

* Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Aktualizowana w miarę pojawiania się nowych danych doświadczalnych tabela parametrów Modelu Standardowego znajduje się tutaj:

glach.wikidot.com/smparameters



Rozwiązanie zadania F 1051.

Podczas wbiegania na wzniesienie pokonywana jest siła ciężkości F równa iloczynowi masy m zwierzęcia i przyspieszenia ziemskiego g : $F = mg$. Masa zwierzęcia jest proporcjonalna do jego objętości: $m \propto L^3$. Moc zużywana podczas ruchu z prędkością v przeciwko sile ciężkości wynosi $P = Fv$ – tutaj v jest pionową składową prędkości. Mamy więc $P \propto L^3 v$ oraz:

$$P = Fv = mgv \propto L^3 v.$$

Ostatecznie otrzymujemy $v \propto \frac{1}{L}$.

Oszacowanie to potwierdzają pomiary wykonywane przez biologów.

Przykłady można znaleźć w książkach: John Maynard Smith, *Matematyka w biologii*, Wiedza Powszechna, Warszawa, 1974, Knut Schmidt-Nielsen, *Dlaczego tak ważne są rozmiary zwierząt*, Skala, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1994.



Rozwiązanie zadania F 1052.

Powietrze składa się niemal wyłącznie z gazów dwuatomowych: tlenu (O_2) i azotu (N_2), i w warunkach podanych w treści zadania spełnia równania gazu doskonałego. Energia wewnętrzna U powietrza jest więc równa energii kinetycznej ruchu cząsteczek: ruchu postępowego i rotacyjnego, i wynosi:

$$U = \frac{5}{2} nRT,$$

gdzie n oznacza liczbę moli gazu, $n = V/V_m$, a T jego temperaturę w skali bezwzględnej, $T = t + 273,15$ K. Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy $U \approx 2,53 \cdot 10^5$ J, z czego $3/5$ to energia kinetyczna ruchu postępowego cząsteczek, a $2/5$ ich ruchu rotacyjnego.

Nagrania z transportu i inne informacje o eksperymencie KATRIN można obejrzeć na filmach:

youtu.be/Ruk50AzD1eU
youtu.be/N4i3mVEVZ30

Współczesna teoria cząstek elementarnych, nazywana skromnie Modelem Standardowym, zawiera w swoim opisie szereg parametrów. Wśród nich można wskazać parametry będące liczbami całkowitymi (takie jak np. liczba rodzin leptonów i kwarków czy ich ładunki), ale aby model był spójny, te liczby muszą spełniać szereg warunków i trudno mówić tu o dużej dowolności. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku parametrów będących liczbami rzeczywistymi (np. masy cząstek), których struktura teorii nie ogranicza i trzeba je uzyskać eksperymentalnie. Wszystkich takich liczb jest w Modelu Standardowym 24, z czego 14 to masy cząstek:

- masy bozonów pośredniczących (Z_0 i W_{\pm}) i bozonu Higgsa: m_Z, m_W, m_H ,
- masy kwarków: $m_d, m_u, m_s, m_c, m_b, m_t$,
- masy leptonów – elektronu, mionu i taonu: m_e, m_{μ}, m_{τ} ,
- masy neutrin m_1, m_2, m_3 .

Zaraz, zaraz – ktoś uważny zaprotestuje – powyżej jest 15 parametrów, a nie zapowiadanych 14. To prawda, tyle że pozostaje nam jeszcze swoboda wyboru tego, w jakich jednostkach te masy mierzymy. Masy podane wyżej są w lubianych przez fizyków wysokich energii gigaelektronowoltach podzielonych przez prędkość światła (c^2) do kwadratu, ale jak wyjaśnić, ile to jest gigaelektronowolt? Moglibyśmy wyrazić gigaelektronowolt przez wybraną z mas (np. masę elektronu) – a to sprawi, że faktycznych liczb, które musimy podać, jest o jedną mniej. Inaczej mówiąc: fizyczne znaczenie mają tylko stosunki mas, stąd wspomnianych 14 parametrów.

Masy kwarków, leptonów, bozonów pośredniczących i cząstki Higgsa wyznaczono na przestrzeni lat z wielu eksperymentów, głównie polegających na zderzaniu cząstek w akceleratorach, choć akurat np. masy elektronu i mionu wyznaczono inaczej (ale to już zupełnie inna historia). W przypadku neutrin, oddziałujących bardzo słabo, nie daje się zastosować żadnej ze znanych technik, którymi wyznaczono masy innych cząstek. Przez wiele lat myślano, że masy neutrin są równe zero, ale obserwacje tzw. oscylacji neutrin wskazały, że nie – neutrina mają masy, i to trzy różne. Niestety za pomocą pomiarów oscylacji można zmierzyć jedynie różnice kwadratów mas różnych odmian ($m_1^2 - m_2^2$ oraz $m_2^2 - m_3^2$), i dotychczasowe pomiary dają tylko bardzo słabe oszacowanie, ile każda z tych trzech mas wynosi.

Od dawna jednym z eksperymentów, w których próbuje się wyznaczyć masę neutrina elektronowego, jest rozpad jądra trytu (^3H). Produktami rozpadu jądra trytu są: jądro ^3He , elektron i neutrino (dokładniej: anty-neutrino) elektronowe. Neutrino ucieka niezauważone, ale można dokładnie zmierzyć energię wystrzelonego z jądra elektronu. Mierząc histogram tych energii, można otrzymać informację, jak duża część różnicy masy jąder ^3H i ^3He została przejęta przez neutrino – część przez jego energię spoczynkową (mc^2), a część przez jego energię kinetyczną. Jest to bardzo subtelny pomiar, bo jądra trytu z konieczności muszą być związane w cząsteczkach $^3\text{H}_2$. Każdy rozpad prowadzi zatem do jednego z bardzo wielu możliwych stanów końcowych: cząsteczka może zdysocjować (np. na $^3\text{H} + ^3\text{He}^+$ lub na $^3\text{H}^+ + ^3\text{He}$), może pozostać cząsteczką, ale przejść do stanu wzbudzonego oscylacyjnie lub rotacyjnie albo jednocześnie oscylacyjnie i rotacyjnie.

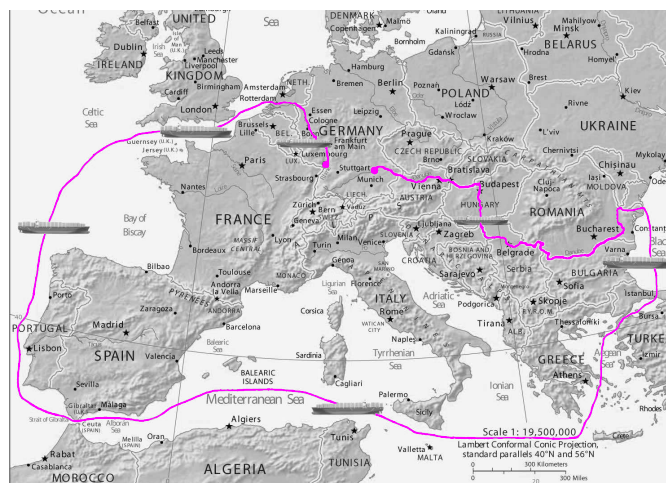
W 2005 roku w Karlsruhe Institute of Technology rozpoczęto budowę eksperymentu, który miał zmierzyć masę neutrina elektronowego z niespotykaną wcześniej dokładnością. Głównym elementem eksperymentu KATRIN (*Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment*) jest gigantyczna komora próżniowa spektrometru, w którym w pieczołowicie dobranych polach elektrycznym i magnetycznym mierzone są energie elektronów pochodzących z rozpadu cząsteczek trytu. Komorę próżniową (200 ton, 10 m średnicy, 24 m długości) wyprodukowano w zakładach MAN DWE GmbH w Deggendorf w Bawarii, tylko 300 km w linii prostej od Karlsruhe. Okazało się jednak, że ze względu na rozmiar komory spektrometru nie da się przetransportować drogami (wymagałoby to wyburzenia

kilkunastu mostów i wiaduktów). Z powodu ciężaru z kolei nie dało się go też przetransportować drogą powietrzną, np. śmigłowcem. Po przeanalizowaniu wielu dostępnych opcji (jedną z nich było zbudowanie gigantycznego wypełnionego wodorem sterowca) wybrano taką:

- spektrometr ładowany jest na barkę, która płynie Dunajem przez Austrię, Węgry, Serbię i Rumunię (ocierając się też o Słowację, Chorwację, Bułgarię i Mołdawię),
- w Rumunii przeladowany jest na statek, którym płynie przez Morze Czarne, Dardanele, Morze Marmara, Bosfor, Morze Egejskie i resztę Morza Śródziemnego, Gibraltar, zatokę Biskajską, kanał La Manche, Morze Północne do Rotterdamu,
- w Rotterdamie przeladowany jest ponownie na barkę, którą płynie w górę Renu, a następnie jest wyladowany na jedną z zanurzonych ramp, przygotowaną dawno temu (podczas oczekiwanej inwazji wojsk Układu Warszawskiego) pod kątem ewentualnego pancernego kontrataku wojsk NATO na zajęte przez ZSRR Niemcy,
- ostatnie 7 km pokonuje na wielokołowej platformie, przejeżdżając przez badeńskie miasteczko Eggenstein-Leopoldshafen, w którym wcześniej zdemontowano latarnie, znaki drogowe i tymczasowo przesadzono kilka rosnących przy ulicy drzew.

Ta niezwykła podróż, w czasie której komora próżniowa pokonała ponad 8000 km, odbyła się pod koniec

2006 roku i trwała prawie dwa miesiące. Minęły kolejne lata, zanim zestaw doświadczalny został uruchomiony, a ponad dekada, zanim zaczął dostarczać pierwsze wyniki. Niedawno (w lutym 2022 roku) opublikowano wyniki obróbki danych zbieranych w detektorze przez ostatni rok i już wiadomo, że neutrino elektronowe ma masę nie większą niż $0,8 \text{ eV}/c^2$ (czyli prawie milion razy mniej niż masa elektronu). W kolejnych latach to górne ograniczenie ma zmaleć do $0,2 \text{ eV}/c^2$ – chyba że mamy szczęście i neutrino elektronowe ma masę większą od tego ograniczenia, wtedy eksperyment tę masę wyznaczy, „dopinając” zbiór parametrów Modelu Standardowego.



Zadania

Przygotował Dominik BUREK

M 1714. Na szachownicy 8×8 umieszczono pewną liczbę gońców tak, aby żadne dwa gońce nie zagrażały sobie nawzajem. Udowodnij, że liczba wszystkich takich układów jest kwadratem liczby całkowitej.

Rozwiązanie na str. 6

M 1715. Dany jest sześciokąt wypukły $ABCDEF$. Wiadomo, że $\sphericalangle FAE = \sphericalangle BDC$, a czworokąty $ABDF$ i $ACDE$ można wpisać w okrąg. Udowodnij, że proste BF i CE są równoległe.

Rozwiązanie na str. 20

M 1716. Udowodnij, że dla dowolnych liczb rzeczywistych dodatnich x, y, z zachodzi nierówność:

$$\frac{x+1}{y+1} + \frac{y+1}{z+1} + \frac{z+1}{x+1} \leq \frac{x}{y} + \frac{y}{z} + \frac{z}{x}.$$

Rozwiązanie na str. 20

Przygotował Andrzej MAJHOFER

F 1051. Jak szybkość v wbiegania na wzniesienia skaluje się z wielkością (rozmiarem liniowym) L zwierzęcia?

Wskazówka: Moc P wytwarzana przez organizm zwierzęcia jest proporcjonalna do kwadratu jego rozmiaru L : $P \propto L^2$.

Rozwiązanie na str. 1

F 1052. Ile wynosi energia kinetyczna zgromadzona w objętości $V = 1 \text{ m}^3$ powietrza w temperaturze $t = 0^\circ\text{C}$? Stała gazowa $R = 8,3 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$, objętość molowa $V_m = 22,4 \text{ l}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Rozwiązanie na str. 1

