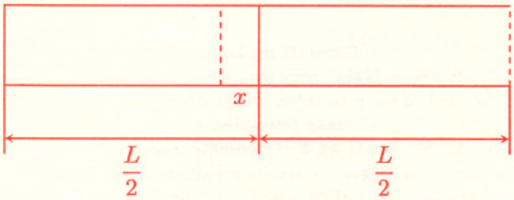
Wartość k znajdziemy stąd, że siła sprężysta powstaje przy sprężaniu gazu zawartego w lewej połowie rury.



Jeśli „tłok", czyli gaz zawarty w prawej połowie rury, przemieści się o małą odległość x, to sprężony gaz w lewej połowie będzie nań działał siłą $F = (p - p_0)S$, gdzie p_0 – ciśnienie gazu przed sprężeniem, p – ciśnienie po sprężeniu. Mamy więc

$$k = \frac{(p-p_0)S}{x} = \frac{(p-p_0)S^2}{V - V_0}\,, \tag{6}$$

gdzie V oznacza aktualną objętość sprężonego gazu.

W przypadku szybkich drgań o częstościach akustycznych należy skorzystać z równania przemiany adiabatycznej (gaz sprężany i rozprężany dostatecznie szybko będzie wykazywał wahania temperatury, bo nie zdąży się ona wyrównać przez wymianę ciepła z otoczeniem):

$$pV^{\kappa} = p_0 V_0^{\kappa}\,, \tag{7}$$

gdzie κ jest stosunkiem ciepła właściwego gazu przy stałym ciśnieniu do ciepła właściwego przy stałej objętości, tj. c_p/c_v.

Równanie przemiany adiabatycznej (wzór 7) przepiszemy w postaci, w której wystąpi potrzebna nam różnica $V - V_0$, tj.:

$$p(V - V_0 + V_0)^{\kappa} = p_0 V_0^{\kappa}\,,$$

skąd

$$p\left(1 + \frac{V - V_0}{V_0}\right)^{\kappa} = p_0\,.$$

Dla małych względnych zmian objętości możemy zapisać (zgodnie ze wzorem $(1+\varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon$, w którym po prawej stronie jest pominięty wyraz z ε^2 i wyrazy wyższych rzędów):

$$p\left(1 + \kappa\frac{V - V_0}{V_0}\right) = p_0\,. \tag{8}$$

Obliczając z powyższego równania różnicę ciśnień $p - p_0$ i podstawiając do równania (6) otrzymamy

$$k = \kappa\frac{p_0}{V_0}S^2\,. \tag{9}$$

Podstawiając za m i k do wzoru (4) wartości zgodnie z równaniami (5) i (9) otrzymujemy

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{V_0\varrho}{\kappa\frac{p_0}{V_0}S^2}} = 2\pi\sqrt{\frac{\varrho\cdot\frac{1}{4}L^2}{\kappa p_0}} = \pi L\sqrt{\frac{\varrho}{\kappa p_0}}\,.$$

Widzimy więc, że otrzymany wynik niewiele różni się od ścisłego (wzór 3) mimo stosowania tak znacznych uproszczeń.

Powyższe przykłady podałem dla zilustrowania tezy pierwszej mojej odpowiedzi. Podobnych przykładów można znaleźć bardzo wiele, zarówno na stronicach podręczników, jak i w publikacjach naukowych (zwłaszcza w początkowych okresach rozwoju jakiejś dziedziny fizyki, kiedy to autorzy nawiązują do dobrze opisanych matematycznie zjawisk z innych dziedzin).

Dla zilustrowania drugiej tezy możemy się posłużyć przykładem równania van der Waalsa, drganiami anharmonicznymi atomów w cząsteczce dwuatomowej, wahaniami wahadła matematycznego o dużej amplitudzie itp. Również świetną ilustracją jest powszechnie stosowany przez fizyków rachunek zaburzeń, w którym korzystamy z rozwiązania dobrze znanego dla sytuacji skrajnie uproszczonej (idealnej), a rozwiązywany problem traktujemy jako „lekko zaburzony" przypadek idealny.

Jan ŁOPUSZAŃSKI, Wrocław – Instytut Fizyki Teoretycznej UWr

Odpowiem na pytanie 3 i po części na pytanie 4. Umysł ludzki jest tak skonstruowany, że może jedynie operować abstrakcyjnymi pojęciami, wyabstrahowanymi w sposób sztuczny z otaczających go zjawisk. Mówiąc o krześle abstrahujemy od tego, że krzesło jest otoczone powietrzem, z którym oddziałuje, jest wystawione na wpływy pola grawitacyjnego (stoi np. na podłodze) i pól elektromagnetycznych (np. w postaci światła). Łatwiej jest nam określić, co to jest trwała cząstka materii, używając naszego arsenału pojęć, aniżeli zdefiniować jednoznacznie, co to jest cząstka nietrwała. Podobnie łatwo jest nam określić brak zaburzenia w układzie, ale trudno jest zdefiniować, co oznacza małe zaburzenie (jak określić jednoznacznie „małość" czegoś?). Nasza wiedza też jest tak skonstruowana. Posługujemy się pojęciami sztucznie przez nas wyodrębnionymi z całości zjawisk nas otaczających, zjawisk, gdzie trwa stałe oddziaływanie (obiektu, który nie oddziałuje z niczym, nie bylibyśmy w stanie postrzec i wykryć). Jest to defekt naszego poznania, ale na to nie ma rady. Tak nas Opatrzność urządziła.