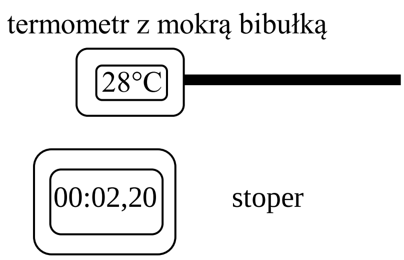
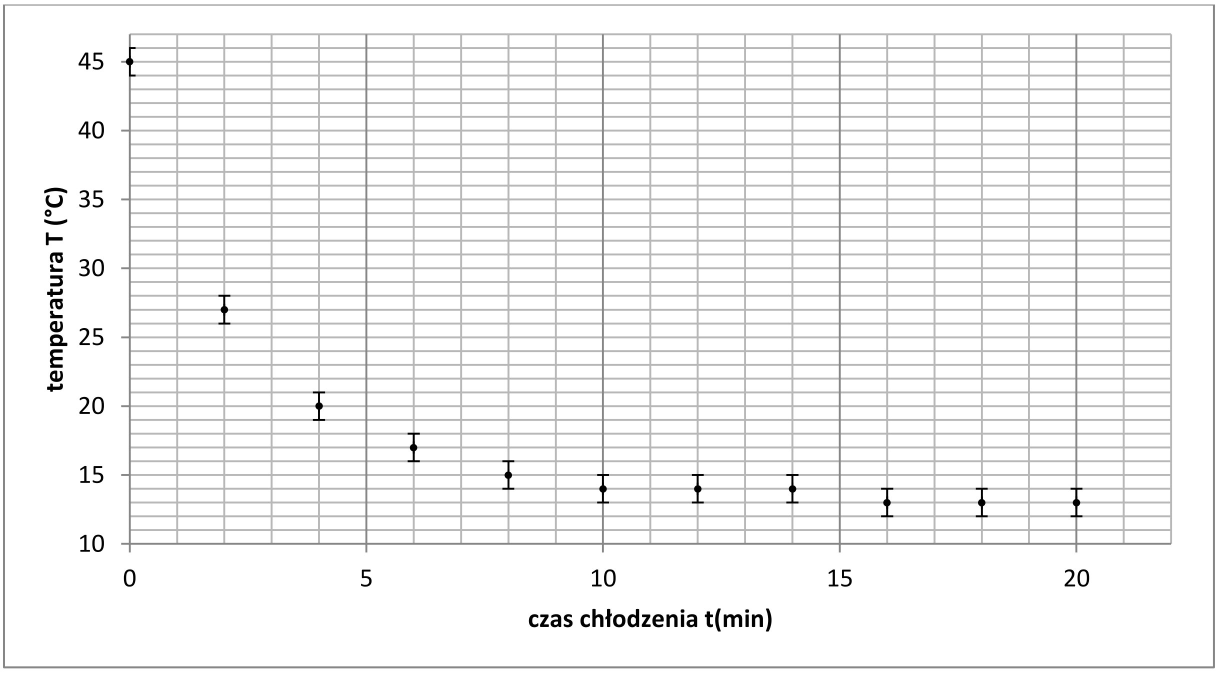
wsip matura fizyka

Analiza wyników doświadczeń fizycznych

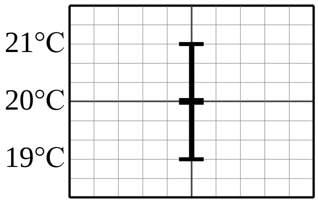
Poprzedni artykuł w tym serwisie był poświęcony niepewnościom pomiarowym pomiarów bezpośrednich i pośrednich, w których uzyskiwano pojedyncze wyniki. Tym razem będziemy zajmować się wynikami doświadczeń, w których należy sporządzić **wykres zależności jednej wielkości fizycznej od drugiej**. Weźmy prosty przykład analizy zależności temperatury wskazywanej przez cyfrowy termometr, którego sonda jest owinięta mokrą bibułką, od czasu.

Na rysunku przedstawiono schemat układu doświadczalnego. Do pomiaru temperatury użyto termometru o dokładności 1°C. Czas wyznaczono za pomocą stopera. Dokładność pomiaru czasu wynosiła 0,01 s. Dane otrzymane z doświadczenia przedstawiono na wykresie, na którym zaznaczono poszczególne punkty pomiarowe. Temperatura powietrza w pomieszczeniu, w którym wykonano doświadczenie, wynosiła 21°C.





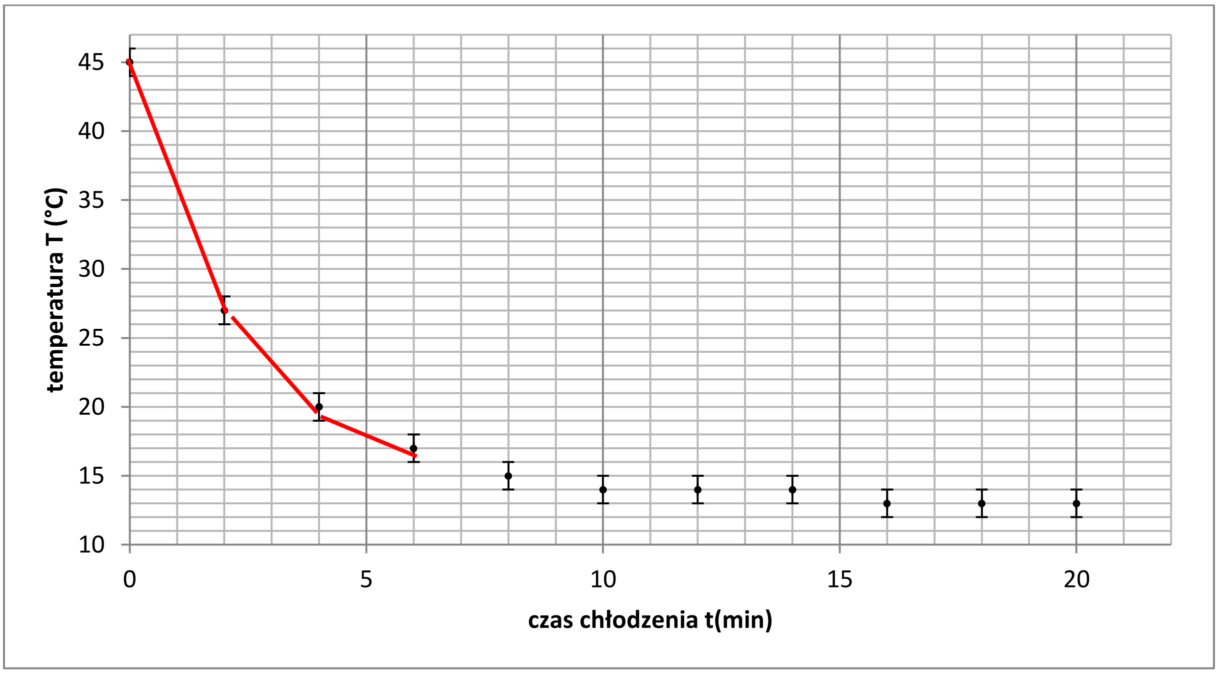
W zestawach maturalnych są oczywiście zadania, które wymagają zaznaczenia punktów pomiarowych. W naszym przypadku zaznaczanie punktów pomiarowych byłoby zbyt czasochłonne. Teraz może pojawić się polecenie **zaznaczenia niepewności pomiarowych**.



Na osi czasu nie da się tego zrobić, ponieważ niepewności są zbyt małe. Możemy je natomiast zaznaczyć na osi temperatury.

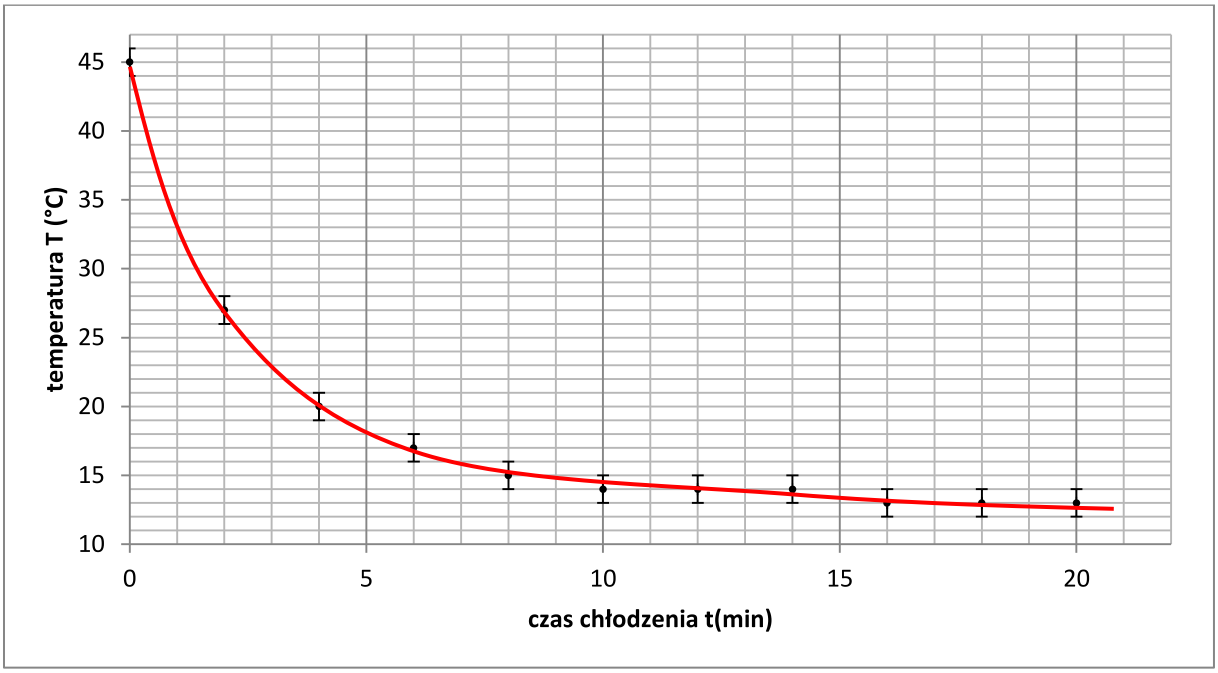
Termometr w pewnym momencie wskazuje 20°C. Jeśli uwzględnimy informację, że jego dokładność wynosi ± 1°C, rzeczywista temperatura mokrej bibułki mogła wynosić od 19 do 21°C.

Przedstawiamy to na wykresie za pomocą słupka niepewności pomiarowych dookoła punktu pomiarowego. Podczas analizy danych pomiarowych jednym z błędów, które popełniają uczniowie, jest łączenie punktów pomiarowych odcinkami prostych:



Nigdy tak nie róbcie! Rysujący przebieg w taki sposób sugeruje, że tempo spadku temperatury zmienia się wraz z kolejnym pomiarem. Gdybyśmy nie dokonali pomiaru w czwartej sekundzie, to należałoby połączyć punkt temperatury w drugiej sekundzie z punktem temperatury w szóstej sekundzie? A wówczas szybkość zmian temperatury byłaby inna?

Raczej nie, tempo zmian temperatury zmienia się łagodnie, zgodnie z pewną gładką krzywą:



Narysowana krzywa jest wykreślona „ręcznie”. Podczas rozwiązywania arkuszy maturalnych nie mamy możliwości korzystania z arkusza kalkulacyjnego. Tego rodzaju krzywe musimy prowadzić bez pomocy narzędzi. Gdy kreśli się krzywą najlepszego dopasowania, należy dbać o to, żeby była pozbawiona załamań, powinna przechodzić jak najbliżej punktów pomiarowych, być zawarta wewnątrz słupków niepewności pomiarowych.

Gdy mamy już krzywą opisującą przebieg doświadczenia, przystępujemy do analizy jego wyników. Możemy zauważyć, że temperatura mokrej bibułki spada szybciej na początku procesu. Temperatura końcowa jest niższa od temperatury otoczenia itp. Przyjemność wyjaśnienia, dlaczego tak się dzieje, pozostawiam Czytelnikowi.

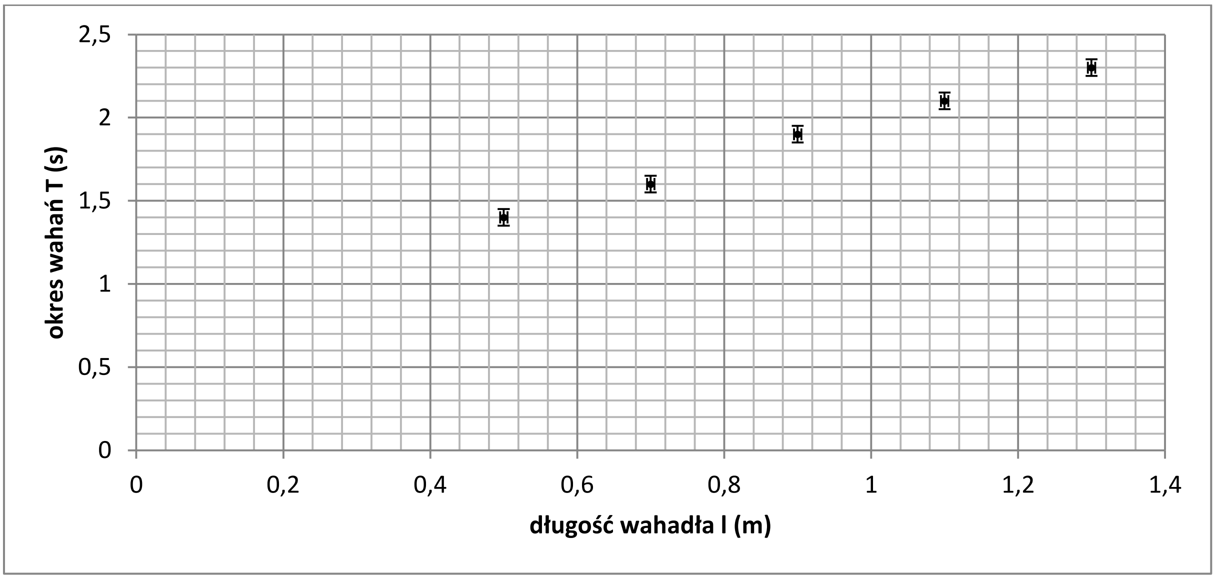
Innym przykładem doświadczenia, którego analizę można przeprowadzić podczas egzaminu, jest **wyznaczanie wartości przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła matematycznego**. Okres drgań takiego wahadła można obliczyć ze wzoru: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Ze wzoru wynika, że dla różnych długości *l* wahadła będziemy mierzyć różne okresy *T* jego wahań. Można to wykorzystać do wyznaczenia wartości przyspieszenia grawitacyjnego *g*.
W tabeli przedstawiono zależność okresu wahań wahadła od jego długości.

długość wahadła *l* (m)	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
okres wahań *T* (s)	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3

Niepewność pomiarowa wyznaczenia długości wahadła wynosiła ± 0,005 m, a niepewność pomiaru czasu to ± 0,05 s.

Pierwsze polecenie do takiego zadania może polegać na **sporządzeniu wykresu zależności okresu wahań wahadła od jego długości**.



Gdybyśmy dorysowali prostą najlepszego dopasowania do tych punktów, to nie przejdzie ona przez punkt (0,0). Oznacza to, że okres wahań wahadła nie jest wprost proporcjonalny do jego długości. Wynika to zresztą również ze wzoru zapisanego wcześniej. Aby wyznaczyć wartość przyspieszenia ziemskiego z naszych danych, musimy znaleźć zależność liniową między tymi parametrami. Chcemy otrzymać zależność, w której g będzie współczynnikiem kierunkowym prostej:

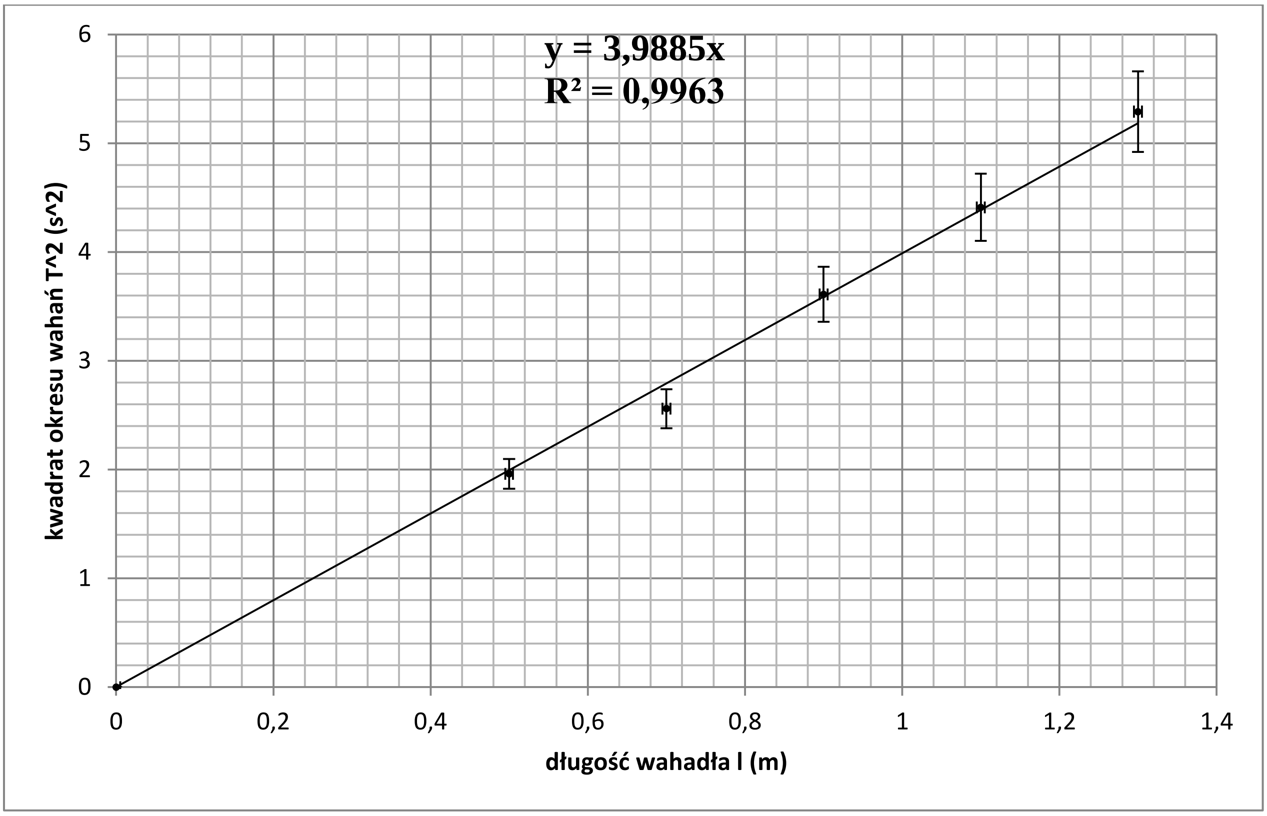
$$T^2(l) = \frac{4\pi^2}{g}\, l \ .$$

Otrzymaliśmy w ten sposób funkcję typu $y\,(x) = a\,x$, gdzie a jest współczynnikiem kierunkowym prostej.

Tworzymy nową tabelę z danymi:

długość wahadła l (m)	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
kwadrat okresu wahań T^2 (s^2)	1,96	2,56	3,61	4,41	5,29

Na podstawie danych z tej tabeli tworzymy nowy wykres:



Arkusz kalkulacyjny wyznaczył współczynnik kierunkowy prostej dla zależności kwadratu okresu wahań od długości wahadła. Wynosi on 3,9885. W naszym równaniu ten współczynnik zapisaliśmy wyrażeniem: $\frac{4\,\pi^2}{g}$. Wartość przyspieszenia ziemskiego obliczymy ze wzoru:

$$g = \frac{4\,\pi^2}{3{,}9885}\,\frac{m}{s^2} = 9{,}88\,\frac{m}{s^2}$$

Pozostaje jeszcze „drobnostka” w postaci konieczności ustalenia niepewności pomiarowej wartości przyspieszenia ziemskiego.

Na pewno zauważyliście, że słupki niepewności pomiarowych wzdłuż osi poziomej (długości wahadła) są stałe i wynoszą ± 0,005 m. Natomiast niepewności pomiarowe wzdłuż osi pionowej mają coraz większe długości. W arkuszu kalkulacyjnym zaznaczyłem długość odcinka niepewności jako 5% wartości T^2. Gdy wykres wykonujemy ręcznie, to względną niepewność pomiarową kwadratu okresu obliczymy ze wzoru:

$$\frac{\Delta(T^2)}{T^2} = 2\,\frac{\Delta T}{T}$$

Następnie dla każdego punktu pomiarowego wyznaczamy długość słupka niepewności pomiarowej.

Względną niepewność pomiarową przyspieszenia ziemskiego obliczymy ze wzoru:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2\frac{\Delta T}{T}$$

Gdy podstawimy dane, otrzymamy: $\frac{\Delta g}{g} = 5{,}98\% = 6\%$

Bezwzględna niepewność pomiarowa przyspieszenia ziemskiego wynosi:

$$\Delta g = 0{,}06 \ \cdot 9{,}88 \ \frac{m}{s^2} = 0{,}59 \ \frac{m}{s^2}$$

Ostatecznie wynik naszego pomiaru to:

$$g = (9{,}88 \pm 0{,}59)\,\frac{m}{s^2}$$

Rzeczywista wartość przyspieszenia ziemskiego mieści się w granicach wyników naszego pomiaru.

Mam nadzieję, że powyższe uwagi pomogą Wam lepiej przygotować się do zadań występujących na egzaminie maturalnym z fizyki.

Grzegorz F. Wojewoda
nauczyciel fizyki