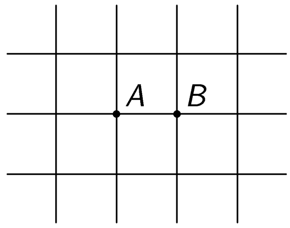
Zadání VI. série

Termín odeslání: 1. června 1998

Úloha VI . 1 ... *síť sítí*

Spočtěte elektrický odpor R mezi body A a B nekonečně rozlehlé čtvercové sítě (viz obr. 1). Jednotlivé úsečky tvořící síť mají odpor R_0.



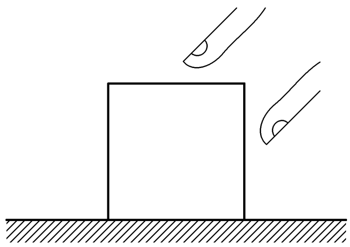
Obr. 1

Úloha VI . 2 ... *izotop*

Na pracoviště nukleární medicíny byla doručena zásilka izotopu A. V dokumentech, které přišly spolu s izotopem, bylo uvedeno, že 11,5 min po vyndání z reaktoru, kde tento izotop vzniká v čisté formě, byla aktivita zásilky 1000 rozpadů γ za sekundu. Když přeměřil aktivitu doručené zásilky bezpečnostní technik, zjistil, že je také 1000 rozpadů γ za sekundu. Určete dobu transportu zásilky, když víte, že se A rozpadá β rozpadem s poločasem 23 minut na B, které se s poločasem 23 dní rozpadá za emise β a γ na stabilní nuklid C.

Úloha VI . 3 ... *kostka*

Když se pokusíme uchopit kostku tak, jak je naznačeno na obr. 2 ne vždy se nám to povede. Určete podmínku, za které se to podaří.



Obr. 2

Úloha VI . 4 ... *alternátor*

Představte si rotující kovový disk (disk rotuje kolem pevné osy identické s osou rotační symetrie disku) v časově neměnném magnetickém poli tak, že vektor $\vec{B}$ magnetické indukce pole směřuje kolmo na plochu disku. Určete napětí (měřené naprázdno) mezi kterýmikoli dvěma body disku, případně i proud, který by tekl měřícím obvodem, kdyby měřící přístroj neměl ideálně nekonečný odpor.

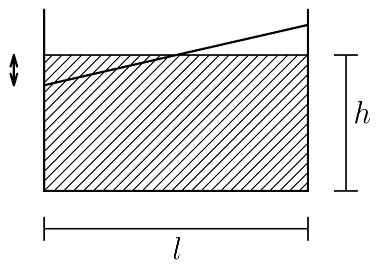
Úloha VI . P ... *zastavení v zatáčce*

Představte si, že jednou budou u nás vlaky jezdit opravdu rychle. Nechť rychlík zastaví v oblouku o poloměru 500 m, který je klopen pro rychlost 200 km/h (tzn. že na cestující v jedoucím rychlíku působí neustále síla jen kolmo dolů). A protože lidé jsou zvědaví, vykloní se všichni z oken na vnitřní straně oblouku, aby zjistili, co se děje. Vaším úkolem je zjistit, kolik lidí musí ve vlaku být, aby se překlopil.

Vlak je složen z 10 čtyřosých rychlíkových vozů o délce 25 m, šířce 3 m, výšce 4,2 m a hmotnosti 40 t. Těžiště vozu je ve výšce 1,2 m od hlavy kolejnice, rozchod koleji je 1738 mm. Spodní okraj otevřeného okna nechť je ve výšce 2,5 m.

Úloha VI . Exp ... *akvárium*

Najděte si akvárium, nebo podobnou nepropustnou nádobu kvádrového tvaru a zčásti ji naplňte vodou do výšky h. Nádobou rychle pohněte ve směru jedné ze stěn, aby hladina začala kmitat tak, jak je to naznačeno na obr. 3. Změřte frekvenci, s kterou hladina kmitá, proveďte pokud možno více měření pro různé hodnoty h a l a výsledky se pokuste interpretovat (vymyslete fyzikální model). Omezte se na malé amplitudy kmitů.



Obr. 3

Řešení IV. série

Úloha IV . 1 ... *soutěž jehlanů* *(4 body, řešilo 54 studentů)*

Pokud budeme podložku naklánět, nejdříve se překlopí ten jehlan, který má těžiště výše. Protože jehlan je symetrický podle výšky, stačí vypočítat výšku těžiště nad podstavou. Nejdříve spočítáme výšku těžiště podstavy a pláště. Podstava má těžiště ve výšce $v_p = 0$. Plášť drátového modelu má těžiště v polovině výšky a plášť plechového modelu má těžiště v $\frac{1}{3}$ výšky, protože je složen z trojúhelníků.

Nyní musíme vypočítat hmotnost pláště a podstavy. Hmotnost modelu nechť je m. Potom hmotnost podstavy drátěného modelu je (podle poměru délek drátu z nichž je složena podstava a celkové délky drátu) $m_{dp} = m4a/(4l + 4a)$, kde l je délka hrany pláště a a délka hrany podstavy. Hmotnost pláště je obdobně $m_{dpl} = m4l/(4l + 4a)$.

U plechového modelu vypočteme jednotlivé hmotnosti podle poměru jednotlivých ploch:

$$\begin{aligned} m_{pp} &= m\frac{a}{a+2h} \,, \\ m_{ppl} &= m\frac{2h}{a+2h} \,, \end{aligned}$$

kde h je výška stěny jehlanu.

Dále platí:

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{\frac{a^2}{2} + v^2} \,, \\ h &= \sqrt{\frac{a^2}{4} + v^2} \,, \end{aligned}$$

kde v je výška jehlanu.

Známe tedy hmotnosti i výšky těžišť jednotlivých částí. Celková výška těžiště dvou částí se spočítá jako $(m_1y_1 + m_2y_2)/m$, kde y je výška těžiště nad podstavou. Po dosazení jsou výšky těžišť drátěného a plechového modelu

$$y_d = \frac{v}{2}\frac{\sqrt{\frac{a^2}{2} + v^2}}{a + \sqrt{\frac{a^2}{2} + v^2}} \tag{1}$$

$$y_p = \frac{v}{3}\frac{\sqrt{\frac{a^2}{4} + v^2}}{\frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} + v^2}} \tag{2}$$

Nyní stačí porovnat tyto dva výrazy. Přímo se to nepodaří, neboť vznikne rovnice příliš vysokého řádu, než abychom byli schopni ji vyřešit. Proto použijeme fintu. Předpokládáme, že výraz (1) je větší než (2). Pokud zvětšíme výraz (2) na

$$y_p = \frac{v}{3}\frac{\sqrt{\frac{a^2}{2} + v^2}}{\frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{2} + v^2}} \tag{3}$$

a dokážeme, že (3) je stále menší než (1), pak jsme zároveň dokázali, že (1) je větší než (2). Porovnat výrazy (1) a (3) už není problém, pokud využijeme toho, že veškeré proměnné mohou nabývat pouze kladných hodnot. Těžiště má tedy výše jehlan drátěný, proto se překlopí dříve.

Někteří řešitelé zapomněli, že rozhodující je výška těžiště a porovnávali pouze vedlejší vlivy, jako je přilnavost k podložce nebo působení částic podložky na podstavu jehlanu. Tyto vlivy by se uplatnily pouze tehdy, kdyby těžiště obou modelů byla stejně vysoko, ovšem v tomto případě mají zanedbatelný význam.

Jiří Libra

Úloha IV . 2 ... ***vodní hodiny*** *(4 body, řešilo 53 studentů)*

Zdání úlohy lze splnit mnoha způsoby, uvedeme ten, který byl ve vašich řešeních nejčastější.

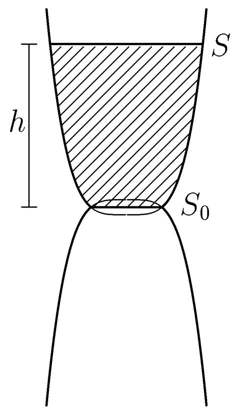
Označme obsah průřezu v nejužším místě S_0, plochu hladiny ve výšce h označme S. Rovnice kontinuity zní:

$$S_0 v_0 = S v \tag{4}$$

kde v_0 je rychlost výtoku vody v nejužším místě a v je rychlost poklesu hladiny (ta má být konstantní). Pro vyjádření závislosti výtokové rychlosti na výšce h využijeme Bernoulliho rovnici:

$$h\rho g + \frac{1}{2}\rho v^2 = \frac{1}{2}\rho v_0^2 \tag{5}$$

Po vykrácení hustoty ρ dosadíme za v_0 z rovnice kontinuity:



Obr. 4

$$h = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{S^2}{S_0^2} - 1\right) \tag{6}$$

Budeme dále předpokládat, že nádobky hodin mají rotačně symetrický tvar (jako většina přesýpaček), tedy $S = \pi r^2$, kde r je poloměr nádobky ve výšce h. Dosazením do předchozí rovnice dostaneme:

$$h = \frac{\pi^2 v^2}{2gS_0^2} r^4 - \frac{v^2}{2g} \tag{7}$$

Z této rovnice je vidět, že nádobka hodin bude mít tvar, který vznikne rotací křivky čtvrtého stupně okolo osy y (viz obr. 4).

V úloze je možné provést v Bernoulliho rovnici zanedbání členu $\rho v^2/2$ (v případě $v \ll v_0$), pak je $v_0 = \sqrt{2gh}$ a

$$h = \pi^2 v^2 r^4 / 2gS_0^2 \,.$$

Tento výsledek přestává fungovat v případě, že v horní nádobce již nezbývá mnoho vody.

Při výpočtu jsme zanedbali jevy spojené s kapilaritou a viskozitou. Řešení úlohy by se tím poněkud zkomplikovalo.

Jiří Franta

Úloha IV . 3 ... ***energeticky úsporný domeček*** *(3 body, řešilo 63 studentů)*

Základní a jedinou fyzikální úvahou této úlohy bylo uvědomit si, že unikající teplo bude úměrné povrchu domu. Je to pochopitelné (kudy by teplo unikalo, když ne stěnami) a říká nám to známý vztah

$$P = \lambda \frac{S}{d} \Delta T \,,$$

kde λ je koeficient úměrnosti, S obsah stěn, d jejich tloušťka a ΔT je rozdíl teplot na vnější a vnitřní straně stěny. P je tepelný výkon domku, tedy teplo, které stavba vyzáří za jednotku času. Počet bytů bude úměrný objemu domu, z čehož je zřejmé, že pro posouzení výhodnosti stavby z hlediska nákladů na vytápění jednoho bytu nás zajímá podíl povrchu domu ku jeho objemu. Objem domu roste se třetí mocninou jeho rozměrů, zatímco povrch roste jen s druhou mocninou rozměrů. Poměr bude u krychle s desetkrát větší hranou desetkrát menší ($10^3/10^2 = 10^1$), tudíž náklady na vytápění jednoho bytu klesnou také desetkrát.

Toto stačilo k úspěšnému vyřešení úlohy. Snad se ještě dalo uvažovat, že různými stěnami odchází různé procento tepla. Nicméně, jsou-li domy až na rozměry zcela identické, náklady na topení klesnou stejně.

Přemysl Kolorenč

Úloha IV . 4 ... *vážení na rovníku* *(4 body, řešilo 70 studentů)*

Zkusme si nejprve rozmyslet, jaké síly působí na těleso v soustavě spojené se Zemí. Určitě na něj působí gravitační síla Země a Slunce. Dále nás jistě nepřekvapí, že na něj působí i odstředivá síla spojená s rotací Země kolem své osy, ale působí na něj i „odstředivá“ síla spojená s rotací Země kolem Slunce.

Vzhledem k tomu, že gravitační síla Země a odstředivá síla spojená s rotací Země kolem osy mají stejný (ve smyslu dolů) směr a velikost v poledne i o půlnoci, neovlivní rozdíl hmotností, který zjistíme při vážení v poledne a o půlnoci. Gravitační síla Slunce a „odstředivá“ síla, způsobená rotací Země kolem Slunce, mají v poledne a o půlnoci opačný směr, a vzhledem k tomu, že poloměr Země je značně menší než vzdálenost Země od Slunce, i (přibližně) stejnou velikost. Tedy jejich působení na vážené těleso je nulové a hmotnost zjištěná v poledne je stejná jako o půlnoci. To, co zde nazýváme „odstředivou“ silou od Slunce, není odstředivá síla, jak je obvykle pojímána; jedná se totiž o sílu způsobenou zrychlením počátku soustavy, tedy zrychlením středu Země, která rotuje kolem Slunce. Hlavním důsledkem tohoto faktu potom je, že velikost „odstředivé“ síly od Slunce, je ve všech místech soustavy spojené ze Zemí stejná.

Vyšetřeme však přesněji rozdíl gravitační a „odstředivé“ síly od Slunce. Označme poloměr Země R_Z, vzdálenost středu Země od Slunce R_S. Rotovala-li by Země kolem Slunce po kružnici úhlovou rychlostí ω, platilo by pro „odstředivou“ sílu od Slunce (přibližně):

$$F_{od} = m\omega^2 = m\kappa\frac{M_S}{R_S^2}$$

Tedy v poledne by rozdíl gravitační a odstředivé síly nadlehčoval těleso silou:

$$F_1 = \kappa\frac{mM_S}{(R_S - R_Z)^2} - \kappa\frac{mM_S}{R_S^2} = \kappa mM_S\frac{2R_SR_Z - 3R_Z^2}{R_S^4}$$

Podobně se vypočte síla, která o půlnoci těleso nadlehčuje:

$$F_2 = \kappa mM_S\frac{2R_SR_Z + 3R_Z^2}{R_S^4}$$

Celkový relativní rozdíl naměřené hmotnosti bude:

$$P = \frac{\kappa mM_S}{mg}\left(\frac{2R_SR_Z + 3R_Z^2}{R_S^4} - \frac{2R_SR_Z - 3R_Z^2}{R_S^4}\right) = \frac{6\kappa M_S}{g}\frac{R_Z^2}{R_S^4} \approx 10^{-11}$$

Tedy náš závěr v prvním odstavci, že obě hmotnosti se prakticky neliší je správný. (To odpovídá tomu, že jsem zanedbali Měsíc, který způsobuje principiálně stejné efekty, ale zato několikrát silnější — např. příliv.)

Daniel Kráľ

Úloha IV . 5 ... *levitující kapalina* *(3 body, řešilo 46 studentů)*

Jako vzorové řešení zde zveřejňujeme řešení Michaely Šípalové. Toto řešení se nám zdálo rozumné, v rámci možností stručné, vyčerpávající:

Situace, při které by ve skleničce zůstala voda i po jejím vytažení z vody, je sice teoreticky myslitelná, právě proto, že tlak vzduchu dokáže vytlačit až deset metrů vodního sloupce, ale prakticky nemožná. Voda v obrácené skleničce je v situaci sice rovnovážné, ale ne stabilní. Stačí tedy nepatrné vychýlení z této polohy, aby byla rovnováha porušena. Po vytažení skleničky s vodou z vody se vytvoří na kapalině povrchová vrstva, která se chová jako pružná blanka. Tato blanka činí situaci vlastně stabilní. Ovšem meze této stability překročíme v tomto případě nepatrnou vnější poruchou, závanem vánku nebo zachvěním ruky.

Jiná situace však nastává např. u pipety, kde využíváme toho, že síly povrchového napětí kapalinu udrží, protože průměr otvoru je dostatečně malý. K porušení této stability u pipety je třeba alespoň pořádné zatřepání.

Poznámka: Porušení stability povrchové vrstvy je možné hledat již v okamžiku jejího vzniku — při „odtrhávání" skleničky od ostatní vody.

Rudolf Sýkora & Václav Porod

Úloha IV . 6 ... *křídový prach* *(8 bodů, řešilo 38 studentů)*

Teorie. Na padající zrnko křídového prachu působí tíhová síla a odporová síla vzduchu. Pokud tvar zrnka budeme považovat za kulový a obtékání zrnka vzduchem bude laminární, můžeme odporovou sílu vypočítat ze Stokesova vzorce $F_o = 6\pi r\eta v$, kde r je poloměr zrnka, v je jeho rychlost a η je dynamická viskozita vzduchu (pro 0 $°C$ je v tabulkách uvedena hodnota $\eta = 17,1 \cdot 10^{-6}$ Pa·s). Pohybová rovnice padajícího zrnka má tedy tvar:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \varrho a \ = \frac{4}{3}\pi r^3 \varrho g - 6\pi r\eta v \ ,$$

kde ϱ je hustota křídy, g tíhové zrychlení a a zrychlení padajícího zrnka. Její integrací (pro počáteční podmínku $v_0 = 0$) dostaneme závislost rychlosti na čase

$$v = \frac{2r^2\varrho g}{9\eta}\left(1 - e^{-\frac{9\eta}{2r^2\varrho}t}\right) . \tag{8}$$

Pokud je výraz v exponentu exponenciely $-\frac{9\eta}{2r^2\varrho}t$ dostatečně malý, pak již po velmi krátkém čase můžeme exponenciálu zanedbat a rychlost pádu bude konstantí (tíhová síla je v rovnováze s odporovou sílou)

$$v = \frac{2r^2\varrho g}{9\eta} \ .$$

Padá-li zrnko touto rychlostí z výšky h a dopadne za čas t, snadno z předchozího vztahu vyjádříme poloměr zrnka

$$r = \sqrt{\frac{9h\eta}{2\varrho g t}} \ . \tag{9}$$

Postup a výsledky měření. K měření jsem použila prach z bílé školní křídy, který jsem získala nastrouháním křídy o papír. Prach jsem nechala padat ze skříně výšky h a stopkami jsem měřila dobu pádu na podlahu. Naměřené hodnoty jsou v tabulce, statistickým zpracováním dostaneme průměrnou hodnotu s celkovou chybou měření $t = (2,6 \pm 0,5)$ s.

Výšku skříně jsem změřila pásovým měřidlem $h = (150,0 \pm 0,5)$ cm. Hustotu křídy jsem určila z tabulek $\varrho = (2200 \pm 400)$ kg·m^{-3}, tíhové zrychlení $g = 9,81$ m·s^{-2}. Z (9) vypočítáme poloměr zrnka včetně chyby měření $r = (4,5 \pm 0,9) \cdot 10^{-5}$ m.

č. m.	t/s
1	1,80
2	2,47
3	3,17
4	2,96
5	3,09
6	2,93
7	2,61
8	3,22
9	2,77
10	2,59
11	2,32
12	2,47
13	2,37
14	2,81
15	2,18
16	2,69

Závěr. Vidíme, že vzhledem k přesnosti měření můžeme zanedbat, že jsme při výpočtu použili hodnotu dynamické viskozity vzduchu při 0 °C. Měli bychom také ověřit oprávněnost zanedbáni členu s exponencielou v (8). Po dosazení do exponentu dostáváme, že už v čase $t = 0{,}2\,\mathrm{s}$ přispívá člen $e^{-\frac{9\eta}{2r^2\varrho}t}$ pouze hodnotou 0,03. Zrnka prachu nebyla stejně velká, na zem nedopadala všechna najednou, ale postupně. Snažila jsem se měřit dobu, ve které dopadlo na zem najednou nejvíce zrnek, takže jsem v podstatě určila poloměr zrnek, která byla v prachu nejvíce zastoupena. Navíc chyba měření je poměrně velká (asi 20 %) a kulový tvar zrnek je značně diskutabilní, takže výsledek měření bychom měli považovat za řádový odhad rozměru zrnka. Největší podíl na chybě měření má měření času a určení hustoty křídy (obě měrou asi 10 %).

Dodatek — nejčastěji se vyskytující chyby

Někteří z vás určili hustotu křídy změřením jejích rozměrů a zvážením. Hustota jim vyšla nižší, protože křída v sobě obsahuje vzduch (zkuste si ponořit kousek křídy do vody a uvidíte).

Neměli byste také zapomenout uvést, jaký druh křídy jste při měření použili a jakým způsobem jste připravili prach.

Jana Gřondilová

Úloha S . IV ... *časový vývoj* *(6 bodů, řešilo 15 studentů)*

a) Máme najít nejmenší možné $T > 0$, pro které existuje takové c, že ve všech bodech (x, y, z) bude splněna rovnost

$$a\psi_1(x,y,z)\mathrm{e}^{-\frac{iE_1T}{\hbar}} + b\psi_2(x,y,z)\mathrm{e}^{-\frac{iE_2T}{\hbar}} = ca\psi_1(x,y,z) + cb\psi_2(x,y,z).$$

V případě, že jedno z čísel a, b bude nulové lze tuto relaci splnit pro libovolné T, pokud zvolíme

$$c = \mathrm{e}^{-\frac{iEt}{\hbar}},$$

kde $E = E_1$ nebo $E = E_2$ podle toho, jestli $b = 0$ nebo $a = 0$. Systém zůstává pořád ve stejném stavu a hledat nejmenší možné $T > 0$ nemá smysl.

V případě, že jsou v superpozici skutečně zastoupeny oba stavy ($a \neq 0, b \neq 0$), vypadá situace jinak. Protože funkce ψ_1 a ψ_2 jsou lineárně nezávislé, musí být

$$c = \mathrm{e}^{-\frac{iE_1T}{\hbar}}, \qquad c = \mathrm{e}^{-\frac{iE_2T}{\hbar}},$$

neboli

$$\cos\left(-\frac{E_1T}{\hbar}\right) + \mathrm{i}\sin\left(-\frac{E_1T}{\hbar}\right) = \cos\left(-\frac{E_2T}{\hbar}\right) + \mathrm{i}\sin\left(-\frac{E_2T}{\hbar}\right).$$

Vidíme, že za dobu T se musí relativní fáze obou vlnových funkcí změnit o $2k\pi$:

$$\frac{E_1T}{\hbar} = \frac{E_2T}{\hbar} + 2k\pi, \qquad k \in \mathbb{Z}.$$

Minimální doba T, kterou hledáme, bude tedy rovna

$$T = \frac{2\pi\hbar}{|E_2 - E_1|}.$$

b) Energie elektronu na n-té hladině v atomu vodíku je

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2},$$

takže s využitím výsledku předchozí části úlohy lehce zjistíme, že stav elektronu se mění s frekvencí

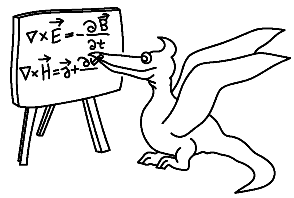
$$f = \frac{1}{T} = \frac{E_3 - E_2}{h} = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{4}\right).$$

Foton se stejnou frekvencí bude mít vlnovou délku

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{288\epsilon_0^2 h^3 c}{5 m_e e^4} \simeq 657\,\mathrm{nm}.$$

Jedná se přesně o vlnovou délku spektrální čáry, která odpovídá rozdílu energií příslušných hladin. Můžeme tedy uzavřít, že při přeskoku mezi energetickými hladinami vyšle elektron foton se stejnou frekvencí s jakou v mezistavu sám kmitá.

Michal Fabinger



Seriál na pokračování

Kapitola 6: Elementární částice

Yukawova teorie jaderných sil. Poté, co v roce 1932 Chadwick vysvětlil výsledky experimentů Curieové a Joliota pomocí hypotézy o existenci neutronu, bylo již jasné, že jsou to přesně ty částice, které spolu s protony tvoří atomová jádra. Složení jaderné hmoty se tedy vyjasnilo — jádro s atomovým číslem Z a hmotnostním A obsahuje Z protonů a $A - Z$ neutronů, o charakteru jaderných sil však kromě jejich krátkého dosahu nebylo známo prakticky nic. Ještě téhož roku navrhl Heisenberg, že by mohly být způsobeny výměnou elektronů a pozitronů mezi protony a neutrony. Neutron by podle této hypotézy emitoval elektron a změnil se na proton, zatímco sousední proton by se při záchytu téhož elektronu stal neutronem. Vypočtená síla interakce však vycházela 10^{14}-krát menší než by bylo potřeba. Roku 1935 pak modifikoval Heisenbergovu myšlenku Yukawa předpokladem, že výměnnými částicemi nejsou elektrony, ale nové částice o dva řády hmotnější. Předpokládal, že interakce mezi dvěma protony nebo mezi dvěma neutrony jsou způsobeny výměnou neutrálních mezonů π^0 a síly mezi protonem a neutronem zprostředkovávají nabité mezony π^+ a π^-, přičemž příslušné procesy můžeme vystihnout rovnicemi:

$$n \to p + \pi^-, \qquad p + \pi^- \to n$$

nebo

$$p \to n + \pi^+, \qquad n + \pi^+ \to p.$$

Podívejme se nyní, jak si můžeme názorně představit vznik odpudivé síly při podobné výměně částic. Představte si třeba v létě na rybníce dva lidi, každého na jedné neukotvené loďce. Kdyby by je snad napadlo házet si mezi sebou míčem, asi by jim to dlouho nevydrželo. Při každém vyhození míče by totiž dostala jedna loďka zpětný ráz a při zachycení by zase druhá loďka získala hybnost směřující od první. Efektivně by se tedy lodě odpuzovaly a po určité době by se dostaly do vzdálenosti, která se už nedá přehodit.

Trochu obtížnější je představit si přitažlivou sílu vznikající v důsledku výměny částic. Bude možná lepší vzít rovnou v úvahu kvantové efekty než vytvářet nějakou silně pokulhávající klasickou představu. Mějme třeba proton, který vyšle mezon π^0 s určitou hybností směřující *od* druhého protonu. Protože má tento pion dobře určenou hybnost, nemůžeme říct, kde se vlastně nachází, a nemůžeme tedy vyloučit, že do druhého protonu narazí. Pokud se tak skutečně stane, dostane druhý proton hybnost ve směru k prvnímu protonu, z něhož pion vyšel. (S trochou nadsázky to můžeme vyjádřit tak, že v kvantovém světě vás může trefit i kulka, kterou střelec vystřelil směrem od vás.) Je jasné, že v takovém případě dochází ke vzniku přitažlivé síly.

Velkým triumfem Yukawovy teorie byl experimentální objev pionu. Nárok na fundamentální teorii silných interakcí si však tento model činit nemůže, protože jak dnes víme, nukleony i piony jsou složené částice a daleko lépe je popisuje jiná teorie silné interakce, kvantová chromodynamika.

Svět leptonů a kvarků. Již od dávných dob se lidé snažili zjistit, z čeho se věci kolem nás skládají. Současná odpověď na tuto otázku je následující:

Existuje šest druhů kvarků, šest druhů leptonů a částice (tzv. intermediální bosony), které zprostředkovávají čtyři základní interakce — elektromagnetickou, slabou, silnou a gravitační.

Leptony jsou většinou lehké částice se spinem (tj. klidovým momentem hybnosti) 1/2 a známe jich celkem šest: elektron e^-, mion μ^-, tauon τ^- a k nim příslušná neutrina ν_e, ν_μ, ν_τ. Zatímco první tři mají nenulovou klidovou hmotnost, neutrina jsou pravděpodobně nehmotná (tj. mají nulovou *klidovou* hmotnost). Experimenty ukazují, že platí zákon zachování elektronového, mionového a tauonového leptonového čísla. Leptonům e a ν_e je přisouzeno elektronové leptonové číslo 1, jejich antičásticím e^+ a $\bar{\nu}_e$ -1 a ostatní částice mají elektronové leptonové číslo nulové. Díky těmto zákonům zachování nemůže proběhnout reakce

$$p + e \to n + \nu_\mu,$$

zatímco podobný proces

$$p + e \to n + \nu_e$$

je povolen. Všechny leptony interagují gravitačně a slabě a ty z nich, které mají nenulový elektrický náboj, také elektromagneticky. Silná interakce však na leptony vůbec nepůsobí.

Kvarků, které mají stejně jako leptony spin 1/2, je také šest a označují se písmeny u (up), c (charm), t (top), d (down), s (strange) a b (bottom). Těmto charakteristikám kvarků se také říká vůně. První tři mají elektrický náboj 2/3 (v jednotkách náboje pozitronu) a zbývající $-1/3$.

Z kvarků se skládají všechny hadrony, přičemž baryony ze tří kvarků a mezony z páru kvark-antikvark. Na rozdíl od leptonových čísel existuje pouze jediné baryonové číslo, které se zachovává. Pro baryony je definováno jako 1, pro antibaryony -1 a pro ostatní částice 0. Povolena je tedy například přeměna

$$n(ddu) + \mu^+ \to p(uud) + \bar{\nu}_\mu,$$

ale třeba následující proces

$$K^-(\bar{u}\ s) + \Sigma^+(uus) \to \Sigma^-(dds) + \bar{n}(\bar{d}\bar{d}\bar{u}) + \Delta^{++}(uuu) + \Xi^-(dss)$$

nemůže podle současných experimentálních zkušeností nastat, protože celkové baryonové číslo částic na levé straně je $0 + 1 = 1$ a na pravé $1 + (-1) + 1 + 1 = 2$. (V závorkách jsou vždy uvedeny vůně kvarků, ze kterých se částice skládají. Čarou nad písmenem se značí antičástice v případě, že k jejímu označení nestačí znaménko elektrického náboje. Máme tak například následující páry částice a antičástice: $n \leftrightarrow \bar{n}$, $\Sigma^+ \leftrightarrow \bar{\Sigma}^+$, ale také $e^- \leftrightarrow e^+$.) Existují však tzv. GUT modely, které předpovídají, že zákon zachování baryonového čísla se přece jen může ve velice málo pravděpodobných procesech porušit.

Kromě vůně a elektrického náboje mají kvarky ještě další charakteristiku — barvu, kterou žádné jiné částice nemají. Stejně jako vůně, ani barva nemá nic společného se smyslovým vnímáním člověka a je pouze poetickým názvem pro náboj silné interakce. Existují tři druhy barev, červená, modrá a zelená. Všechny částice, které v přírodě můžeme samostatně pozorovat jsou ale bezbarvé, protože kvarky uvnitř hadronů mají každý jinou barvu a mezony se skládají třeba z červeného a antičerveného kvarku. Všech šest kvarků interaguje elektromagneticky, slabě, silně, i gravitačně.

O částicích zprostředkujících síly mezi leptony a kvarky a o sjednocování interakcí se dozvíte v dalším díle seriálu.

Úloha VI . S ... *hmotnost pionu a zákony zachování*

a) Najděte horní řádový odhad hmotnosti mezonu π^0, který podle Yukawovy teorie zprostředkovává silnou interakci mezi dvěma neutrony, když víte, že její dosah je zhruba 10^{-15}m. Vzpomeňte si na „relaci neurčitosti mezi časem a energií", uvažte, že energie, která se nezachovává je minimálně $m_{\pi^0}c^2$, a že pion za příslušný čas nemůže doletět dál než světlo ve vakuu.

b) Rozhodněte, zda mohou podle současných znalostí v principu proběhnout následující procesy

$$p^+ + e^- \to K^- + e^+ + \nu_e + \nu_e,$$

$$\pi^0 + \mu^+ \to e^+ + \nu_\mu + \nu_e,$$

$$\Delta^{++} \to p^+ + \pi^0,$$

a svůj výsledek zdůvodněte.

Literatura

Arthur Beiser: Úvod do moderní fyziky, *Academia, Praha 1977.*

A protože seriál je opravdu na pokračování, tak poslední část si budete moci přečíst s řešením 5. a 6. série!

Naše adresa: ***FYKOS, KTF MFF UK***
V Holešovičkách 2, 180 00 Praha
http://www.mff.cuni.cz/iso/news/fks