NORDIC–BALTIC PHYSICS OLYMPIAD 2021

1. Rakieta Fotonowa (5 punktów) — *Jaan Kalda,Oskar Vallhagen.*

Rozważ hipotetyczną podróż międzygwiezdną statkiem kosmicznym z napędem fotonowym o początkowej masie spoczynkowej $M = 1\times10^5$ kg. Znajdujące się na pokładzie paliwo (antymateria) anihiluje z taką samą masą materii aby wytworzyć fotony i w konsekwencji siłę ciągu. Materia potrzebna do anihilacji jest pobierana z bardzo rzadkiej plazmy z przestrzeni międzygwiezdnej (załóż, że w układzie odniesienia związanym z Ziemią, prędkość plazmy międzygwiezdnej wynosi zero). Prędkość światła wynosi $c = 3\times10^8$ m/s.

i) *(1 punkt)* Jaka powinna być początkowa szybkość spalania antymaterii μ (kg/s), aby przyspieszenie statku było równe przyspieszeniu spadku swobodnego na Ziemi (g = 9.81m/s^2)?

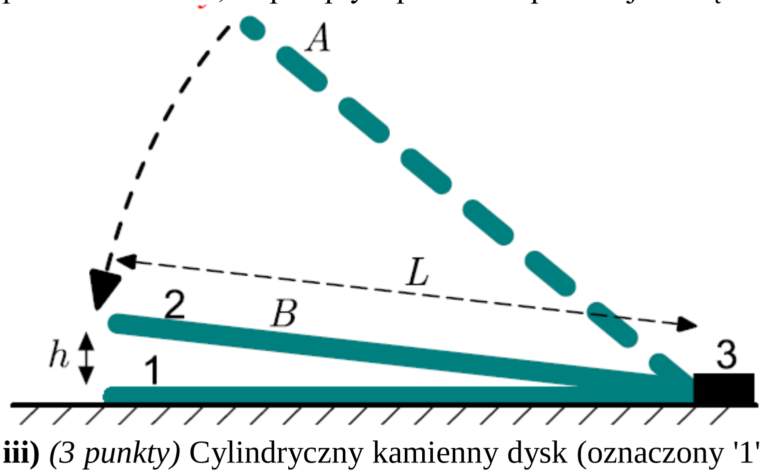
ii) *(3 punkty)* Silniki statku kosmicznego są wyłączane, gdy jego masa spoczynkowa zmaleje do $m_f = M/10$; jaka jest jego końcowa prędkość?

iii) *(1 punkt)* Częstotliwość emitowanych fotonów jest mierzona przez obserwatora na Ziemi. Jaka jest częstotliwość ostatnich fotonów (emitowanych tuż przed wyłączeniem silnika), mierzona na Ziemi, jeśli częstotliwość fotonów w układzie odniesienia związanym ze statkiem pozostaje stała i równa f_0?

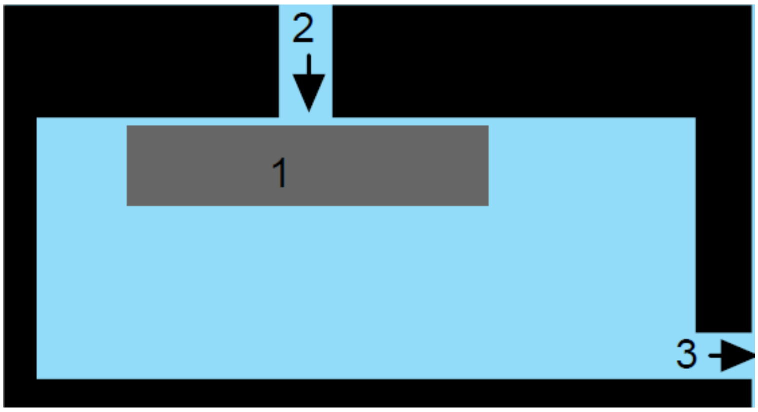
2. Przepływy gazu i płynu (10 punktów) — Jaan Kalda, Päivo Simson.

i) (1 punkt) Jeśli pozwoli się szklanej płycie opaść na inną szklaną płytę nie pęknie ona, ale delikatnie się zatrzyma. Sytuację przedstawia rysunek: jedna płyta (oznaczona ‘1’) spoczywa na podłodze, a druga płyta (oznaczona ‘2’) opada, podczas gdy występ na ziemi (oznaczony ‘3’) zapobiega jej ślizganiu się. Płyta (2) zaczyna opadać z położenia A i w rozpatrywanej chwili znajduje się w położeniu B, w bardzo małej odległości $h = h_0$ od płyty spoczywającej, i opada w tym momencie z prędkością kątową ω_0. Jaka jest prędkość powietrza między płytami przy lewej krawędzi płyty (położonej najbardziej na lewo wg rysunku)?

ii) *(2.5 punktu)* Szerokość płyty wynosi L $\gg h_0$, grubość $t \ll L$, gęstość ρ_g, a jej długość (mierzona w głąb rysunku) jest dużo większa od L. Jak prędkość kątowa płyty zależy od h podczas jej dalszego ruchu, jeśli gęstość powietrza jest równa ρ_a? Zaniedbaj ciężar oraz lepkość i ściśliwość powietrza. Załóż, że przepływ powietrza pozostaje wszędzie laminarny.



iii) *(3 punkty)* Cylindryczny kamienny dysk (oznaczony '1' na rysunku) o promieniu R, grubości h i gęstości ρ_s jest dociskany do stropu zbiornika wypełnionego wodą o gęstości ρ_w. Małe wybrzuszenia na powierzchni stropu utrzymują niewielką szczelinę o grubości t $\ll$ R pomiędzy stropem a powierzchnią krążka. Woda wypływa z rury (oznaczonej '2'; rura odpływowa '3' jest daleko) o promieniu r $\ll$ R współosiowo z dyskiem w zbiorniku, jak pokazano na rysunku. Promień rury jest dużo większy niż grubość szczeliny między dyskiem i stropem, tj. r $\gg t$. Jakie powinno być masowe natężenie przepływu μ (kg/s) z rury, aby dysk nie spadł. Przyspieszenie spadku swobodnego wynosi g.



iv) *(0.5 punktu)*
Turbiny parowe są szeroko stosowane w elektrowniach. Według uproszczonego modelu, woda doprowadzana do wrzenia w temperaturze t_t = 180 ° C i ciśnieniu $p_t = 1\times10^6$ Pa (rzeczywiste turbiny parowe mogą wykorzystywać znacznie wyższe ciśnienie niż podane), i wytworzona para wypływa przez cylindryczny kanał o polu powierzchni przekroju poprzecznego A = 1 cm^2 w ścianie; ciśnienie otoczenia $p_0 = 1\times10^5$ Pa. Oblicz różnicę entropii ΔS jednego mola pary i jednego mola wody w stanie ciekłym (masa molowa M = 18g/mol, ciepło parowania w 100°C: L = 2.3MJ/kg) w wypływającym strumieniu.
v) *(3 punkty)* Wyznacz masowe natężenie przepływu μ wytworzonego strumienia pary oraz względną masową zawartość r wody w fazie ciekłej w tym strumieniu. Załóż, że rozprężanie pary wodnej wpływającej do kanału i w kanale jest odwracalne (tzn. przewodność cieplna jest zaniedbywalna i że zawsze istnieje równowaga między fazą ciekłą i gazową); wykładnik adiabaty dla pary wodnej wynosi $\gamma = 4/3$.

3. Wirująca stacja kosmiczna (13 punktów) — *Jaan Kalda, Kaarel Hänni*.
Stacja kosmiczna na orbicie geostacjonarnej ma kształt walca o długości L = 100km i promieniu R = 1km, jest wypełniona powietrzem (masa molowa M = 29g/mol) mającym ciśnienie atmosferyczne i temperaturę T = 295K, a ściany boczne walca służą jako ziemia dla ludzi mieszkających wewnątrz stacji. Obraca się ona wokół własnej osi aby wytworzyć normalną grawitację $g = 9.81 m/s^2$ przy powierzchni "ziemi".
i) *(0.5 punktu)* Jaki jest okres rotacji τ?
ii) *(2 punkty)* Piłka zostaje rzucona z pewnego punktu na „ziemię” i złapana po czasie $t = \tau / 2$ w tym samym punkcie. Z jaką prędkością rzucono piłkę? Pomiń opory powietrza.
iii) *(2 punkty)* Kulisty balon o promieniu r = 3m jest wypełniony helem (masa molowa M' = 4g/mol), i jest używany do podnoszenia nieznanej masy m. Masa jest przymocowana do piłki lekką liną o długości L = 20m, i system unosi się, aż do zatrzymania się na wysokości H = 500m nad „ziemią”. Oblicz wartość masy m.
Lina o gęstości liniowej masy λ = 1 kg/m jest przymocowana do „podłoża” w dwóch przeciwległych punktach cylindra (tak, że odległość między końcami liny wynosi 2R). Niech A, B i C oznaczają odpowiednio dwa punkty końcowe i punkt środkowy liny.
iv) *(1.5 punktu)* Zakładając, że wysokość punktu C nad „podłożem” wynosi h, oblicz $T_A - T_C$, różnicę sił naprężenia liny w punktach A i C.
v) *(1.5 punktu)* Zakładając, że w punkcie A lina styka się z „podłożem” pod kątem α, wyznacz stosunek sił naprężających T_A/T_C.
vi) *(1.5 punktu)* Wyznacz T_C jeśli h = 495m przybliżając kształt liny parabolą.
vii) *(2 punkty)* Metalowe ściany stacji mają całkowity ładunek Q. Wewnątrz stacji kosmicznej naładowana kula unosi się nieruchomo nad „ziemią”. Znajdź stosunek ładunku do masy q/m kuli Pomiń wpływ ładunków wyindukowanych przez naładowaną kulę/piłkę na "ziemi".
viii) *(2 punkty)* Według twierdzenia Gaussa $\oint \vec{E} \circ \overrightarrow{dA} = 0$ $\vec{E} \cdot d\vec{A} = 0$, gdy całkowanie odbywa się po zamkniętej powierzchni obejmującej objętość V, bez ładunku elektrycznego wewnątrz

powierzchni. Jak powinna być zmieniona ta równość przez obserwatora ma pokładzie stacji kosmicznej, jeśli nie ma innych ładunków niż całkowity ładunek Q rozłożony na obwodzie stacji?

4. Rozciągliwe rękawiczki (8 punktów) — *Eero Uustalu*.

Przybory. Co najmniej trzy pary dużych, bezbarwnych, półprzezroczystych rękawic lateksowych; rolka przezroczystej i mocnej taśmy klejącej; parę ostrych nożyczek; co najmniej cztery kartki papieru milimetrowego formatu A4 lub większego; trzy linijki; elastyczną taśmę mierniczą o długości co najmniej 1 metra; marker do opisywania powierzchni z bardzo cienką końcówką. Gumowe rękawiczki można w razie potrzeby pociąć na kawałki. Kawałki rękawic można przymocować do stołu pomiarowego bezpośrednio za pomocą taśmy i / lub za pomocą linijki (aby uzyskać mocniejsze zamocowanie).

Lateks jest bardzo rozciągliwym materiałem elastycznym, dla którego można przyjąć, że jego objętość pozostaje stała podczas rozciągania, aż do momentu zerwania.

Do każdego z zadań, naszkicuj schemat zestawu pomiarowego i wyjaśnij kroki, które wykonałeś, aby uzyskać najlepszą możliwą dokładność pomiaru and i zamieść tabelę z bezpośrednio zmierzonymi danymi.

i) *(1 punkt)* Wyznacz maksymalne odkształcenie ε_m paska lateksowego (tj. odkształcenie, przy którym pasek pęka). Odkształcenie jest definiowane, jako względna zmiana długości, $\varepsilon = (l - l_0)/l_0$, gdzie l i l_0 są długościami odpowiednio rozciągniętego i nierozciągniętego paska lateksu.

ii) *(7 punktów)* Zmierz i wykreśl zależność naprężenie-odkształcenie dla pasków lateksowych. Naprężenie jest definiowane jako siła naciągu dzielona przez pole przekroju poprzecznego. Wyraź naprężenie σ w jednostkach względnych, znormalizowanych do maksymalnego naprężenia w momencie zerwania lateksu.