pokonamy autobusem.

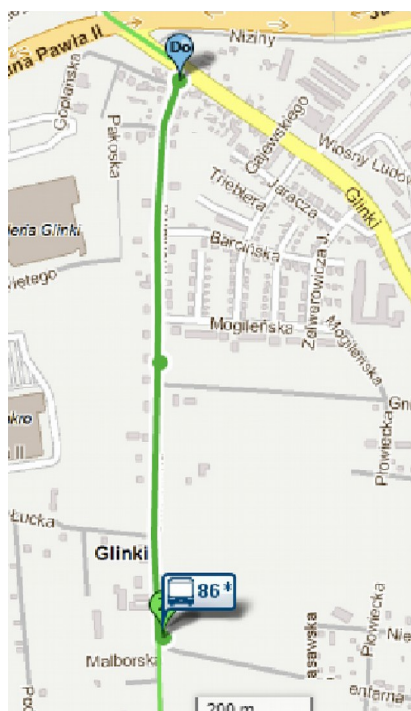
Rysunek 33. Przystanek początkowy, środkowy i końcowy.



Źródło: fotografia własna.

2. Sprawdzamy długość drogi korzystając z mapy. Obliczamy ją wykorzystując właściwości skali mapy. Długość, którą przejadę jest równa 510 m i 530 m .

Rysunek 34. Droga pokonana przez autobus.

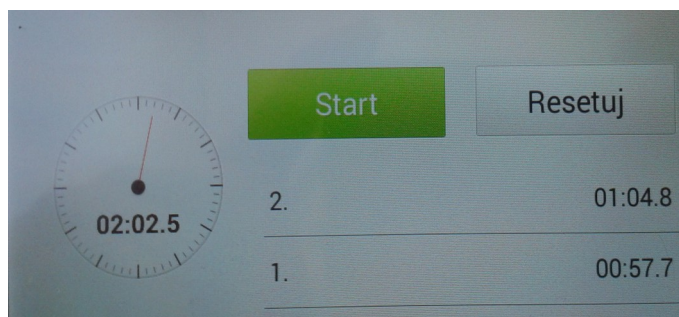


Źródło: <http://bydgoszcz.jakdojade.pl/#tabId=0&>, dostęp dnia 14.12.14

3. Pokonujemy drogę odmierzając przy tym czas. Czas obliczamy od zamknięcia drzwi na przystanku początkowym do otwarcia drzwi na przystanku końcowym.

Pomiar pierwszy: $57,7s$. Pomiar drugi: $64,8s$.

Rysunek 35. Pomiar przejazdu autobusu.



Źródło: fotografia własna.

4. Obliczamy zatem średnią prędkość autobusu:

$$V_{sr} = \frac{s_{całkowita}}{t_{całkowity}}$$

$$V_{sr} = \frac{510m + 530m}{57,7s + 64,8s} = \frac{1040m}{122,5s} = 8,49 \frac{m}{s} = 30,56 \frac{km}{h}$$

Wnioski: Autobus pokonuje kolejne odcinki drogi w pewnych odstępach czasu uzyskując średnią prędkość $30,56 \frac{km}{h}$. Prędkość średnia jaka została obliczona dla przebytej trasy uwzględnia przyspieszanie autobusu przy ruszaniu, zwalnianie przy hamowaniu oraz postój na przystankach. Prędkość średnia zależy od prędkości chwilowych uzyskiwanych na trasie. Szybkość średnią w praktyce obliczamy bardzo często, a opisane doświadczenie jest tylko jednym z licznych przykładów. Często też posługujemy się nią bez wyraźnego zaznaczenia, że o nią chodzi.

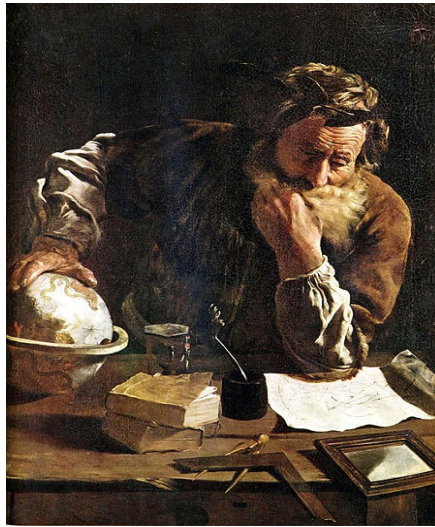
4.4. Badanie wartości siły, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało

W tym rozdziale zajmę się elementami hydrostatyki, czyli nauki o płynach w stanie spoczynku. Hydrostatyką²⁷ jak i innymi dziedzinami fizyki interesowano się od dawna. Najbardziej związany jest z nią Archimedes za sprawą sformułowanego prawa wyporu. Jednak hydrostatyką rządzą trzy prawa i nie sposób nie wspomnieć tutaj Prawa Eulera czy też Prawa Pascala. Czym w zasadzie jest płyn? Substancją niemającą określonej postaci, przyjmującą kształt zbiornika, do którego jest wprowadzona bez wahania nazwiemy płynem.

²⁷ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 862

Do płynów zaliczamy zarówno ciecze jak i gazy. Towarzyszą nam od zawsze i wszędzie. Towarzyszyć będą również w kolejnym doświadczeniu.

Rysunek 36. Archimedes.



Źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Domenico-Fetti_Archimedes_1620.jpg, dostęp dnia 07.01.15

Eksperyment opisany w tym rozdziale jest ściśle związany z prawem Archimedesesa. Legenda²⁸ głosi, iż do odkrycia przez uczonego owego prawa przyczynił się władca Syrakuz Hieron II. Podejrzał on, że złotnik, któremu powierzył wykonanie korony ze szczerego złota, oszukał go i do wyrobu korony dodał pewną ilość srebra. Zwrócił się do Archimedesesa z prośbą o ustalenie czy podejrzenia są uzasadnione. Archimedes nie mógł zniszczyć w żaden sposób korony, co utrudniało sprawdzenie jakości złota. Według opowieści Archimedes podczas kąpieli w wannie zauważył, że poszczególne członki jego ciała są w wodzie znacznie lżejsze niż w powietrzu. Pomyślał, że istnieje określony stosunek między zmniejszeniem się ciężaru ciała zanurzonego a ciężarem wypartego przez nie płynu (prawo Archimedesesa²⁹). W ten sposób Archimedes łatwo wykazał fałszerstwo złotnika. Okazało się, że korona wyparła więcej cieczy, niż równa jej co do wagi bryła złota, co oznacza, że miała większą objętość, a co za tym idzie mniejszą gęstość. Dzięki temu wiadomo było, iż nie została wykonana w całości ze złota. Podobnie jak z koroną dzieje się z wieloma innymi rzeczami. Być może pływając łodzią, statkiem czy kajakiem, zastanawialiście się nad tym, dlaczego kawałek metalu, jak choćby metalowa moneta, włożona do szklanki z wodą opada na jej dno, a zbudowany głównie z metalu ciężki statek pływa?

²⁸ <http://www.iwiedza.net/materialy/m001.html>, dostęp dnia 07.01.15

²⁹ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 98

4.4.1. Wstęp teoretyczny

Zanim przejdę do wspomnianego już prawa Archimedesesa omówię kilka zagadnień. Z opisywaną przez greckiego filozofa regułą związane jest pojęcie gęstości, o której pisałam już w rozdziale 3.1.1., ale również ciśnienie. Ciśnienie^{30 31} to skalarna wielkość fizyczna charakteryzująca siłę oddziaływania ośrodka materialnego lub promieniowania na powierzchnię innego ciała, np. oddziaływania gazu lub cieczy na ściankę naczynia, lub na powierzchnię ograniczającą jakąkolwiek część ośrodka, oddziaływania budynku na podłogę, światła na oświetlony ekran. Wyobraźmy sobie płaską powierzchnię ΔS , na którą działa prostopadle siła o wartości ΔF . Ciśnienie wywierane będzie dążyć do granicy stosunku (58), gdy pole powierzchni tłka wokół punktu będzie coraz mniejsze.

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta S} \quad (58)$$

Gdy siła działa równomiernie na całą powierzchnię, równanie możemy zapisać w prostszej postaci - wyrażenia (59)³².

$$p = \frac{F}{S} \quad (59)$$

Napisałam, iż ciśnienie jest wielkością skalarną, to znaczy, że nie zależy od kierunku. Pomimo że siła jest wektorem, to w powyższym równaniu występuje jedynie jej wartość. Jednostką ciśnienia w układzie SI jest niuton na metr kwadratowy, czyli paskal:

$1 \frac{N}{m^2} = 1 Pa$. Paskal jest związany z innymi jednostkami ciśnienia, takimi jak:

- atmosfera ($1 atm = 1,01 \cdot 10^5 Pa$)
- tor ($1 Tr = 133,3224 Pa$)
- funt na cal kwadratowy ($1 psi = 6894,75729 Pa$).

Ciśnienie ma swój udział w mechanice i termodynamice płynów. Dla nieruchomego płynu istnieje związek między ciśnieniem, temperaturą i gęstością, zwany równaniem stanu płynu.

³⁰ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 387

³¹ G. Francuz-Ornat, T. Kulawik, M. Nowotny-Różańska, *Spotkania z fizyką. Podręcznik dla gimnazjum 1*, Warszawa 2012, s. 85

³²D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.II*, Warszawa 2006, s. 61

Ciśnienie w płynie nieruchomym zwane jest ciśnieniem statycznym. Natomiast w płynie poruszającym się występuje dodatkowe ciśnienie, zwane ciśnieniem dynamicznym (kinetycznym), zależy ono od prędkości płynu. W jednorodnej nieściśliwej cieczy, znajdującej się w polu siły ciężkości, ciśnienie (zwane wtedy ciśnieniem hydrostatycznym) na głębokości h przedstawia wzór (60), gdzie: p_0 — ciśnienie na powierzchni cieczy, ρ — gęstość cieczy, g — przyspieszenie ziemskie.

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h \quad (60)$$

Jeżeli płyn znajduje się w równowadze statycznej, to oznacza iż pozostaje w spoczynku. Co za tym idzie, wszystkie siły działające równoważą się. Wyobraźmy sobie zbiornik wody, a z niego wybierzmy pewną objętość zgromadzoną w walcu. W pionie działają na wodę zawartą w tymże walcu trzy siły. Mianowicie na górną podstawę walca działa siła \vec{F}_1 , na dolną podstawę walca działa natomiast siła \vec{F}_2 . Woda, o której mowa, posiada masę m , zatem działa na nią również siła ciężkości $m \vec{g}$. Skoro siły równoważą się, prawdziwe jest równanie (61). Siły F_1 oraz F_2 możemy przedstawić za pomocą ciśnienia wyrażonego w (62).

$$F_2 = F_1 + m \vec{g} \quad (61)$$

$$F_1 = p_1 S \text{ i } F_2 = p_2 S \quad (62)$$

Po podstawieniu i przekształceniu mamy zależność (63), czyli nic innego jak przedstawione już równanie na ciśnienie hydrostatyczne.

$$p_2 = p_1 + \rho g h \quad (63)$$

Ciśnienie w pewnym punkcie w płynie znajdującym się w równowadze statycznej zależy od głębokości tego punktu pod powierzchnią płynu i nie zależy od poziomych rozmiarów tego płynu. Ciśnienie p_2 nazywane jest ciśnieniem pełnym, ponieważ na jego wartość składa się ciśnienie atmosferyczne p_1 oraz ciśnienie związane z naciskiem cieczy na ciecz $\rho g h$. Różnicę między ciśnieniem bezwzględnym a ciśnieniem atmosferycznym nazywamy ciśnieniem względnym bądź nadciśnieniem. Przyrządy służące do pomiaru ciśnienia nazywamy manometrami. Ze względu na ciśnienie odniesienia i wskazywane ciśnienie, przyrządy do jego pomiaru dzieli się na:

- absolutne (bezwzględne) – wskazują ciśnienie absolutne, czyli w odniesieniu do próżni,
- różnicowe – wskazują różnicę ciśnień,
- względne (manometry) – wskazują ciśnienie względem ciśnienia otoczenia (względne) i większe od niego,
- wakuometry – wskazują ciśnienia względne, ale mniejsze od ciśnienia otoczenia (podciśnienie),
- manowakuometry – wskazują ciśnienie względne większe oraz mniejsze od ciśnienia otoczenia.

Jak już wspomniałam z ciśnieniem związane jest Prawo Pascala^{33 34}. Sformułowane zostało w 1653r. i brzmi następująco: wzrost zewnętrznego ciśnienia wywieranego na płyn powoduje takie samo zwiększenie ciśnienia w całej objętości płynu, np. jeżeli siła nacisku na tłok o powierzchni S zamykający płyn w naczyniu wzrośnie o ΔF , to w całym naczyniu ciśnienie zwiększy się jak pokazuje wzór (64).

$$\Delta p = \frac{\Delta F}{S} \quad (64)$$

Rysunek 37. Blaise Pascal (1623-1662) — francuski filozof, matematyk, pisarz i fizyk.



Źródło:http://pl.wikipedia.org/wiki/Wikiprojekt:T%C5%82umaczenie_artyku%C5%82%C3%B3w/Blaise_Pascal#mediaviewer/File:Blaise_pascal.jpg, dostęp dnia 10.01.15

³³D. Halliday , R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.II*, Warszawa 2006, s. 69

³⁴ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom II*, Warszawa 1999, s. 794

Prawo to stanowi podstawę działania pras i podnośników hydraulicznych oraz urządzeń pneumatycznych. W prasach hydraulicznych wykorzystuje się nacisk, który jest wywierany za pomocą suwaka połączonego z tłokiem (lub nurnikiem) przesuwanym się w cylindrze pod wpływem ciśnienia cieczy. Zależność opisująca działanie prasy przedstawiona jest za pomocą wzoru (65), gdzie F_{wej} to siła zewnętrzna działająca w dół na tłok o powierzchni S_{wej} , F_{wyj} to siła działająca w górę na podnoszony przedmiot ustawiony na powierzchni S_{wyj} .

$$\Delta p = \frac{F_{wyj}}{S_{wyj}} = \frac{F_{wej}}{S_{wej}} \quad (65)$$

Drugim głównym prawem w hydrostatyce jest Prawo Archimedes³⁵. Prawo to mówi iż na ciało całkowicie lub częściowo zanurzone w płynie działa od strony płynu siła wyporu F_{wyp} . Jest ona skierowana pionowo w górę, a jej wartość jest równa ciężarowi płynu wypartego przez to ciało $m_p g$. Siła wyporu ma zatem wartość przedstawioną we wzorze (66), gdzie m_p jest masą płynu wypartego przez ciało.

$$F_{wyp} = m_p g \quad (66)$$

Z opisywaną siłą wiąże się pojęcie ciężaru pozornego w płynie. Mianowicie gdy umieścimy przedmiot na wadze i zanurzymy go pod wodą, odczytamy ciężar pozorny. Ciężar pozorny jest związany z prawdziwym ciężarem ciała i działającą na ciało siłą wyporu tak jak pokazano poniżej.

$$\text{ciężar pozorny} = \text{ciężar rzeczywisty} - \text{wartość siły wyporu}$$

4.4.2. Badanie wartości siły, którą woda działa na zanurzony w niej balsam do ciała

Cel: Wyznaczenie wartości siły, którą woda działa na zanurzony w niej balsam.

Materiały: pojemnik z balsamem, waga, naczynie z wodą, wstążeczka lub sznurek.

³⁵D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.II*, Warszawa 2006, s. 71

Rysunek 38. Materiały potrzebne do doświadczenia: Badanie wartości siły, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało.



Źródło: fotografia własna.

Czynności: 1. Na balsamie zawiązujemy wstążeczkę w taki sposób, aby zawieszony na wadze balsam nie poruszał się i możliwe było zważenie go.

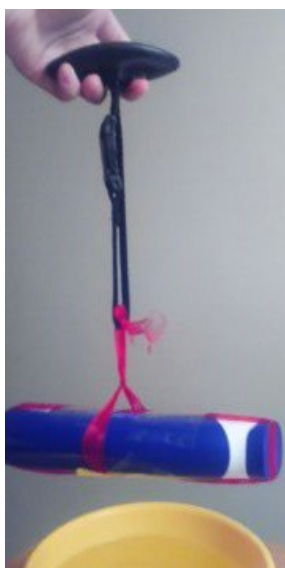
Rysunek 39. Przygotowanie opakowania do pomiaru.



Źródło: fotografia własna.

2. Dokonujemy pomiaru masy balsamu.

Rysunek 40. Pomiar wagi.



Źródło: fotografia własna.

Waga balsamu to : $356\text{g}=0,356\text{kg}$

3. Następnie powtarzamy pomiar zanurzając balsam w wodzie.

Rysunek 41. Pomiar wagi z zanurzonym ciałem.



Źródło: fotografia własna.

4. Dokonujemy obliczeń.

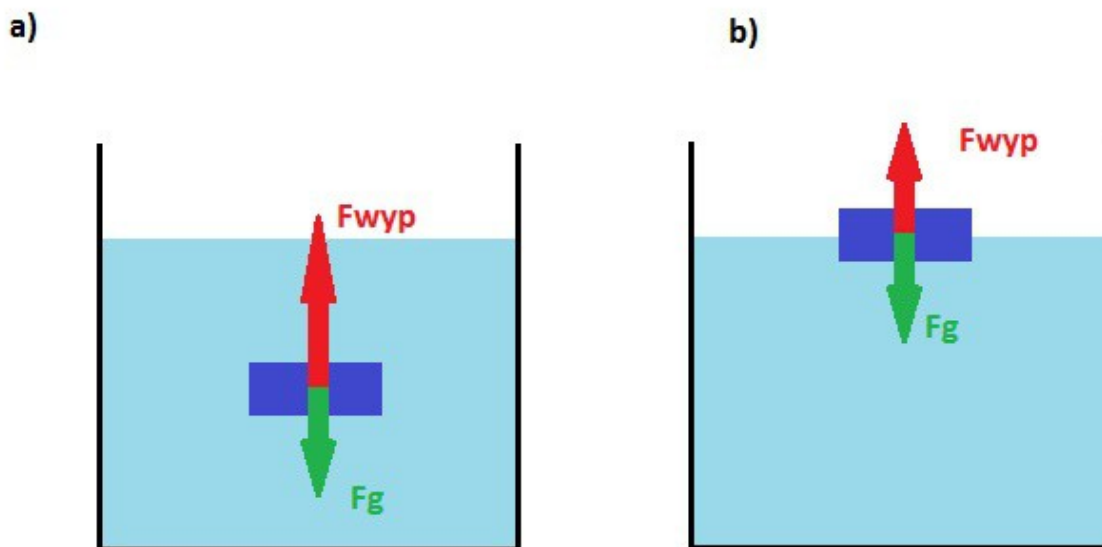
Gdyby podczas doświadczenia wybrano inny przedmiot obliczenia wyglądałyby następująco:

- odmierzamy masę ciała
 - powtarzamy pomiar zanurzając ciało w wodzie
 - waga pomiaru w wodzie jest mniejsza, ponieważ działa siła wyporu
 - odejmujemy otrzymane wyniki
- waga ciała zawieszzonego w powietrzu – waga zanurzonego ciała = różnica uzyskana przez siłę*
- skoro różnica wag wynosiłaby np. „ x ” nasza siła wyporu jest równa

$$F_{\text{wyp}} = x \text{ kg} \cdot g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} x \text{ kg} = 9,81 x \text{ N}$$

Wnioski: Na pojemnik z balsamem działa siła wyporu równa ciężarowi wypartej przez pojemnik z balsamem wody. Siła ta jest skierowana w górę i jest tak duża, że balsam nie opada na dno. Nie można go nawet zanurzyć ponieważ unosi się na tafli wody. Oznacza to, że przy całkowitym zanurzeniu siła wyporu jest większa od siły ciężkości balsamu, co możemy zapisać: $F_{\text{wyp}} > F_g$, rozkład sił w tym wypadku pokazuje rysunek 42 a).

Rysunek 42. Schemat rozkładu sił.



Źródło: fotografia własna.

Pojemnik wypływa na powierzchnię, siła wyporu oraz siła ciężkości równoważą się co możemy zapisać: $F_g = F_{wyp}$. Rysunek 42 b) przedstawia rozkład sił po ustaleniu równowagi. W przypadku ciał wykonanych z jednolitego materiału można łatwo przewidzieć, czy będą one tonęły, czy wypływały na powierzchnię płynu. Zależy to od gęstości ciał i gęstości płynów w których miałyby one pływać. Jeżeli gęstość ciała jest większa od gęstości płynu (w naszym przypadku wody) wówczas ciało zaczyna tonąć. Gdy gęstość jest mniejsza ciało zaczyna wypływać na powierzchnię.

4.4.3. Badanie wartości siły, którą woda działa na zanurzoną w niej kostkę

Cel: Wyznaczenie wartości siły, którą woda działa na zanurzoną w niej sześcienną kostkę.

Materiały: kostka, waga, naczynie z wodą, wstążeczka lub sznurek.

Rysunek 43. Materiały potrzebne do doświadczenia: Badanie siły, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało.



Źródło: fotografia własna.

Czynności: 1. Na kostce zawiązujemy wstążeczkę w taki sposób, aby zawieszony na wadze sześcian nie poruszał się i możliwe było zważenie go.

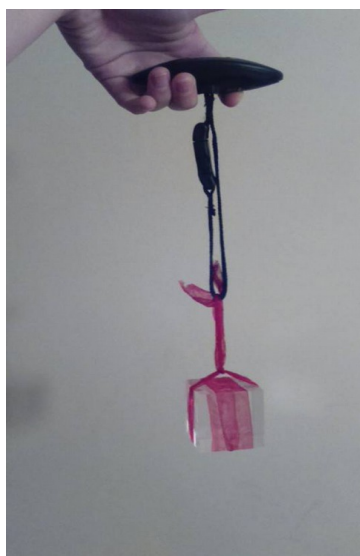
Rysunek 44. Przygotowanie sześcianu do pomiaru.



Źródło: fotografia własna.

2. Dokonujemy pomiaru masy kostki.

Rysunek 45. Pomiar masy.

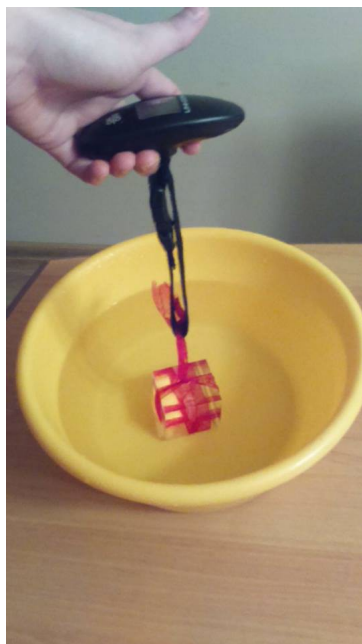


Źródło: fotografia własna.

Masa kostki to : $314\text{g} = 0,314\text{ kg}$

3. Następnie powtarzamy pomiar zanurzając sześcian w wodzie.

Rysunek 46. Pomiar wagi z zanurzonym ciałem.



Źródło: fotografia własna.

Masa kostki w wodzie to : $224\text{g}=0,224\text{ kg}$

4. Dokonujemy obliczeń.

- odejmujemy otrzymane wyniki

waga ciała zawieszona w powietrzu – waga zanurzonego ciała = różnica uzyskana przez siłę
 $0,314\text{ kg}=0,224\text{ kg}=0,09\text{ kg}$

- skoro różnica wag wynosiłaby np. $0,09\text{ kg}$ nasza siła wyporu jest równa

$$F_{\text{wyp}}=0,09\text{ kg}\cdot g=0,09\cdot 9,81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot\text{kg}=0,883\text{ N}$$

- sprawdźmy wartość siły wyporu korzystając ze wzoru: $F_{\text{wyp}}=\rho\cdot V\cdot g$, gdzie ρ to gęstość wody, V objętość wypartej wody, g to przyspieszenie ziemskie

$$F_{\text{wyp}}=1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\cdot 0,00125\text{ m}^3\cdot 9,81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}=1,226\text{ N}$$

Wnioski: Siła wyporu, skierowana ku górze, obliczona za pomocą wyników otrzymanych z pomiarów doświadczenia ma w naszym przypadku nieco mniejszą wartość niż ciężar wody wypartej przez zanurzony sześcian. Jak na wynik otrzymany za pomocą pomiarów wykonanych w „domowych warunkach” różnica pomiędzy siłą wyporu a siłą ciężaru nie jest jednak duża. Ważą rolę odgrywają błędy pomiaru związane z dokładnością przyrządów, dokładność wagi: 1 g , dokładność miary: 1 mm .

4.5. Wyznaczanie ciepła właściwego wody za pomocą czajnika elektrycznego

Przeprowadzając doświadczenie w następnej części tego działu zajmiemy się zagadnieniami z dziedziny termodynamiki. Termodynamika³⁶ to część fizyki obejmująca badanie zjawisk cieplnych, które zachodzą w układach makroskopowych. Termodynamikę³⁷ dzielimy na fenomenologiczną i statystyczną, z powodu metod ujmowania zjawisk. Termodynamika statystyczna bada układy makroskopowe wykorzystując metody rachunkowe i właściwości atomów oraz cząsteczek tworzących układ. Natomiast termodynamika fenomenologiczna odwołuje się do założenia ciągłości zjawisk zachodzących we wnętrzu makroskopowym układów, charakteryzuje układy za pomocą ich właściwości. Nie zważa na fakt, iż ciała tworzące układy termodynamiczne są zbudowane z mikrocząstek. Dokonujemy również podziału procesów ze względu na termodynamikę na odwracalne i nieodwracalne, samorzutne i kwazistatyczne. Efekty cieplne towarzyszą procesom mechanicznym, chemicznym, elektrycznym, magnetycznym i wielu innym, wówczas mówimy o zmianie stanu wewnętrznego ciała. Przez co dokonujemy kolejnych podziałów na termodynamikę chemiczną i techniczną, a także termodynamikę zjawisk magnetycznych czy też atmosfery. Gałęzi tej nauki jest wiele, a rozwój nowożytny jednej z nich rozpoczął się w pierwszej połowie XVIII w. od stworzenia termometrii, później kalorymetrii. W drugiej połowie XIX w. sformułowano I i II zasadę termodynamiki co zapoczątkowało rozwój termodynamiki klasycznej. Później przyszła kolej na liczne postulaty oraz III zasadę termodynamiki. Całkiem niedawno, bo pod koniec XIX w. zaczęła rozwijać się termodynamika statystyczna, jedne z pierwszych teorii opierały się na założeniach, że dobrze znane prawa klasycznej mechaniki układu punktów materialnych działają również w przypadku cząsteczek i atomów. Dzięki temu opisano wiele właściwości substancji rzeczywistych. Istotną rolę grała również mechanika kwantowa. Doprowadziła do stworzenia pełnej termodynamiki statystycznej gazów, ciał stałych oraz cieczi, a właśnie cieczą będą zajmować się podczas doświadczenia.

4.5.1. Wstęp teoretyczny

Termodynamika³⁸ zajmuje się badaniem energii termicznej, zatem ściśle związana jest z temperaturą ciał. Temperatura³⁹ to skalarna wielkość fizyczna, jest jednym z parametrów

³⁶ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom III*, Warszawa 1999, s. 572

³⁷ <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/termodynamika;3986684.html>, dostęp dnia 11.01.15

³⁸D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.II*, Warszawa 2006, s. 188

³⁹ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom III*, Warszawa 1999, s. 564

określających stan układu termodynamicznego. Dla układów pozostających ze sobą w równowadze termicznej, to znaczy cieplnej, temperatura przyjmuje tę samą wartość. Mowa tu o zerowej zasadzie termodynamiki, która brzmi następująco: jeżeli ciała A i B są w stanie równowagi termicznej z trzecim ciałem T, to są one także w stanie równowagi termicznej ze sobą nawzajem. Gdy układy będące w kontakcie termicznym mają różne temperatury, to układ o temperaturze wyższej przekazuje energię układowi o temperaturze niższej, proces ten nazywamy wyrównaniem temperatur. Jest on podstawą termometrii, w której miarą temperatury ciała jest zmiana właściwości ciała wzorcowego znajdującego się w kontakcie termicznym z ciałem badanym. Pierwsza zasada termodynamiki⁴⁰ brzmi: energia wewnętrzna układu wzrasta jeżeli układ pobiera energię w postaci ciepła, i maleje kiedy wykonuje pracę. Opisuje to zależność (67).

$$\Delta E_w = E_{wk} - E_{\phi} = Q - W \quad (67)$$

W naszym przypadku woda będzie odpierała energię w postaci ciepła, wygenerowanego przez grzałkę. Druga zasada termodynamiki umożliwia wprowadzenie temperatury empirycznej, niezależnej od ciała wzorcowego. Zgodnie z tą zasadą stosunek temperatur termodynamicznych dwu ciał θ_1/θ_2 wiąże się ze sprawnością η odwracalnego obiegu Carnota, przeprowadzonego między tymi ciałami, wzorem (68).

$$\theta_1/\theta_2 = 1 - \eta \quad (68)$$

W klasycznej fizyce statystycznej temperaturę termodynamiczną interpretuje się jako miarę średniej energii kinetycznej ruchu cząstki (69), gdzie k_B jest stałą Boltzmann.

$$E_{kin} = \frac{3}{2}(k_B T) \quad (69)$$

Jednostkami temperatury są⁴¹: kelwin K (układ SI), stopień Celsjusza °C, stopień Fahrenheita °F. Temperaturę⁴² układu można mierzyć metodą stykową, w której czujnik przyrządu pomiarowego jest w kontakcie z badanym układem (np. za pomocą termometru, termoelementu i termistora) lub metodą bezstykową (za pomocą pirometru, radiometru). Kolej na ciepło⁴³. Jest to jeden ze sposobów przekazywania energii między układami makroskopowymi, pozostającymi we wzajemnym kontakcie. Polega na przekazywaniu energii chaotycznego ruchu w zderzeniach cząstek tworzących te układy, z czym wiąże się zmiana energii wewnętrznej układów. Proces wymiany energii nazywa się wymianą ciepła, a

⁴⁰D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.II*, Warszawa 2006, s. 205

⁴¹D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.II*, Warszawa 2006, s. 192

⁴²D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki T.II*, Warszawa 2006, s. 197

⁴³ D. Kalisiewicz, *Encyklopedia PWN w trzech tomach Tom I*, Warszawa 1999, s. 382

zmiana energii wewnętrznej układu w tym procesie — ilością ciepła. Efektem wymiany ciepła jest zwykle zmiana temperatury układów. Jednostką ilości ciepła w układzie SI jest dżul (J). W zagadnieniach technicznych często używa się terminu ciepło w znaczeniu energii przekazywanej na sposób ciepła (np. magazynowanie ciepła, wytwarzanie ciepła), potocznie ciepło utożsamia się z temperaturą (np. cieplejsze ciało). A czym od ciepła różni się ciepło właściwe? Ciepło właściwe⁴⁴ to iloraz pojemności cieplnej i masy całkowitej układu. Ciepło właściwe jest charakterystyczne dla każdej substancji. Mówi nam jaką ilość energii (ciepła) należy dostarczyć masie, aby zwiększyć jej temperaturę. Analogiczna wielkość odniesiona do jednego mola nazywa się ciepłem molowym. Stosunek $\frac{dQ}{dT}$ odniesiony do całego układu nazywa się pojemnością cieplną tego układu. Ciepło atomowe dla większości faz stałych pierwiastków w temperaturze pokojowej wynosi w przybliżeniu $26,8 \frac{J}{(mol \cdot K)}$. Odchylenia od tej reguły wykazują takie materiały jak diament i grafit. Z kolei ciepła molowe stałych substancji w przybliżeniu równają się sumie ciepł atomowych pierwiastków wchodzących w skład danej substancji. Precyzując warunki fizyczne podczas ogrzewania, określa się: ciepło właściwe c_V przy stałej objętości — odpowiada ono procesowi ogrzewania substancji wypełniającej szczelnie pojemnik o ustalonej objętości; ciepło właściwe c_p przy stałym ciśnieniu — odpowiada ogrzewaniu przy utrzymywanej stałej wartości ciśnienia. W teorii magnetyzmu określa się ciepła właściwe substancji mierzone w warunkach utrzymywania stałego pola magnetycznego lub stałej magnetyzacji w próbce. Na gruncie termodynamiki dowodzi się, że dla układów w równowadze zachodzi związek

$\frac{c_p}{c_V} > 1$. W szczególności z wartościami zerowymi c_V mamy do czynienia dla (nieamorficznych) ciał stałych w temperaturze zera bezwzględnego. Mówi o tym trzecia zasada termodynamiki, a dokładniej postulat ten brzmi: nie można za pomocą skończonej liczby kroków uzyskać temperatury zera bezwzględnego, jeżeli za punkt wyjścia obierzemy niezerową temperaturę bezwzględną. Jednostką w układzie SI jest $\frac{J}{(kg \cdot K)}$.

W szkole uczniowie poznają takie pojęcia jak te opisane poniżej⁴⁵.

⁴⁴ <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/cieplo-wlasciwe;3886578.html>, dostęp dnia 14.01.15

⁴⁵G. Francuz-Ornat, T. Kulawik, M. Nowotny-Różańska, *Spotkania z fizyką. Podręcznik dla gimnazjum 2*, Warszawa 2012, działy: *Praca i energia*, *Termodynamika*

Energia wewnętrzna ciała - to suma energii kinetycznych chaotycznego ruchu wszystkich jego cząsteczek oraz ich energii potencjalnych pochodzących od wzajemnego oddziaływania tych cząsteczek.

Pierwsza zasada termodynamiki - energię wewnętrzną ciała możemy zmienić przez wykonanie pracy (W) lub przez przekazanie ciepła (Q), albo przez równoczesne wykonanie pracy i przekazanie ciepła (71), gdzie ΔE_w to przyrost energii wewnętrznej, W to praca, Q to ciepło.

$$\Delta E_w = Q + W \quad (70)$$

Ciepło - jest to proces przekazywania energii z jednego ciała do drugiego, w wyniku różnicy temperatur (71), gdzie Q to ciepło, C to ciepło właściwe, m to masa, ΔT to przyrost temperatury.

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T \quad (71)$$

Ciepło właściwe- informuje nas o tym, ile ciepła (energii) należy dostarczyć, aby ogrzać 1kg substancji o 1K. Wzór jest przekształceniem zależności podanej powyżej (72).

$$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (72)$$

Oczywiście przy wykonywaniu tego doświadczenia uczniowie posiadają również wiadomości dotyczące pracy oraz mocy - są one omawiane szczegółowo w dziale energii.

4.5.2. Wyznaczanie ciepła właściwego wody za pomocą czajnika elektrycznego

Cel doświadczenia: Wyznaczanie ciepła właściwego wody za pomocą czajnika elektrycznego.

Materiały: czajnik elektryczny, woda, termometr i stoper.

Rysunek 47. Materiały potrzebne do doświadczenia: Wyznaczanie ciepła właściwego za pomocą czajnika elektrycznego.



Źródło: fotografia własna.

Czynności: 1. Z tabliczki znamionowej odczytujemy moc czajnika.

Rysunek 48. Odczyt mocy.



Źródło: fotografia własna.

Moc czajnika: $P = 1000\text{W}$

2. Odmierzoną masę wody wlewamy do czajnika, $m = 200\text{ g}$.

3. Zanurzamy w wodzie termometr.

Rysunek 49. Pomiar temperatury.

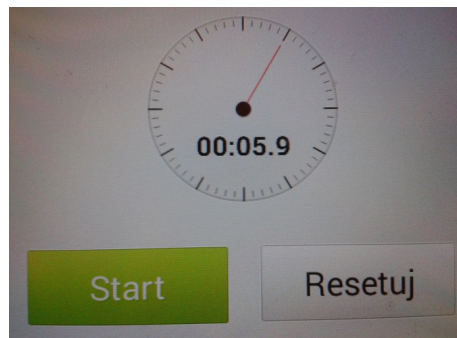


Źródło: fotografia własna.

4. Zerujemy stoper.

5. Włączamy czajnik i zaczynamy odmierzać czas w chwili gdy temperatura osiągnie $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. 35 stopni to temperatura początkowa w naszym doświadczeniu.
6. Gdy temperatura osiągnie wysokość $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ zatrzymujemy stoper. 40 stopni to temperatura końcowa w naszym doświadczeniu.
7. Odczytujemy czas.

Rysunek 50. Pomiar czasu.



Źródło: fotografia własna.

Czas pomiaru: $5,9\text{ s}$

8. Wyniki pomiaru przedstawiamy w tabeli.

Tabela 4. Pomiary doświadczenia: Wyznaczanie ciepła właściwego wody.

Masa (kg)	t_p ($^{\circ}\text{C}$)	t_k ($^{\circ}\text{C}$)	Czas (s)	Moc (W)
0.2	35	40	5.9	1000

9. Obliczamy ciepło właściwe wody na podstawie następującego rozumowania.

- prąd elektryczny płynący przez grzałkę czajnika włączonego do sieci podgrzewa wodę i wykonuje pracę W (73), gdzie P jest mocą czajnika, t jest czasem podgrzewania

$$W = P \cdot t \quad (73)$$

- zakładamy, że praca w całości zostaje zużyta na zwiększenie energii wewnętrznej wody, dzięki czemu wzrasta temperatura
- zatem praca jest równa ciepłu, które należy dostarczyć aby ogrzać wodę od t_p do t_k
- ciepło to wyznaczamy korzystając ze wzoru (74)

$$Q = m \cdot c_w \cdot (t_k - t_p) \quad (74)$$

- zapisujemy: $W = Q$
- dalej podstawiamy otrzymując (75)

$$P \cdot t = m \cdot c_w \cdot (t_k - t_p) \quad (75)$$

- zatem otrzymujemy (76)

$$c_w = \frac{P \cdot t}{m(t_k - t_p)} \quad (76)$$

- obliczamy: $c_w = \frac{1000\text{W} \cdot 5,9\text{s}}{0,2\text{kg} (40^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})} = \frac{5900\text{W} \cdot \text{s}}{0,2\text{kg} \cdot 5^\circ\text{C}} = 5900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Wnioski: Ciepło właściwe uzyskane w doświadczeniu jest dużo większe niż ciepło właściwe wody odczytane z tablic ($c_w = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$). Podczas obliczeń założyliśmy, że cała praca prądu elektrycznego została zużyta na dostarczenie energii wodzie, dzięki czemu wzrosła jej temperatura. Jednak musimy wziąć pod uwagę spore straty energii, gdyż część z niej została zużyta na podgrzanie czajnika oraz podgrzanie termometru. Gdyby w rzeczywistości cała praca została zużyta na przekazanie energii wodzie czas, w którym przeprowadzaliśmy pomiar byłby dużo krótszy. Zatem wartość licznika $1000\text{W} \cdot 5,9\text{s}$ jest zawyżona.

5. Karty pracy

5.1. Karta pracy - wyznaczanie gęstości substancji

Imię i nazwisko:

Klasa:

Wyznaczanie gęstości ciał stałych z jakiej wykonano przedmiot w kształcie prostopadłościanu.

Dlaczego jedno ciało jest cięższe a drugie lżejsze?

Porównaj gęstość obu ciał.

Materiały: waga elektroniczna, linijka, ciało o kształcie prostopadłościanu (sześciangu) wykonane z dwóch różnych materiałów, przyrząd mierniczy.

Praca w grupach (w zależności od wyposażenia pracowni fizycznej praca w grupach może przedstawiać się następująco):

A) Każda grupa ma dwa prostopadłościany: metalowy i drewniany.

B) Każda grupa ma jeden prostopadłościan :

- 1, 3 grupa- prostopadłościan drewniany,

- 2,4 grupa – prostopadłościan metalowy.

Czynności: 1. Zmierz długość krawędzi brył za pomocą linijki lub innego przyrządu mierniczego i oblicz ich objętości.

2. Wyznacz masę bryły przy użyciu wagi.

3. Wynik pomiaru zanotuj na karcie pracy.

Wyniki pomiarów:

Krawędzie	$a_1 = \text{?}$
	$b_1 = \text{?}$
	$c_1 = \text{?}$
Masa	$m_1 = \text{?}$

4. Dokonaj obliczeń za pomocą zależności podanych w tabeli:

Obliczenia:

Wielkość fizyczna	Wzór	Obliczenia
Objętość	$V = a_1 \cdot b_1 \cdot c_1$	
Gęstość	$\rho = \frac{\text{masa klocka}}{\text{objętość klocka}}$	

5. Odczytaj z tablic nazwy substancji, z których wykonano prostopadłościany.

Substancja, z której wykonano mój prostopadłościan to:

Substancja, z której wykonano prostopadłościan z drugiej grupy to:

6. Zanotuj wnioski.

Wniosek:

Gęstość to wielkość fizyczna, która zależy od

i

Gęstość mówi nam, jaka jest masa

danej

objętości

5.2. Karta pracy - badanie ruchu jednostajnie prostoliniowego

Imię i nazwisko:

Klasa:

Wyznaczanie prędkości przemieszczania się (np. w czasie marszu, biegu) za pośrednictwem pomiaru odległości i czasu

Dlaczego jedne ciała poruszają się wolniej, a inne szybciej ?

Dlaczego tę samą odległość kolega pokonał szybciej niż ty?

Materiały: taśma miernicza, stoper, karta pracy.

Praca w parach.

Czynności: 1. Narysujcie linię startu i w odległości 20 metrów linię mety.

2. Zadania dla dwóch uczniów:

Uczeń 1: Weź stoper i włącz go w momencie, w którym kolega rusza z linii startu:

a) idąc szybkim, równym krokiem,

b) biegnąc w kierunku linii mety.

3. Wyłącz stoper w momencie przekroczenia linii mety.

4. Wyniki pomiaru wpisz do tabeli.

5. Oblicz i zapisz prędkość twojego ruchu za pomocą zależności: $V = \frac{\text{droga}}{\text{czas}}$

	Droga [m]	Czas [s]	Prędkość [m/s]
Marsz			
Marsz			
Marsz			
Bieg			
Bieg			
Bieg			

6. Zapisz wnioski.

Wniosek:

Czas przebycia tej samej drogi był

Oznacza to, że poruszałam/em się z

szybkością.

Szybkość - prędkość wielkość fizyczna oznacza

5.3. Karta pracy - wyznaczanie średniej wartości prędkości

Imię i nazwisko:

Klasa:

Wyznaczanie prędkości średniej.

W trakcie ćwiczenia dokonamy pomiaru prędkości średniej – wyznaczymy prędkość z jaką koleżanka lub kolega przejdzie klasę idąc stopa za stopą.

Materiały: taśma miernicza, stoper.

Czynności: 1. Pomiar drogi.

A. Odpowiedz na poniższe pytania.

W jaki sposób można wyznaczyć długość klasy? Podaj dwa przykłady.

Jakie przyrządy pomiarowe są potrzebne do dokonania pomiarów wymienionych przez siebie w powyższej wypowiedzi?

Która z wymienionych przez siebie metod jest obarczona najmniejszą niepewnością pomiarową (czyli najmniejszym błędem)?

Przedyskutuj swoje propozycje z nauczycielem i innymi uczniami.

B. Dokonaj pomiaru długości klasy.

Dobierzcie się w 3-4 osobowe zespoły. Każdy zespół dokonuje pomiaru długości klasy wybraną przez siebie metodą. Oszacujcie błąd popełniany przy zastosowaniu tej metody.

C. Wyniki pomiarów zapiszcie poniżej.

przebyta droga = długość klasy = \pm (m)

2. Pomiar czasu trwania ruchu

A. Odpowiedz na poniższe pytania.

Wymień trzy przyrządy, którymi można zmierzyć czas przemieszczenia kolegi.

Który z tych przyrządów pozwala zmierzyć czas z najmniejszym błędem?

Przedyskutuj swoje propozycje z nauczycielem i innymi uczniami.

B. Dokonaj pomiaru czasu

Wybierzcie jedną osobę, która będzie szła przez klasę sposobem „stopa za stopą”, to znaczy stawiając nogi tak, aby przy kolejnym kroku pięta stykała się z palcami drugiej stopy.

Wszystkie osoby z zespołu dokonują kolejno pomiaru czasu w jakim koleżanka lub kolega przejdzie przez klasę. Uczeń dokonujący pomiaru uruchamia stoper w chwili, w której koleżanka/kolega zaczyna iść, a wyłącza w chwili w której koleżanka/kolega zatrzymuje się.

Wyniki uzyskane przez wasz zespół zapiszcie w poniższej tabeli. Pamiętajcie, że średni czas reakcji człowieka przy włączaniu lub wyłączaniu stopera wynosi około 0,3 sekundy, zatem błąd pomiaru czasu tą metodą nie może być mniejszy niż $2 \cdot 0,3 \text{ s} = 0,6 \text{ s}$ (nawet jeśli urządzenie ma większą dokładność).

Ponieważ wyniki uzyskane przez poszczególne osoby mogą się od siebie nieco różnić, upewnijmy się, że są ze sobą zgodne z dokładnością do błędu metody pomiarowej. Jeżeli mamy uzasadnione powody, aby przypuszczać, że któryś pomiar jest obarczony błędem grubym, możemy taki pomiar odrzucić. Pamiętajmy przy tym, że błąd gruby jest błędem wynikającym z pomyłki osoby przeprowadzającej pomiar albo z wadliwego działania urządzenia pomiarowego, np. zaciął się stoper, wynik został źle odczytany, w trakcie wpisywania wyniku do karty została pomylona jednostka lub miejsce postawienia przecinka itp.

Nie odrzucamy pomiarów tylko dlatego, że zbytńo odbiegają od pozostałych! Być może nie uwzględniliśmy wszystkich czynników wpływających na dokładność metody i należy powtórnie oszacować niepewność pomiarową (błąd pomiaru). Jeżeli jednak czyjś pomiar został odrzucony, osoba ta wykonuje go powtórnie – tym razem staranniej.

Nr pomiaru	Czas trwania ruchu	Błąd pomiaru
1		
2		
3		
4		

3. Oblicz czas trwania ruchu.

Każdy zespół oblicza czas trwania ruchu w następujący sposób: sumujemy wyniki wszystkich pomiarów, a następnie uzyskaną liczbę dzielimy przez ilość pomiarów.

czas trwania ruchu = _____ = _____
(s)

4. Obliczanie prędkości średniej

Oblicz prędkość średnią koleżanki lub kolegi, podstawiając wartość przebytej drogi oraz czasu trwania ruchu do wzoru $V_{sr} = \frac{s}{t}$ = _____ (m/s)

5. Szacowanie niepewności pomiarowych

Wartość prędkości średniej, wyliczoną w poprzednim podpunkcie, należy rozumieć jako wartość najbardziej prawdopodobną.

Prawdziwa wartość prędkości średniej mieści się w pewnym przedziale wokół obliczonej przez was wartości, nazywanym niepewnością pomiarową lub błędem pomiaru.

Przedział wartości w jakich mieści się wartość prędkości średniej możemy oszacować w następujący sposób:

a) liczymy maksymalną drogę jaką przebyła osoba idąca stopa za stopą jako

$$\text{droga maksymalna} = \text{przebyta droga} + \text{błąd pomiaru drogi} = \quad (\text{m})$$

b) liczymy minimalną drogę jaką przebyła osoba idąca stopa za stopą jako

$$\text{droga minimalna} = \text{przebyta droga} - \text{błąd pomiaru drogi} = \quad (\text{m})$$

c) liczymy maksymalny czas ruchu

$$\text{czas maksymalny} = \text{maksymalny czas z tabeli} + \text{błąd pomiaru czasu} = \quad (\text{s})$$

d) liczymy minimalny czas ruchu

$$\text{czas minimalny} = \text{minimalny czas z tabeli} - \text{błąd pomiaru czasu} = \quad (\text{s})$$

e) liczymy maksymalną możliwą wartość prędkości średniej $V_{sr} =$
(m/s)

f) liczymy minimalną możliwą wartość prędkości średniej $V_{sr} =$ (m/s)

6. Podsumowanie i wnioski

Uzyskana przez was wartość prędkości średniej koleżanki/kolegi mieści się w przedziale

od (m/s) do (m/s), przy czym najbardziej prawdopodobną wartością jest (m/s).

Porównajcie swoje wyniki z wynikami innych zespołów, najlepiej tych, które dokonywały pomiaru długości klasy inną metodą lub inaczej oszacowały błąd pomiaru. Która metoda dała dokładniejszy wynik? Zanotujcie poniżej swoje wnioski i spostrzeżenia.

5.4. Karta pracy - badanie wartości siły, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało

Imię i nazwisko:

Klasa:

Pomiar siły wyporu za pomocą siłomierza

(dla ciała wykonanego z jednorodnej substancji o gęstości większej od gęstości wody).

Dlaczego niektóre ciała wypływają na powierzchnię cieczy, gdy inne toną?

Materiały: siłomierz, naczynie z wodą , metalowy klocek.

Czynności: 1. Zawieszamy siłomierz na statywie i skalujemy.

2. Korzystając z siłomierza mierzymy ciężar przedmiotu - metalowego klocka i zapisujemy pomiar do tabeli.

3. Zanurzamy klocek zawieszony na siłomierzu w zlewce z wodą i odczytujemy wskazania siłomierza.

4. Pomiar wpisujemy w tabeli. Pomiar powtarzamy .

5. Dokonujemy obliczeń i uzupełniamy tabelę.

Pomiary i obliczenia:

Nazwa ciała	Wartość przed zanurzeniem (F_1)	Wartość po zanurzeniu (F_2)	Siła wyporu ($F_w = F_1 - F_2$)
Metalowy klocek			
Metalowy klocek			
Metalowy klocek			

Jeśli wyniki pomiaru różnią się to dlaczego (niepewność pomiarowa, różnice w odczytaniu wskazań siłomierza)?

6. Zanotuj wnioski.

Wniosek:

Po zanurzeniu klocka siła odczytana na siłomierzu była _____, ponieważ
na klocek metalowy działała _____, która była skierowana
pionowo do _____. Na każde ciało zanurzone w cieczy działa
wyporu skierowana pionowo do góry i równa _____ wypartej
cieczy.

5.5. Karta pracy - wyznaczenie ciepła właściwego wody

Imię i nazwisko:

Klasa:

Wyznaczanie ciepła właściwego wody za pomocą czajnika elektrycznego lub grzałki o znanej mocy (przy założeniu braku strat)

Materiały: czajnik elektryczny (lub grzałka), cylinder miarowy, termometr, stoper, woda o temperaturze pokojowej.

Czynności: 1. Do cylindra miarowego wlej pewną ilość wody. Odczytaj jej objętość i oblicz jej masę. Przyjmij, że $1\text{ l} = 1\text{ dm}^3 = 1\text{ kg}$.

2. Zmierz jej temperaturę początkową. Oznacz ją jako T_p . Następnie wlej wodę do czajnika.

3. Odczytaj moc czajnika z tabliczki znamieniowej.

4. Włącz czajnik i zmierz czas potrzebny do ogrzania wody (τ).

UWAGA!

Nie doprowadź do wrzenia!

5. Zmierz temperaturę ogrzanej wody. Zapisz w obliczeniach, przyjmując oznaczenie T_k .

6. Ze wzoru na pracę $W = P \cdot \tau$ oblicz pracę prądu elektrycznego.

Przyjmij, że cała praca prądu elektrycznego (bez strat energii) została zamieniona na ciepło pobrane przez wodę $W=Q$.

Przekształć wzór na ciepło pobrane przez wodę $Q = c_w \cdot m \cdot \Delta T$ i oblicz ciepło właściwe wody.

Obliczenia:

Objętość wody	V=
Masa wody	m=
Temperatura początkowa wody	$T_p =$
Moc czajnika	P=
Czas ogrzania wody	$\tau =$
Temperatura ogrzanej wody	$T_k =$
Praca prądu elektrycznego	W=
Ciepło pobrane przez wodę	Q=

Różnica temperatur	$\Delta T = T_k - T_p$	$\Delta T =$
--------------------	------------------------	--------------

7. Przekształć wzór:

$$Q = c_w \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c_w = \dots\dots\dots$$

8. Odczytaj ciepło właściwe wody z tablic fizycznych.

$$c_w = \dots\dots\dots$$

9. Dlaczego otrzymany w doświadczeniu wynik różni się od wartości ciepła właściwego wody podawanego w tablicach fizycznych?

Wniosek:

10. Uzupełnij.

Ciepło właściwe jest to iloraz ciepła dostarczonego ciału przez jego i przyrost . Ciepło właściwe wody wynosi .

Ciepło właściwe wody w różnych stanach skupienia ma wartość:

woda –

lód -

para wodna -

6. Podsumowanie

Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie wybranych doświadczeń z fizyki realizowanych w III etapie edukacyjnym wykorzystując przedmioty codziennego użytku. W drugim rozdziale pozwoliłam sobie przedstawić istotę fizyki w naszym życiu oraz jej wagę w otaczającym nas świecie. Materiał zgromadzony w rozdziale trzecim ukazuje jak wygląda aktualna podstawa programowa z fizyki. Starłam się odpowiedzieć, jakie problemy badawcze postawione zostały w rozdziale czwartym oraz jakie wymagania zostały zrealizowane podczas przeprowadzania doświadczeń. Przedstawiona w czwartym rozdziale część badawcza nie wyczerpuje w całości zagadnienia związanego z jednym z istotniejszych czynników w procesie nauczania fizyki, gdyż wykonano pięć z piętnastu obowiązujących w gimnazjum doświadczeń. Zaproponowane doświadczenia pochodzą z takich działów jak: kinematyka, dynamika oraz termodynamika. Eksperymenty przedstawione w tym rozdziale pozwalają zgłębić cele ogólne oraz cele operacyjne lekcji, na których są realizowane oraz problemy z jakimi spotykają się uczniowie. Doświadczenia wykonane zostały w prosty sposób i jak najbardziej nadają się do samodzielnego powtórzenia przez uczniów. Niektóre z nich wymagają szczególnej ostrożności np. wyznaczenie ciepła właściwego wody – ze względu na wysoką temperaturę. Inne natomiast uczą cierpliwości. Dzięki doświadczeniom uczniowie poszerzają swoje wiadomości i je porządkują, formułują wnioski i weryfikują swoją dotychczasową wiedzę. Przedstawiony w rozdziale piątym materiał to przykładowe karty pracy dla uczniów, uzupełniające formę pracy na lekcji, w której przeprowadza się doświadczenia. Reasumując przyjęte hipotezy zweryfikowane zostały pozytywnie, a zamierzony cel pracy został osiągnięty. Praca którą wykonałam jest przykładem, jak powinien wyglądać proces przygotowania i przeprowadzania doświadczeń oraz ich krytycznej analizy w szkołach gimnazjalnych.

7. Bibliografia

7.1. Literatura

- [1] Feynman R.P., *Feynmana wykłady z fizyki. T. 1.1, Mechanika, szczególna teoria względności*, wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2001
- [2] Francuz-Ornat G., Kulawik T., Nowotny-Różańska M., *Spotkania z fizyką. Podręcznik dla gimnazjum 1*, wyd. Nowa Era, wydanie czwarte, Warszawa 2012
- [3] Francuz-Ornat G., Kulawik T., Nowotny-Różańska M., *Spotkania z fizyką. Podręcznik dla gimnazjum 2*, wyd. Nowa Era, Warszawa 2010
- [4] Godlewska M., Szot- Gawlik D., *Doświadczenia z fizyki dla uczniów gimnazjum 1*, wyd. Zamkor, Kraków 2000
- [5] Godlewska M., Szot- Gawlik D., *Doświadczenia z fizyki dla uczniów gimnazjum 2*, wyd. Zamkor, Kraków 2001
- [6] Halliday D., Resnick R., Walker J., *Podstawy Fizyki T.1*, wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2007
- [7] Halliday D., Resnick R., Walker J., *Podstawy Fizyki T.2*, wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2006
- [8] Szydłowski H., *Nauczanie fizyki a wiedza potoczna uczniów*, wyd. Nauk. UAM, Poznań 1991
- [9] Szydłowski H., *Pomiary fizyczne. Podręcznik dla nauczyciela*, wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1977
- [10] Praca zespołowa pod redakcją: Kalisiewicz D., Burek R., Gadacz T., Wojnowski J., *Encyklopedia PWN w trzech tomach. T. 1-3*, wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1999
- [11] Praca zespołowa pod redakcją: Kierejsza K., *Nowa Encyklopedia Szkolna*, wyd. Zielona Sowa, Kraków 2005

7.2. Internet

[12] Rochowicz K., Sadowska M., Karwasz G., *Toruński podręcznik do fizyki. Gimnazjum klasa I*, źródło: http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pliki/podrecznik1_16.pdf , dostęp dnia 21.11.2014r.

[13] Podstawa programowa przedmiotu Fizyka dla III i IV etapu edukacyjnego, źródło: <http://www.fizyka.osw.pl/Portals/physicseducation/Podstawa%20programowa%20z%20fizyki%20-%202009.pdf> , dostęp dnia 15.05.2014r.

[14] Strony internetowa Zakładu Dydaktyki Fizyki WFAiS: http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/KKK/Z_gorki_na_pazurki/sloownik/sloownik.html , dostęp dnia 21.11.14r.

[15] Strona internetowa Zamkor: <http://fizyka.zamkor.pl/artukul/63/1188-> , obowiazkowe-doswiadczenia-fizyczne/ dostęp dnia 21.11.14r.

[16] Internetowa Encyklopedia PWN:

<http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/3905205>, dostęp dnia 06.10.14

<http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/ruch;3969748.html> , dostęp dnia 14.10.14

<http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/termodynamika;3986684.html>, dostęp dnia 11.01.15

<http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/cieplo-wlasciwe;3886578.html>, dostęp dnia 14.01.15

[17] Strona internetowa: <http://www.iwiedza.net/materialy/m001.html>, dostęp dnia 07.01.15

[18] Strona internetowa: <http://www.bsp.bielsko.pl/publikacje/bolek4.htm>, dostęp dnia 30.12.14

[19] Internetowy Słownik Języka Polskiego PWN:

<http://sjp.pwn.pl/sjp/zadanie;2542078>, dostęp dnia 15.09.14

8. Spis rysunków

Rysunek 1. Stos pierza.....14

Źródło: <http://www.pierzeipuch.pl/oferta.html> , dostęp dnia 21.11.14

Rysunek 2. Odłam żelaza.....14

Źródło:<http://www.skup-zelazo-molibdenu.gielda-zlomu.pl/artykuly/zelazo-molibden-wlasciwosci.html> , dostęp dnia 21.11.14

Rysunek 3. Materiały potrzebne do wykonania doświadczenia: Pomiar gęstości mąki.....17

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 4. Mąka w naczyniu.....18

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 5. Pomiar masy mąki i naczynia.....18

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 6. Pomiar masy pustego naczynia.....18

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 7. Pomiar dna naczynia.....19

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 8. Pomiar wysokości naczynia.....19

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 9. Pomiar grubości naczynia.....19

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 10. Schemat przedstawiający wymiary naczynia.....20

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 11. Materiały potrzebne do doświadczenia: Pomiar gęstości i cukru.....21

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 12. Pomiar masy cukru.....21

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 13. Pomiar masy cukru w naczyniu.....21

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 14. Zmiana położenia wektora wodzącego za cząstką.....24

Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Rysunek 15. Wektor przedstawiony w układzie Oxyz.....25

Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Rysunek 16. Krzywa przedstawiająca tor ruchu cząstki.....25

Źródło: wykonanie i fotografia własna.

Rysunek 17. Hubert na drodze, na której zostanie wykonane doświadczenie.....30

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 18. Pomiar odległości pomiędzy słupkami.....30

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 19. Hubert na starcie i mijający kolejne słupki.....31

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 20. Pomiar czasu.....31

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 21. Mapa z wyznaczoną trasą.....33

Źródło: <https://www.google.pl/maps/place/Rozłogi,+Bydgoszcz/>, dostęp dnia 21.11.14

Rysunek 22. Czas pokonania wyznaczonego odcinka.....33

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 23. Nowy pociąg na jednej z tras województwa świętokrzyskiego.....35

Źródło: <http://www.kurierkolejowy.eu/aktualnosci/7010/Swietokrzyskie-PR-uruchamiaja-nowe-pociagi.html>, dostęp dnia 07.01.15

Rysunek 24. Materiały potrzebne do doświadczenia: Wyznaczanie szybkości samochodu...41

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 25. Wyznaczanie odległości.....42

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 26. Wyznaczanie kolejnych odcinków drogi.....42

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 27. Samochód w położeniu.....43

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 28. Pierwszy pokonany metr.....43

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 29. Drugi pokonany metr.....44

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 30. Trzeci pokonany metr.....44

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 31. Czwarty pokonany metr.....45

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 32. Otrzymane czasy.....45

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 33. Przystanek początkowy, środkowy i końcowy.....48

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 34. Droga pokonana przez autobus.....48

Źródło: <http://bydgoszcz.jakdojade.pl/#tabId=0&>, dostęp dnia 14.12.14

Rysunek 35. Pomiar przejazdu autobusu.....49

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 36. Archimedes.....50

Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes#mediaviewer/File:Domenico-Fetti_Archimedes_1620.jpg, dostęp dnia 07.01.15

Rysunek 37. Blaise Pascal (1623-1662) — francuski filozof, matematyk, pisarz i fizyk.....53

Źródło:http://pl.wikipedia.org/wiki/Wikiprojekt:T%C5%82umaczenie_artyku%C5%82%C3%B3w/Blaise_Pascal#mediaviewer/File:Blaise_pascal.jpg,
dostęp dnia 10.01.15

Rysunek 38. Materiały potrzebne do doświadczenia: Badanie wartości siły, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało.....55

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 39. Przygotowanie opakowania do pomiaru.....55

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 40. Pomiar wagi.....55

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 41. Pomiar wagi z zanurzonym ciałem.....56

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 42. Schemat rozkładu sił.....57

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 43. Materiały potrzebne do doświadczenia: Badanie siły, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało.....57

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 44. Przygotowanie sześcianu do pomiaru.....58

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 45. Pomiar masy.....58

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 46. Pomiar wagi z zanurzonym ciałem.....59

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 47. Materiały potrzebne do doświadczenia: Wyznaczanie ciepła właściwego za pomocą czajnika elektrycznego.....63

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 48. Odczyt mocy.....64

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 49. Pomiar temperatury.....64

Źródło: fotografia własna.

Rysunek 50. Pomiar czasu.....65

Źródło: fotografia własna.

9. Spis tabel

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów dla biegu Huberta.....31

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Porównanie prędkości średniej i chwilowej.....37

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Zestawienie wyników pomiarów.....46

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Pomiary doświadczenia: Wyznaczanie ciepła właściwego wody.....65

Źródło: opracowanie własne.

10. Spis wykresów

Wykres 1. Zależności $V(t)$	29
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 2. Zależność $x(t)$	29
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 3. Zależność $V(t)$	32
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 4. Zależność $s(t)$	32
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 5. Zależność $V(t)$	34
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 6. Zależność $s(t)$	34
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 7. Zależność $x(t)$	35
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 8. Zależność $x(t)$	36
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 9. Zależność $x(t)$	38
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 10. Zależność $V(t)$	38
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 11. Zależność $a(t)$	38
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	
Wykres 12. Zależność przebytej drogi od czasu.....	46
Źródło: wykonanie i fotografia własna.	

Wykres 13. Zależność $V(t)$	47
---	----

Źródło: wykonanie i fotografia własna.

11. Spis cytatów

Cytat 1	34
----------------------	----

Źródło cytatu: <http://www.plk-sa.pl/biuro-prasowe/informacje-prasowe/nowe-czasy-na-kolei-krotsza-podroz-w-nowym-rozkladzie-jazdy-2687/>, dostęp dnia 28.12.14