

Elementární jednotky – Standardní model a Milikanův experiment

Pracovní list s poznámkami pro učitele

Úvod: Pokud porozumíte systému základních částic, můžete objevit na jedné straně složitou, ale zároveň jednoduchou strukturu celého světa. Stejně jako jsou všechna myslitelná slova složena ze 34 písmen české abecedy, atomová fyzika nás učí, že atomy všech existujících prvků jsou složeny ze tří částic – protonu, neutronu a elektronu. Když v minulém století neuvěřitelně narůstal počet dalších „elementárních“ částic postupně objevených v kosmickém záření a při vysokoenergetických srážkách, objevila se teorie, která předpokládala, že také všechny tyto částice jsou tvořeny několika základními stavebními prvky.

Úkol:

1. Dostanete několik obálek. **Neotvírejte je!**

Zvažte každou obálku s přesností 0,1g. Naměřené hodnoty si zaznamenejte.

2. Dejte dohromady výsledky měření hmotnosti obálek všech svých spolužáků. Pokud máte k dispozici počítač, vložte data do některého programu, který umí vykreslovat grafy (např. Excel).
3. Sestrojte sloupcový graf, na jehož vodorovné ose budou čísla obálek a na svislé jejich hmotnosti.
4. Seřaďte vzestupně všechny hmotnosti obálek (obálka č. 1 bude nejlehčí).
5. Sestrojte znovu sloupcový graf, tentokrát ze seříděných dat.
6. Diskutujte s ostatními o tom, co je na grafu zachyceno a jaké zajímavé informace o hmotnosti obálek z něj můžete vyčíst.
7. Vyčtěte z grafu průměrnou hmotnost každé skupiny obálek, jejichž hmotnosti jsou navzájem velmi blízké.
8. Jaké jsou rozdíly mezi jednotlivými průměrnými hmotnostmi skupin obálek?
9. Co tento rozdíl znamená? Pokuste se zformulovat vysvětlení.

K porozumění principu Milikanova pokusu je potřeba, aby si studenti uvědomili, že elektrický náboj je měřen v diskrétních hodnotách, tzn. má svou nejmenší, dále nedělitelnou hodnotu. Stejně tak k nahlédnutí do Standardního modelu je třeba uvědomit si, že kvarky jsou nejmenší dnes pozorované částice, z nichž je složena veškerá hmota.

Tento úkol by měl studentům pomoci určit různé typy „atomů“ a také je přivést k určení základní jednotky. Mohou také dospět k zjištění, že vnitřní strukturu může mít i to, co považovali za nejmenší část svých „atomů“.

Úkol: Připravte si stejné kartičky (je jedno, jaké přesně použijete, ale měly by být všechny stejně velké a měly by být ze silnějšího papíru) a vložte je do běžných obálek tak, aby byl počet kartiček v každé obálce dělitelný třemi. Budete potřebovat hodně kartiček i obálek, aby měli studenti k dispozici dostatečnou statistiku. Například: Je-li ve třídě 25 studentů, můžete

připravit třeba toto uspořádání obálek (nebo jakékoli jiné podobné):

počet obálek	počet kartiček v obálce
42	3
52	6
42	9
40	12
30	15
28	18
<u>16</u>	21
250	

Připravené obálky zamíchejte a rozdejte každému studentovi 10 z nich. Jednotlivé obálky představují „částice“. Studenti nyní musí pomocí vah změřit hmotnosti svých částic a výsledky zaznamenat pro další zpracování. Při vážení by mělo stačit určení hmotnosti s přesností 0,1 g. Digitální váhy budou určitě velkým pomocníkem při urychlení procesu vážení. Pro zpracování všech naměřených dat bude nejjednodušší použít některý počítačový program, který umí vytvářet grafy (např. Excel). Z naměřených hodnot sestavte graf a určitě bude na první pohled nápadné, že hmotnosti se rozdělily do několika „hladin“. Hmotnosti nyní seřaďte podle velikosti a znovu nechte vykreslit graf. Nyní už je zřejmé, že hmotnosti nemají libovolnou hodnotu, ale rozdělení je diskrétní a navíc rozdíly mezi jednotlivými hladinami jsou stejné. Na základě tohoto pozorování by studenti měli vyslovit teorii, co je podle nich základní jednotkou hmotnosti v jejich „atomech“. Zkuste se studentů zeptat, jak by zjistili, že jejich základní jednotka má další strukturu. Musí k tomu použít „větší energii“ – otevřít obálku a zjistit, co se uvnitř skrývá. Po otevření obálek studenti zjistí, že jejich „základní“ jednotka se skládala z dalších tří částí. Je to podobné tomu, že protony a neutrony se skládají ze tří kvarků.

Tabulka s ukázkou naměřených hmotností (data dodaná autory anglického textu) a jejich grafické zpracování pomocí programu Excel je zařazeno do přílohy A.3 za pracovní studentský list pro tento úkol.

Dodatek autorky:

Pokud bychom chtěli řešit stejnou metodou složitější problém, např. určit vážením obsah peněženky s mincemi, zjistili bychom, že se celá situace velmi komplikuje. Můžeme si ukázat, jak by situace dopadla ve zidealizovaném případě s českými mincemi. Uvažujme nehmotnou peněženku podobně jako jsme zanedbávali hmotnost obálky. „Peněženkou“ může být při realizaci pokusu igelitový neprůhledný sáček, do něž vhodíme několik mincí.

V České republice existuje 7 druhů mincí, které mají tyto hmotnosti:

Padesátník – 0,5 Kč	$(0,9 \pm 0,1)$ g
Koruna – 1 Kč	$(3,6 \pm 0,15)$ g
Dvoukoruna – 2 Kč	$(3,7 \pm 0,15)$ g
Pětikoruna – 5 Kč	$(4,8 \pm 0,15)$ g
Desetikoruna – 10 Kč	$(7,62 \pm 0,25)$ g
Dvacetikoruna – 20 Kč	$(8,43 \pm 0,25)$ g
Padesáतिकoruna – 50 Kč	$(9,7 \pm 0,25)$ g

Budeme-li mít v peněžence 2 libovolné mince a zvážíme jejich hmotnost, vyřešíme úlohu jednoduše a obsah peněženky po chvíli počítání odhalíme. Při vyšším počtu mincí se však úloha rychle zesložituje, možných kombinací vznikne více a musíme vymyslet efektivnější způsob než náhodné hledání správného řešení pomocí tužky a papíru, případně kalkulačky. Nejjednodušší je svěřit problém počítači, který je dostatečně rychlý na prozkoušení různých kombinací a jejich posouzení.

Je tedy nutné vymyslet algoritmus, podle kterého bude počítač postupovat. Pro běžný počet mincí v peněžence, který se pohybuje maximálně v řádu desítek, jsem jako nejefektivnější způsob zvolila porovnávání změřené hmotnosti se všemi možnými kombinacemi mincí.

Pro zpětnou kontrolu a jednodušší testování problému počítač nejprve náhodně vygeneruje obsah „peněženky“, který pak výše popsaným algoritmem hledá. Do programu (viz příloha A.3) zadáme hmotnosti mincí. Pak omezíme počet jednotlivých mincí i jejich celkový počet v „peněžence“ – obě tato čísla můžeme měnit. Můžeme si také vybrat, zda budeme mít v peněžence všechny druhy mincí nebo nám některé budou chybět (např. padesátikoruna není příliš běžná mince). Program vyhledá postupným srovnáváním všech možností ty kombinace, při nichž se hmotnost vygenerovaného obsahu peněženky liší od různých kombinací mincí co nejméně.

Podívejte se, jak roste počet řešení při zvyšování počtu mincí a jejich druhů. Protože počet řešení s nulovou odchylkou od celkové hmotnosti peněženky není pro zadané parametry konstantní, uvádím počty řešení získané pro 10 spuštění programu se stejnými parametry.

Maximální celkový počet mincí	Maximální počet druhů mincí	Maximální počet mincí každého druhu	Počet řešení s nulovým rozdílem hmotnosti
10	5	2	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1
10	7	2	1, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1
18	6	3	1, 1, 1, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1
20	7	3	2, 3, 3, 2, 3, 2, 3, 3, 1, 1
25	5	4	1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 2
25	7	4	11, 11, 10, 13, 5, 2, 16, 2, 10, 14
30	5	5	1, 2, 1, 1, 1, 2, 1, 2, 1, 1
30	7	5	13, 30, 15, 33, 2, 25, 18, 23, 18, 37
30	5	10	8, 15, 17, 3, 7, 3, 1, 12, 10, 7
30	7	10	189, 810, 276, 943, 252, 230...

Ukázalo se, že počet řešení problému roste již při počtu několika mincí a neexistuje obecné jednoznačné řešení této úlohy. Počty řešení ovlivňuje malý rozdíl hmotností koruny a dvojkoruny, velkou roli hraje také počet těžkých mincí (při 5 povolených druzích mincí jsem vyřadila právě koruny a padesátikoruny). Vidět je to na menším počtu řešení případů s 5 povolenými druhy mincí.

Studenti se mohou pokusit navrhnout způsob řešení takového nebo podobného úkolu, vysvětlit příčiny velkého množství řešení a také zkusit započítat chyby měření a hmotnostní odchylky mincí. Z jednoduchého úkolu vážení obálek se tak stane celkem složitý případ i pro hloubavější studenty.