

Úloha II.E ... Poločas čocky

7 bodů; průměr 5,93; řešilo 28 studentů

Experimenty s radioaktivitou, o kterých se můžete dočíst ve Výfučení, jsou pro provedení doma příliš nebezpečné. Můžeme si však radioaktivní rozpad namodelovat pomocí čocky. Vezměte si několik zrněk kuchyňské čocky (doporučujeme alespoň 200) a na každou z nich namalujte na jednu stranu tečku. Poté čocku rozsypte a separujte a spočítejte zrnka s tečkou nahoře, která reprezentují rozpadlé atomy. Postup několikrát opakujte, ideálně dokud vám zbývají „nerozpadlá“ zrnka. Poté sestavte graf závislosti počtu nerozpadlých jader na počtu hodů, do kterého kromě naměřených hodnot vyneste i předpokládaný průběh experimentu. Abyste zjistili, zda je takovýto rozpad konsistentní, můžete jej samozřejmě opakovat.

Jaký je poločas rozpadu čocky? Modeluje čocka radioaktivní rozpad věrohodně? Pokud zjistíte výrazné odchylky od předpokládané závislosti, diskutujte, čím by mohly být způsobeny. Místo čocky lze samozřejmě použít cokoliv symetrického, například jednokoruny či bonbóny Skittles.

Teorie

Cílem experimentu je modelovat radioaktivní rozpad, je tedy vhodné se letmo podívat na vztahy, kterými se takový rozpad řídí. Poločas rozpadu t_0 udává časový úsek, po jehož uběhnutí očekáváme, že se polovina jader rozpadla. Počet jader N , která od začátku experimentu zbyla po uplynutí času t , popíšeme vztahem

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{t_0}},$$

kde N_0 představuje počáteční počet jader. Jelikož se čas vyskytuje v exponentu, říkáme, že je funkce exponenciální. Takové funkce se vyznačují rychlým růstem, v našem případě klesáním, jelikož je exponent záporný.

Při hodu čockou mohou nastat právě dvě situace, čocka se ustálí s nahoře označenou, nebo s neoznačenou stranou. Jelikož nečekáme, že čocka preferuje jednu stranu více než druhou, budeme předpokládat, že oba jevy jsou stejně pravděpodobné. Pravděpodobnost, že nastane námi preferovaná situace (vrchní strana neoznačená) je $p = 1/2$. Po jednom hodu se rozpadne přesně jedna polovina čocky, jeden hod čockou tedy můžeme interpretovat jako náš poločas rozpadu. Můžeme tak vytvořit naši rovnici rozpadu

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{n}{n_0}},$$

kde n představuje počet opakování experimentu a $n_0 = 1$. Hlavní rozdíl mezi vzorci je, že náš dáva smysl jen pro n náležící přirozeným číslům, nedává smysl hodnota např. $n = 1,5$, tedy jeden a půl hodu.

Postup

Řídíme se podle návodu uvedeného v zadání. Po označení čocky ji vyvrhneme na připravenou plochu a spočítáme počet "rozpadlých" jader, tedy ta, která mají na vrchní straně značku. Ta dáme stranou a zapíšeme počet zbylých jader. S nimi poté proces budeme opakovat, dokud nám nezůstane žádné nerozpadlé jádro. Pokud házíme s předměty, u kterých může nastat, že dopadnou na třetí stranu (např. mince), budeme s objekty, které dopadly právě na třetí stranu házet ještě jednou, abychom získali validní výsledek.

Měření

Měření jsme provedli celkem 3. Jednotlivá měření lze nalézt ve spodní tabulce spolu s teoreticky předpokládaným výsledkem, který pro nás vyjadřuje rovnice

$$N_t = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{n_0}} = 200 \cdot 2^{-n}.$$

n	$\frac{n_{p1}}{1}$	$\frac{n_{p2}}{1}$	$\frac{n_{p3}}{1}$	$\frac{n_{pt}}{1}$
0	200	200	200	200
1	109	87	103	100
2	62	49	53	50
3	36	27	25	25
4	23	13	11	13
5	12	6	5	6
6	8	3	4	3
7	4	3	1	2
8	2	3	0	1
9	1	2	0	0
10	0	0	0	0

Tabulka 1: Počet čocky po n hodech.

Lze vidět, že naměřené hodnoty souhlasí s teoretickým modelem. Očekávaný počet hodů před rozpadem všech částic je 9. My jsme toho dosáhli při 8 a 10 hodech. Pro lepší porovnání teorie a praxe vyneseme data do grafu na obr. č. 1

Je dobré zmínit, že poločas rozpadu je statistická veličina, tedy že udává jen očekávanou dobu, kdy se polovina částic rozpadne. Je tedy možné, že po čase t_0 se rozpadne o něco více, či méně částic, přesně jak vidíme u našeho experimentu.

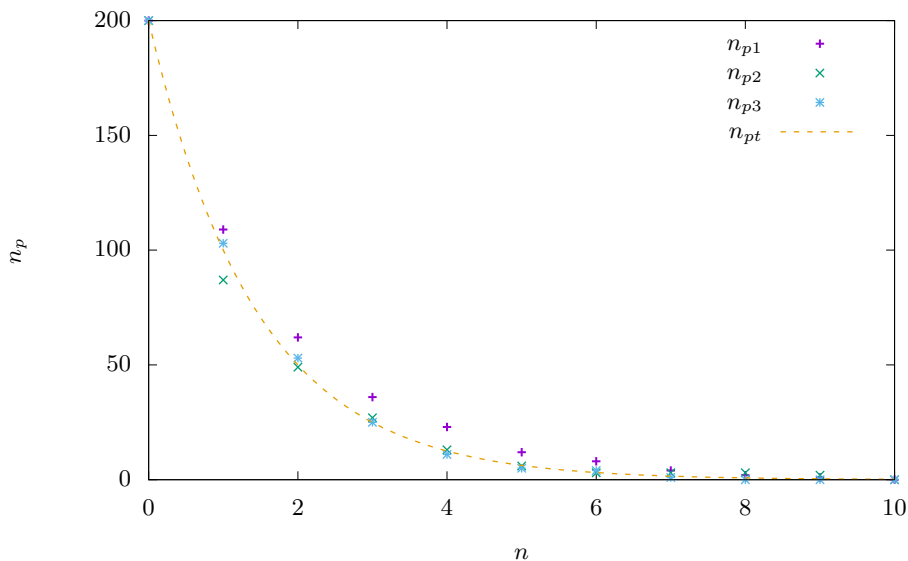
Chyby měření

Toto je jeden z mála experimentů, který není prakticky náchylný na chyby. Jediné, co je důležité, je to, aby čocka opravdu měla stejnou pravděpodobnost dopadu na obě strany. Vše závisí na naší technice hodu. Pokud ale dokážeme zaručit, že je čocka dostatečně promíchána, neměly by vnější vlivy hrát roli.

Možná se ptáte, co jsou odchylky pozorovaných hodnot od teoreticky předpovězené závislosti. Nejedná se o chybu měření, neboť měříme statistický jev. Ani neočekáváme, že data budou křivku přesně kopírovat. Zajímá nás pouze statistická shoda, kterou bychom mohli zlepšit větším množstvím čocky či více opakováními. Statistickou shodu předpovědi a teorie zde však nekvantifikujeme nějak přesně, proto ani nemá smysl řešit chyby.

Závěr

V experimentu jsme úspěšně simulovali radioaktivní rozpad pomocí čocky. Obměnu experimentu bychom získali při použití např. hrací kostky. Rozpad podmíněný hozením jedné číslice z šesti



Obrázek 1: Počet čocky po n hodech s teoretickou závislostí n_{pt} . Teoretická závislost je pro přehlednost vyvedena spojitě.

by nastával méně častěji, tudíž i náš "poločas" rozpadu by byl menší.

Patrik Kašpárek
patrik@vyfuk.org

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.