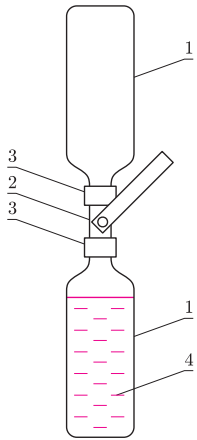
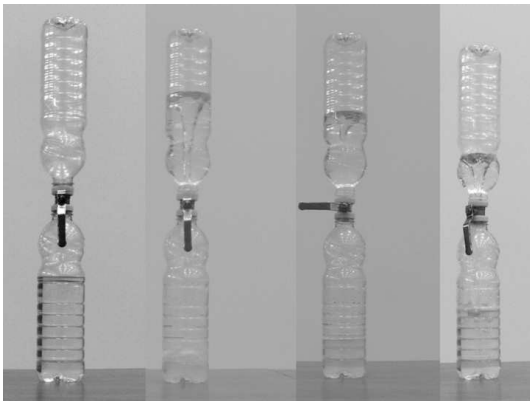


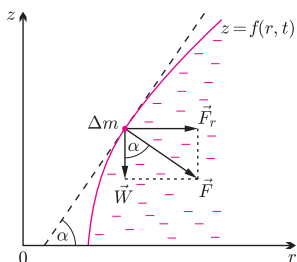
Materiały i przyrządy: takie same jak w poprzednim odcinku, a ponadto: zawór kulowy do instalacji wodociągowej, denaturat, olej, gliceryna, okrągły pilnik, linijka, dostęp do cyfrowego aparatu fotograficznego, komputera i drukarki.



Rys. 1. Budowa przyrządu do tłumienia tornada; 1 – przezroczysta, plastikowa butelka, 2 – zawór kulowy, 3 – zakrętka, 4 – woda.



Fot. Kolejne fazy doświadczenia z likwidowaniem i odtwarzaniem tornada.



Rys. 2. Siły działające na ciecz; \vec{F}_r – siła odśrodkowa, W – siła ciężkości, \vec{F} – siła wypadkowa, Δm – masa elementu cieczy, α – kąt nachylenia stycznej do powierzchni cieczy, r, z – współrzędne elementu cieczy.

Likwidujemy tornado Stanisław BEDNAREK

W tym odcinku będziemy kontynuowali doświadczenia z tornadami. Zbadamy dokładniej sposoby ich likwidacji i kształt wewnętrznej powierzchni wirującego leja. Wykonując opisane przed miesiącem doświadczenia, mieliśmy okazję zauważyć, że przy małych średnicach otworów w łącznikach butelek tornada były mniej stabilne i trudniej było je wytworzyć. Dla ich uzyskania należało szybciej obracać na początku przyrządem. Dzieje się tak dlatego, że woda, jak wszystkie ciecze, wykazuje lepkość, czyli tarcie wewnętrzne, hamujące ruch. Im dłużej woda splywa przez otwór w łączniku, tym bardziej rozpraszana jest w wyniku lepkości energia kinetyczna wirowego ruchu wody uzyskanego przez zakręcenie przyrządem.

W kolejnych doświadczeniach możemy zbadać wpływ lepkości cieczy na możliwości wytwarzania tornad. W tym celu zastępujemy wodę w butelkach przez denaturat, olej lub glicerynę i z tymi cieczami postępujemy tak, jak w doświadczeniach opisanych przed miesiącem. Okazuje się, że wytworzenie tornada w glicerynie, nawet przy dużej średnicy otworu w zakrętkach łącznika, jest bardzo trudne ze względu na dużą lepkość tej cieczy. Lepkość gliceryny możemy jednak łatwo zmniejszyć przez zmieszanie jej z denaturatem i użycie do doświadczeń tej mieszaniny.

Przyrząd używany do wytwarzania tornad możemy ulepszyć tak, by dało się likwidować tornada na własne życzenie, a nawet je... utajniać. Rysunek 1 przedstawia budowę takiego ulepszonego przyrządu, w którym łącznik wyposażony jest w zawór kulowy. Należy wybrać butelki z zakrętkami o odpowiednio dużej średnicy, co pozwoli nam na wprowadzenie w nie końcówek zaworu. Po wykonaniu otworu w nakrętkach butelek zewnętrzne powierzchnie końcówek zaworu i brzeży otworów smarujemy klejem epoksydowym, łączymy i czekamy do całkowitego stwardnienia kleju. Następnie do ustawionej na stole butelki nalewamy wody, wypełniając ją około 3/4 objętości butelki i skręcając obie butelki łącznikiem.

W celu wytworzenia tornada otwieramy zawór całkowicie, ustawiając jego dźwignię wzdłuż butelek. Chwytny przyrząd za łącznik i szybko odwracamy butelkę z wodą ku górze, po czym przyrząd wprawiamy w ruch obrotowy. Gdy wytworzone tornado się ustabilizuje, szybko zamykamy zawór. Zauważamy wówczas, co pokazane jest także na umieszczonej obok serii zdjęć, że lej tornada zanika nad łącznikiem i proces ten postępuje od dołu ku górze. Lej staje się płytszy i sięga tylko do części głębokości wody w górnej butelce. Jeżeli znowu otworzymy zawór, to lej się pogłębi i otworzy, a tornado powróci do pełnej okazałości. Opisane wygaszanie tornada możemy powtarzać kilkakrotnie, zanim cała woda przepłynie do dolnej butelki. Możemy również wydłużać czas zamknięcia zaworu, aż lej zaniknie całkowicie. Okazuje się, że jeżeli czas zamknięcia zaworu po zaniku leja nie będzie zbyt długi, to tornado znowu powróci, o ile ruch obrotowy cieczy nie będzie zanedo wyhamowany. Doświadczenia z likwidacją tornada możemy powtórzyć po wymianie wody na inne ciecze. Łącznik z zaworem pozwala też na badanie możliwości wytwarzania tornad przy zmienianym płynnie stopniu otwarcia zaworu – zastępuje on pierścienie redukcyjne, opisane w poprzednim artykule.

Spróbujmy jeszcze dokładniej przyjrzeć się kształtowi leja, czyli powierzchni swobodnej wirującej cieczy (rys. 2). Na dowolny element cieczy o masie Δm , znajdujący się na tej powierzchni, działają dwie siły: siła odśrodkowa \vec{F}_r skierowana poziomo wzdłuż promienia r oraz siła ciężkości \vec{W} skierowana pionowo. Ich wypadkowa $\vec{F} = \vec{F}_r + \vec{W}$ jest odchylona od pionu o kąt α , którego tangens wyraża się wzorem $\text{tg } \alpha = F_r/W = \omega^2 r/g$. We wzorze tym ω oznacza prędkość kątową cieczy, zaś g – przyspieszenie ziemskie. Powierzchnia swobodna cieczy w stanie równowagi musi przyjąć taki kształt, żeby wypadkowa \vec{F} była do niej prostopadła. Gdyby tak nie było, to istniałaby składowa styczna siły wypadkowej do tej powierzchni, powodująca dodatkowy przepływ cieczy i naruszająca tę równowagę. Powierzchnia swobodna cieczy jest osiowo symetryczna i w zasadzie wystarczy znaleźć linię opisującą kształt przekroju osiowego, ale nie uwzględniliśmy tu jeszcze zmniejszania się ilości cieczy w butelce (co powoduje zmianę położenia rozważanego fragmentu cieczy) ani lepkości. Odpowiednie zależności, pozwalające opisać tę sytuację, noszą nazwę równania Naviera–Stokesa i są na tyle skomplikowane, że nie będziemy ich tu przedstawiać. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie, by sfotografować uzyskane leje i, wydrukowawszy uzyskane zdjęcia, spróbować dopasować do kształtu powierzchni leja krzywą empiryczną i badać zależności określających ją współczynników od warunków początkowych i własności używanych cieczy. W ten sposób możemy bezpiecznie poznawać wybrane właściwości tornada, którego model zamknęliśmy w butelkach, wyrzucanych zwykle na śmietnik.