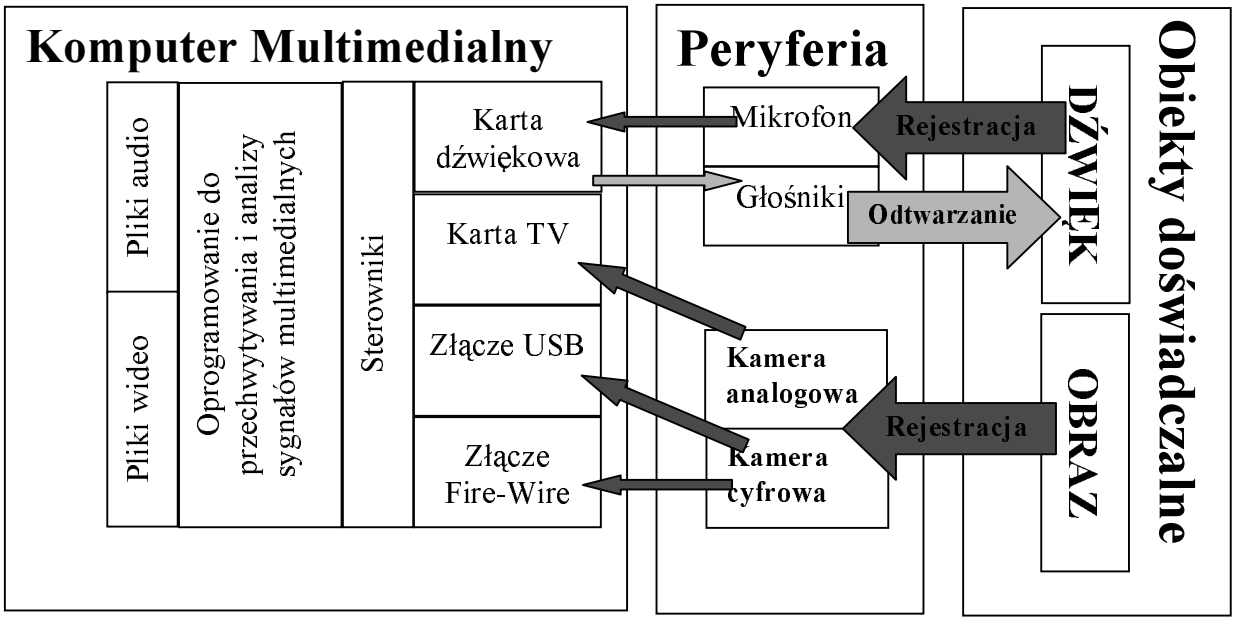
17. WYKORZYSTANIE KOMPUTERA MULTIMEDIALNEGO W DOŚWIADCZENIACH Z FIZYKI

Wojciech Dobrogowski, Andrzej Maziewski
Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu w Białymstoku

Komputerowe „zmysły”

Multimedia w które wyposażony jest współczesny komputer pozwalają na wykorzystanie nowych kanałów informacji nie tylko do przekazywania danych dla użytkownika w postaci dźwięku, obrazu czy animacji, ale mogą stać się „zmysłami” eksperymentatora dzięki którym wykorzystując komputer jesteśmy w stanie badać otaczającą nas rzeczywistość.

Wyposażenie komputera w kamerę sprawia że w jakimś sensie nasza "maszyna" zaczyna widzieć. Staje się możliwe rejestrowanie czy to pojedynczych klatek/zdjęć czy pełnych sekwencji video. Najbardziej popularnymi rozwiązaniami stosowanymi w tym celu są "tanie" kamery USB, często też nazywane kamerami internetowymi – „webcamy”. Inne stosowane do akwizycji obrazu urządzenia są oparte o karty rozszerzeń TV lub różnego rodzaju „frame grabery”. Umożliwiają one podłączenie do komputera dowolnej kamerą analogowej. Może to być zwykła kamera VHS, kamera przemysłowa czy przenośna kamera wideo umożliwiająca zapis obrazu na taśmie magnetycznej. To ostatnie rozwiązanie w wyniku uniezależnienia nośnika pamięci staje się mobilnym przyrządem pomiarowym. Coraz częściej spotyka się też kamery cyfrowe/aparaty umożliwiające niezależną od komputera rejestrację i zapis obrazu. Szybkie złącza fire-wire i cyfrowa postać danych nie tylko coraz lepszą jakość ale także szybkość dostępu do danych



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego z komputerem multimedialnym.

O ile komputer nie zawsze bywa „uzbrojony” w kamerę, karta dźwiękowa jest na dzień dzisiejszy wyposażeniem przeważającej większości nowych komputerów. Elementy znane z wcześniejszych konstrukcji w postaci kart rozszerzeń umożliwiających przetwarzanie sygnałów dźwiękowych zostały na dzień dzisiejszy zamienione konstrukcjami na stałe wbudowanymi w płytę główną. Te tanie lecz w pełni funkcjonalne rozwiązanie umożliwia pracę z sygnałami wejściowymi w postaci niskonapięciowego sygnału stereo „Line-In”,

gniazda mikrofonu mono, oaz bezpośrednich podłączeń z wyjściami audio czytników CD-R. Wyjście stereofonicznego sygnału audio które umożliwia nam podłączenie słuchawek lub głośników z osobno zasilanym wzmacniaczem. Takie rozwiązanie jest ściśle zbliżone do ludzkiego zmysłu słuchu. Nie przez przypadek operuje się tu sygnałem stereo- dwoje uszu. Umożliwia to wzmacnianie doznań medialnych odbiorcy. Także nieprzypadkowa jest też podstawowa częstotliwość próbkowania stosowana w takich rozwiązaniach wynosząca 44100Hz. Z grubsza można przyjąć że jest to trzykrotna górna granica słuchu człowieka (17 000Hz). Pozwala to w bardzo dobry sposób oddać większość słyszalnych przez człowieka tonów. Podobnie jest z rozdzielczością przetwarzania 16-to bitowych przetworników DAC/ADC użytych do konwersji sygnału z postaci cyfrowej do analogowej (odtwarzanie dźwięku) i analogowej do cyfrowej (rejestracja sygnału stereo). Karty te pracując w trybie FULL-DUPLEX pozwala jednoczesne korzystać z wejść i wyjść analogowych, co umożliwia w tym samym czasie na kontrolę doświadczenia (generowanie dźwięku) jak i wykonywanie pomiarów (nagrywanie z wejścia mikrofonowego).

Szkolne doświadczenia wspomagane komputerowo z wykorzystaniem kamery internetowej

Źródła sygnału

Z punktu widzenia eksperymentatora techniczne rozwiązania spotykane w różnych źródłach obrazu wprowadzają bariery mogące decydować o użyciu ich w konkretnym zestawie doświadczalnym. W przypadku pomiaru odległości/ruchu na zarejestrowanym obrazie, ograniczeniem takim jest np. rozdzielczość. Biorąc pod uwagę że znamy rzeczywistą długość L elementu obrazu między punktami A=(Ax,Ay) i B=(Bx,By) to wynika z tego że dla pojedynczego piksela możemy przypisać długość dl=L/|AB|, gdzie $|AB|=((Bx-Ax-)^2+(By-Ay)^2)^{(1/2)}$ jest długością (w pikselach) odcinka łączącego punkty A i B. długość ta pozwala na określenie dokładności z jaką rejestrujemy obiekty naszym "okiem". Kolejnym ważnym elementem jest też czas trwania rejestracji pojedynczej klatki obrazu z którego wynika rozdzielczość czasowa naszego „zmysłu" pozwalająca na analizę dynamiki rejestrowanych zdarzeń. Elementy te wiążą się z wydajnością komputera i używanych do przesyłania łącz danych. Po prostu większa rozdzielczość obrazu wymusza przesyłanie i obróbkę zupełnie innej ilości informacji niż gdy mamy do czynienia z mniejszą klatką.

Kamery USB

Wykorzystanie złącza USB zapewnia zarówno prostotę podłączenia jak i eliminuje potrzebę posiadania dodatkowego wyposażenia w postaci transmisyjnych/dekodujących kart. Jednak jeżeli chodzi o ocenę jakości otrzymanego obrazu widać sporo niedoskonałości. Pierwszą z nich jest słabe odwzorowanie naturalnych barw. Kolejną jest tempo rejestracji obrazu. W przypadku maksymalnej (640x480) rozdzielczości spada ono gwałtownie (do 6 klatek/s -(1)), a nagrywanie z maksymalną prędkością jest możliwe przy formacie 160x120 (30 klatek/sek.). Zazwyczaj kamery takie posiadają też stałą, szerokokątną optykę której główną wadą jest występujące przerysowanie obrazu (objawia się to silnym zniekształceniem linii na brzegach obrazu).

Rys.2 Kamera USB

Kamery PAL

Wykorzystanie kart/tunerów TV w połączeniu z kamerą wizyjną jest rozwiązaniem droższym (już sama karta to wydatek podobny do zakupu kamery USB), jednak charakteryzuje się o wiele lepszymi osiągami w porównaniu do poprzednio omawianego rozwiązania. Dzięki niemu możemy nie tylko analizować wcześniej nagrane kamerą zdarzenia (rejestracja VHS), ale także korzystać ze znacznie tańszych kamer przemysłowych (koszt najprostszej to wydatek rzędu 100 PLN). Co prawda aspekty wiążące się z system PAL mają wpływ na jakość obrazu, jednak możliwość rejestracji obrazu o dużych rozdzielczościach z maksymalną prędkością wydaje się je niwelować. Zaletą jest też możliwość wykorzystania optyki lepszej klasy niż ma to miejsce w kamerach USB.

Rys.3.Kamera przemysłowa

Kamery cyfrowe

Rozwiązania stosunkowo najdroższe ze wszystkich wspomnianych jednak pozwala uniknąć utraty jakości obrazu przy przesyłaniu go do komputera. Sposób zapisu ma wyraźnie inną filozofię niż system PAL

Krok po kroku czuli jak przygotować stanowisko

Przygotowując układ doświadczalny w którym rejestracja zjawiska odbędzie się z wykorzystaniem kamery musimy zwrócić uwagę na kilka istotnych szczegółów które pozwolą nam uniknąć błędów i otrzymać zarejestrowany obraz w możliwie doskonałej jakości.

Oświetlenie – jak i w fotografii tak i w robieniu zdjęć kamerą cyfrową musimy zadbać o odpowiednio silne oświetlenie naszego „planu zdjęciowego". Powoli to kamerze na wierniejsze przeniesienie kolorów, uzyskanie odpowiedniego kontrastu oraz co najważniejsze na wykonanie zdjęć z możliwie najkrótszym czasem ekspozycji elementu światłoczułego co pozwoli na rejestrację „nieporuszonych" obiektów, co jest bardzo ważne biorąc pod uwagę przypadki rejestracji ruchu, a do tego służy najczęściej kamera.

Geometria układu Istotne jest zwłaszcza wyeliminowanie efektu „perspektywy". Wskazane jest w tym celu takie ustawienie kamery aby ruch odbywał się w płaszczyźnie prostopadłej do osi obiektywu. Istotne jest również by wzorzec długości który będziemy w analizie obrazu używać do kalibracji znajdował się w tej samej płaszczyźnie co rejestrowane zmiany ruchu.

Dobór obiektów i tła – by uzyskać możliwie duży kontrast powinno się zadbać by poruszający się obiekt silnie odcinał się od „tła", dla przykładu może to być biała piłka na tle czarnej/zielonej tablicy. W miarę możliwości należy zadbać o to by tło było jednostajne/jednokolorowe.

Aranżacja sceny – pamiętając o używanym sprzęcie miejmy na uwadze że długość kabla kamery USB nie przekracza zazwyczaj 1.5 m. W tym momencie pamiętać musimy o miejscu w którym będziemy mogli wykorzystać kamerę i czy „noszenie" komputera jest rozwiązaniem optymalnym. Sama scena doświadczenia powinna być tak dobrana by możliwie maksymalnie wykorzystane zostały możliwości rejestracji kamery. Chodzi tu oczywiście o kadrowanie czyli pozbycie się „martwych" pól rejestrowanego obrazu – nie wnoszą one nic

do wyniku doświadczenia, a odpowiednie ustawienie kamery może przecież poprawić dokładność rejestracji zjawiska. Przykładem może tu być spadek swobodny. Wystarczy przekręcić kamerę o 90 stopni by zarejestrować ruch z większą rozdzielczością. Zazwyczaj stosunek szerokości do wysokości rejestrowanego obrazu wynosi 4:3 co w powyższym przykładzie pozwala na rejestrację 33% większej ilości punktów znaczących'.

Oprogramowanie systemowe

Większość producentów kamer wraz ze sprzętem dostarcza poza odpowiednimi sterownikami oprogramowanie dzięki któremu możliwa jest nie tylko rejestracja sekwencji video, ale także jego przetwarzanie, czy realizacja pewnych interaktywnych elementów funkcjonalnie połączonych z procesem rejestracji obrazu. Przykładem mogą tu być funkcje wykrywania ruchu czy połączenie wykrywania ruchu z interakcją w postaci gier (1).

Oprogramowanie pomiarowe

Nagranie i wstępne przetwarzanie filmu

Uniwersalnym programem do nagrywania i przetwarzania sekwencji video jest VirtuaDub (http://www.virtualdub.org/). Po zarejestrowaniu filmu bądź otworzeniu go z pliku, przy jego pomocy możemy dokonać edycji polegającej na obcięciu filmu jedynie do klatek nas interesujących, co pozwoli radykalnie zmniejszyć jego rozmiar. Pamiętając też o wymogach programu VidShell, którego będziemy używać dalej do pomiarów, należy dopasować rozmiar rejestrowanych klatek do wielkości 320x240 punktów. Pamiętamy przy tym by nie zachwiać proporcjami zarejestrowanej sekwencji wideo. Najprostszy wzór na dobór nowego rozmiaru wynikający z proporcji wygląda następująco: $W_N = W_O * 320 / Sz_O$, gdzie: W_N –nowa wysokość, W_O - oryginalna wysokość, Sz_O –oryginalna szerokość. Wzór ten oczywiście zakłada ustaloną szerokość nowego filmu na 320 pikseli. Należy też usunąć ścieżkę dźwiękową co jest wymogiem VidShell-a. Sekwencje video można też poddać kompresji lub przetważaniu filtrami obrazu dostępnymi w tym programi w celu podniesienia jego jakości.

Pomiary video

Program *VidShell* (http://webphysics.tec.nh.us/vidshell/vidshell.html.) jest przeznaczony do wykonania pomiarów położenia na obrazach w zarejestrowanym klipie wideo. Pierwszym krokiem po uruchomieniu i wczytaniu sekwencji wideo jest skalibrowanie odległości. W tym celu wybieramy narzędzie „linijka" i przy pomocy myszki określamy ekranową długość wzorca, a następnie wprowadzamy jego rzeczywiste wymiary. Następnie ustawiamy sekwencję na pierwszej klatce filmu którą poddamy analizie i wprowadzamy ekranowy układ odniesienia względem którego będziemy mierzyć przesunięcia/zmiany w naszym doświadczaniu. Najlepiej jest określić środek układu w początkowym punkcie położenia ruchomego obiektu. Krokiem następnym jest włączenie tabeli do rejestracji danych, co wiąże się z określeniem czasu jaki upływa między dwoma kolejnymi klatkami naszego filmu. Dla przykładu przy 25 FPS (Frame Per Second – klatek na sekundę) mamy czas równy $\Delta t=0.04$ s. Przewijajmy następnie naszą sekwencję klatka po klatce i określamy kolejne położenia przemieszczającego się obiektu. Mierzone punkty pojawiają się w tabeli którą po skończonym pomiarze możemy zapisać do pliku tekstowego gdzie kolejne kolumny położeń x i y uzupełnione są kolumną czasu. Wartości są oddzielone od siebie przecinkami. Tak otrzymane wyniki jesteśmy w stanie wizualizować i przekształcać w innym oprogramowaniu (np. Excel, GnuPlot).

Programy do analizy danych

Tu należy posłużyć się ulubionym programem do przeważania i analizy danych który umożliwi nie tylko przeliczenie poszczególnych kolumn wyników ale także pozwoli na dopasowanie zależności teoretycznych. Przykładem jest tu oczywiście Excel, Coach 5 (import tabeli) lub darmowe Maxima (http://maxima.sourceforge.net/) czy GnuPlot (http://www.gnuplot.info/)

Przykład 1: Wyznaczenie prędkości fal rozchodzących się na powierzchni wody

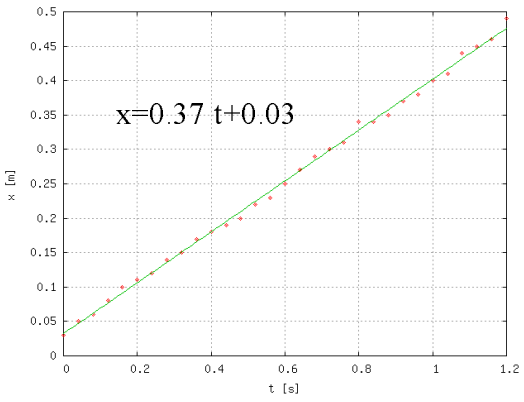
Celem doświadczenia jest wyznaczenie prędkości fali na wodzie.

Opis układu

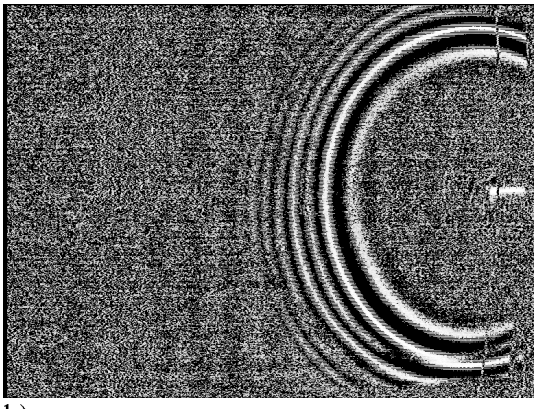
Użyty został zestaw do demonstracji rozchodzenia się fal na wodzie „Wanna/ Akwarium" – rodzaj kuwety wykonanej ze szkła z oświetleniem pozwalającym na rzutowanie obrazu fal na sufit. Naniesiona jest tez podziałka którą widzi się na rzutowanym obrazie (skala co 10 cm). W ogólnym przypadku wystarczy zastosować odpowiednio dużą kuwetę bądź inny zbiornika w którym możemy zarejestrować rozchodzenie się fal. Rozwiązaniem jest też plenerowa rejestracja przy użyciu kamery VHS np. fal rozchodzących się w wodzie po upadku kamienia/obiektu rejestrowana np. z mostu. W naszym przypadku użyta została kamera video :VHS kolor, karta -tuner TV/FM z procesorem typ: PV-BT878P+oraz oprogramowanie PixelView dostarczone przez producenta karty. Oryginalny obraz był zapisywany szybkością 25 klatek na sekundę w formacie 15 bit RGB i rozmiarze 768x576.

Wykonanie pomiaru

Po napełnieniu wodą kuwety ustawiamy kamerę tak by była skierowana prostopadle do powierzchni wody, a w naszym przypadku do obrazu rzucanego na sufit. Jeżeli nie jest to możliwe staramy się by efekt „perspektywy" był możliwie najmniejszy, tak by wyeliminować błędy pomiaru odległości z tym związane. Do wzbudzenia fali służyła strzykawka z której spuszczane pojedyncze krople na powierzchnię wody stawały się źródłem fali. Musimy pamiętać że nie jest to zaburzenie o ustalonej długości i natężeniu. W oprogramowaniu rejestrującym ustalamy takie parametry jak rozdzielczość przechwytywanego strumienia wideo i ilość klatek rejestrowanych w ciągu sekundy (możliwie największą). Włączamy proces rejestracji i wykonujemy nagranie rozchodzących się fal. Bezpośrednio po nagraniu filmu oglądamy go sprawdzając czy uzyskany efekt jest wystarczająco widoczny.



a)



b)

Rys.4 a)Kolejne położenia czoła fali x(t) i ich liniowe dopasowanie na podstawie którego wyznaczamy prędkość. b) przetworzona postać obrazu rozchodzącej się fali

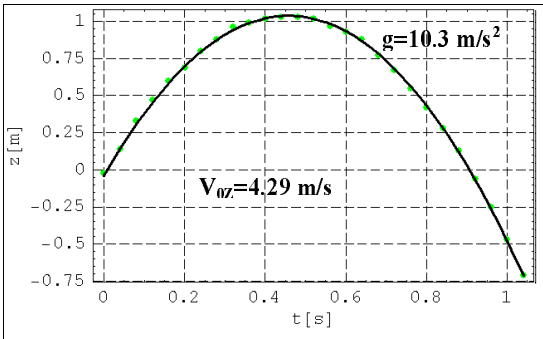
Po wstępnym przetworzeniu filmu poddajemy go analizie w programie VidShell. Ustawiamy jako pierwszą klatkę tą na której jesteśmy w stanie określić pierwsze czoło fali, a następnie dokonujemy rejestracji kolejnych jej położeń idąc po tym samym promieniu np. wzdłuż linii określających osie układu odniesienia. Zarejsetrowane dane zapisujemy do pliku i poddajemy dalszej analizie w postaci dopasowania zależności liniowej $x = v\,t + x_0$. Wynikem pomiaru jest prędkość $v=0.37 \pm 0.01$ m/s/.

Badanie rzutu ukośnego z wykorzystaniem analizy obrazu wideo

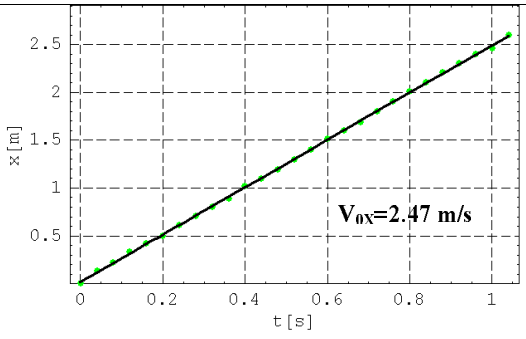
Celem pomiaru jest sprawdzenie szkolnego opisu rzutu ukośnego, wpływu oporu powietrza na ruch obiektów i wyznaczenie przyśpieszenia ziemskiego

Opis układu

Rejestracji rzut ukośny należy zadbać aby było odpowiednio dużo miejsca, by móc bez przeszkód zarejestrować trajektorie lotu. Istotnym elementem jest dobór obiektów których ruch będziemy badać. W naszym przypadku wybraliśmy dwie piłki. By pokazać poprawność szkolnego opisu rzutu wybraliśmy piłkę kauczukową. Natomiast by zauważalny był wpływ siły oporu na tor lotu stosowaliśmy piłkę wykonaną z gąbki. Obie można nabyć w sklepach sportowych. Taki dobór obiektu jest związany z stosunkiem powierzchni przekroju poprzecznego lub kwadratu promienia do masy [1].
Należy też zadbać o odpowiednią geometrię układu. Chodzi o to aby ruch odbywał się możliwie dokładnie w płaszczyźnie prostopadłej do osi obiektywu kamery. Pozwoli to na eliminację błędów paralaksy. Również istotnym faktem jest użycie możliwie dużej ogniskowej obiektywu (brak zniekształceń/przerysowania obrazu w przypadku małej ogniskowej) oraz dobrania czasu ekspozycji tak by poruszający się obiekt nie był rozmazany.



a)



b)

c)

Rys.5 Rzut ukośny zarejestrowany dla piłki wykonanej z kauczuku o średnicy d_g=4 cm i masie m_g= 34 g Kolejne położenie piłki rejestrowano co 0.04 sekundy. Grubą linią zaznaczono piłki określony na podstawie szkolnych wzorów. a) tor ruchu x-z z uwzględnieniem dopasowania szkolnymi wzorami, b) położenia poziome i szkolna postać prędkości dopasowana na podstawie kilku początkowych punktów, c) położenie w pionie

Wykonanie pomiaru

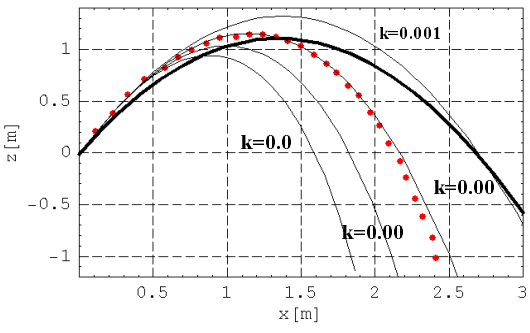
Po wstępnym przetworzeniu filmu z ruchem piłeczki poddajemy go analizie z wykorzystaniem programu VidShell. Jako wzorca długości można użyć wzrostu osoby wykonującej rzut. Na kolejnych klatkach sekwencji zaznaczamy położenia obiektu/piłki i wynik pomiaru zapisujemy do pliku. Wynikiem takich operacji są zarejestrowane tory z(x(t)) – rysunki 5a i 6a.

Znając tor piłeczki z(x(t)) wykreślono doświadczalne zależność od czasu współrzędnej w poziomie i w pionie x(t) i z(t), rys.6b,c. Punkty doświadczalne z tych rysunków dobrze opisuje się funkcjami $x(t)=V_{0X}t+x_0$ i $z(t)=z_0+V_{0Z}t-gt^2/2$, które zaznaczone są liniami grubymi. Dopasowanie tych krzywych do punktów doświadczalnych pozwoliło na wyznaczenie składowej x i z prędkości początkowej oraz przyśpieszenia ziemskiego. Jak widać na zamieszczonych ilustracjach tor piłeczki kauczukowej jest dobrze opisany szkolnymi wzorami - krzywe z(x), x(t) i z(t).

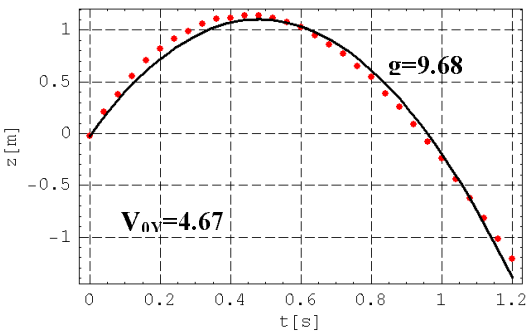
W przypadku piłeczki z gąbki widoczny jest wpływ oporu powietrza na jej ruch. Porusza się ona po torze balistycznym należy uwzględnić siłę opór powietrza $F_o=-kv^2$.

$$\vec{F} = -mg\hat{z} - kv^2 \frac{\vec{v}}{v}$$

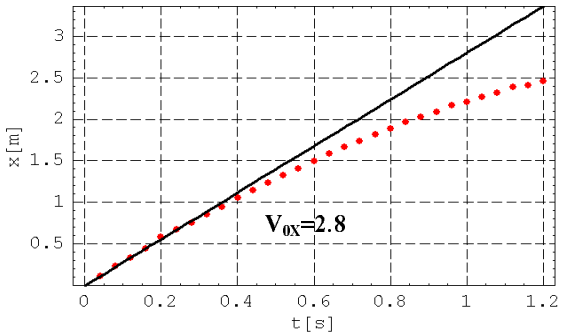
Analiza położenia z(t) pozwala na określenie przyspieszenia ziemskiego z dokładnością rzędu 5 %.



a)



c)



b)

Rys.6.Rzut ukośny zarejestrowany dla piłki wykonanej z gąbki o średnicy d_g=6.4 cm i masie m_g= 5.2 g Kolejne położenia piłki rejestrowano co 0.04 sekundy. Grubą linią zaznaczono tor określony na podstawie szkolnych wzorów. a) tor ruchu x-z z uwzględnieniem dopasowania szkolnymi wzorami oraz uwzględnieniem siły tarcia, b) położenia poziome i szkolna postać prędkości dopasowana na podstawie kilku początkowych punktów, c) położenie w pionie

Bibliografia

Odnośniki do stron Internetowych:

_____

_____

_____ _

ś

_____ _

ą ś ę