

59. ročník Fyzikálnej olympiády

v školskom roku 2017/2018

Kategória A – celoštátne kolo

Košice – 14. 4. 2018

Riešenie experimentálnej úlohy

Úloha 1

Predpokladajme, že pri vytvorení krátera o priemere D sa materiál s hmotnosťou m (úmerná objemu V krátera) buď stlačil (zdeformoval) alebo vymrštil mimo kráter, resp. prebehli oba procesy. Ak predpokladáme, že vznikol kráter približne sférického (guľového) tvaru, tak jeho objem je úmerný tretej mocnine priemeru. Pre hmotnosť m potom platí

$$m \sim V \sim D^3. \quad (R1)$$

(Symbol \sim znamená úmernosť).

a) Za zjednodušujúcich predpokladov podľa ZZE predpokladáme, že kinetická energia E asteroidu sa zmení na energiu plastickej deformácie. Plastickej deformácie je vlastne premiestnením (“uvoľnením väzieb”) stavebných častíc, aké vzniká pri skupenskej premene - tavení látky. Preto energia E je približne úmerná skupenskému teplu tavenia L_t , ktoré je priamo úmerné hmotnosti m zdeformovaného materiálu:

$$E \sim L_t \sim m. \quad (R2)$$

Zo vzťahov (R1) a (R2) máme

$$E \sim D^3 \text{ alebo } D \sim E^{1/3}.$$

b) Pri vymrštení materiálu m z krátera je potrebné nadvihnúť materiál s hmotnosťou m približne do výšky D . Kinetická energia E sa vtedy musí dominantne premeniť na potenciálnu energiu, ktorá je úmerná hmotnosti m a priemeru D

$$E \sim mD. \quad (R3)$$

Zo vzťahov (R1) a (R3) dostávame

$$E \sim D^4 \text{ alebo } D \sim E^{1/4}.$$

c)

hmotnosti guľiek	$m_1 = 8,35 \text{ g}$	$m_2 = 28,16 \text{ g}$	$m_3 = 66,76 \text{ g}$
------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------

d)

Tab 1. Príklad 10 meraní, 5 výšok h_i a 5 priemerov D_{ij} (študenti urobia aspoň $3 \cdot 4 \cdot 2 = 24$ meraní)

m_i (g)	h_i (cm)	D_{ij} (cm)		priemer D_{ij} (cm)	E_{ij} (J)	$x = \ln(E)$	$y = \ln(D)$
8,35	25,5	4,0	4,0	4,0	0,0209	-3,87	-3,22
28,16	25,5	5,4	5,3	5,4	0,0704	-2,65	-2,92
66,76	25,5	6,4	6,2	6,3	0,1670	-1,79	-2,76
	68,0	8,0	7,8	7,9	0,445	-0,81	-2,54
	150,0	10,4	10,0	10,2	0,982	-0,02	-2,28

Linearizovaná funkcia zo vzťahu (3) $D = cE^\alpha$ z teoretickej časti:

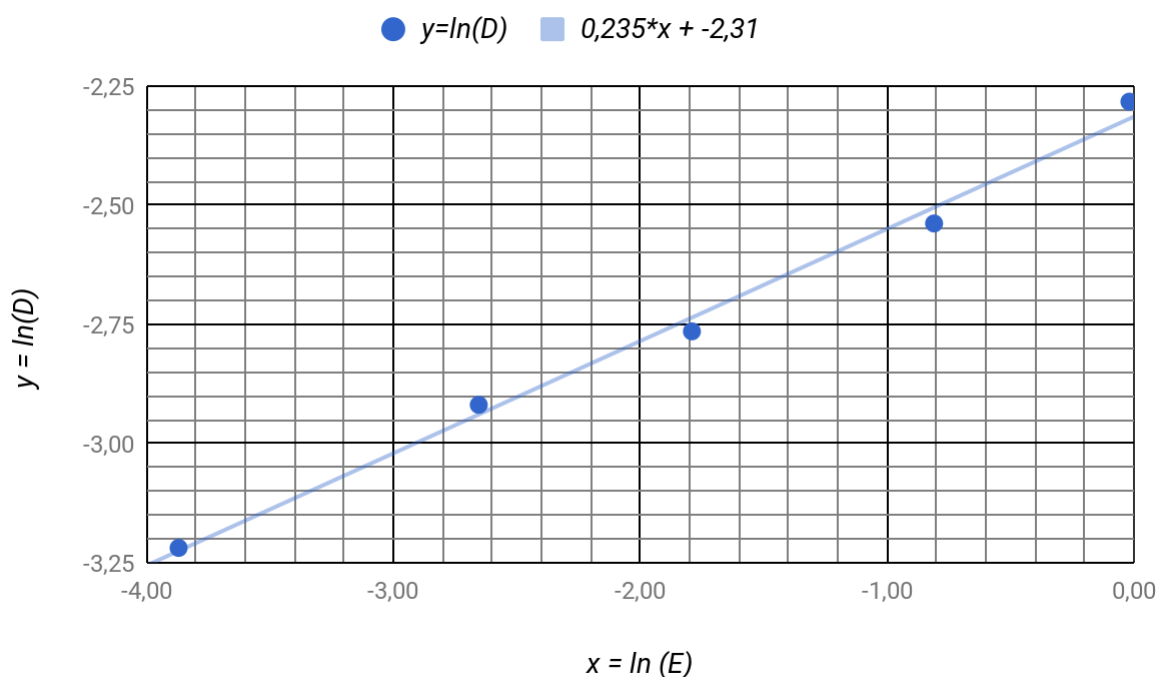
$$\ln D = \ln c + \alpha \ln E$$

$$y = b + ax \tag{R4}$$

kde

$$y \equiv \ln D \quad x \equiv \ln E \quad a \equiv \alpha \quad b \equiv \ln c$$

Graf podľa tab. 1. s najpravdepodobnejšou priamkou $y = ax + b$ danou vzťahmi (R4)



Z grafu vieme približne určiť smernicu a priamky a hodnotu b v bode 0 (symbol \approx znamená približne)

$$a \approx \frac{-2,55 + 3,03}{-1,00 + 3,00} = 0,240 \approx \frac{1}{4} \quad b \approx -2,32$$

e) Dáta potvrdzujú model (2) z teoretickej časti, kde vyvrhnutie materiálu krátera je dominantným procesom pri premene energie dopadajúcej guľky

$$D = c_v E^{1/4} \tag{R5}$$

kde

$$c_v \approx \exp(-2,32) = 0,0983 \approx 0,1 \text{ m. J}^{-1/4}$$

Úloha 2

a) Odhad a chyba veľkosti krátera z mapy: 100 ± 25 km.

b) Vzhľadom na nepresnosť Z rovnice (R5) pre energiu platí vzťah, ktorý dosadením $D = 100$ km dáva

$$E = (D/c_v)^4 \approx 1 \cdot 10^{24} \text{ J}$$

Pre okrajové hodnoty intervalu (75, 125) km dostávame energiu E z intervalu ($3 \cdot 10^{23}$, $3 \cdot 10^{24}$) J

c) Podľa Alvarezových odhadov z teoretickej časti pri predpoklade sférického asteroidu poznáme

$$R = 5 \pm 2 \text{ km} \quad v = 45 \pm 15 \text{ km/s}$$

Zo známych vzorcov $m = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$, $E = \frac{1}{2}mv^2$ a dosadení konkrétnych hodnôt pre energiu máme

$$E = \frac{2}{3}\pi R^3 \rho v^2 \approx 1 \cdot 10^{24} \text{ J}$$

Okrajové hodnoty pre R , v vedú pre energiu E k intervalu hodnôt ($1 \cdot 10^{23}$, $6 \cdot 10^{24}$) J

d) Energia atómovej bomby v Nagasaki

$$E_N = 4,2 \cdot 10^9 \cdot 21 \cdot 10^3 \approx 1 \cdot 10^{14} \text{ J}$$

$$E/E_N = 1 \cdot 10^{24} / 1 \cdot 10^{14} \approx 10 \cdot 10^9$$

Dopad asteroidu bol z hľadiska energie približne rovnaký ako výbuch 10 miliárd atómových bômb.

e) Podľa výsledkov b), c) úlohy (intervaly odhadovanej energie) je uvedený jednoduchý model vhodný na rádový odhad uvoľnenej energie pri dopade Chicxulubského asteroidu, pričom je v súlade so súčasnými odhadmi podľa Alvarezovej teórie.

Energia 10 miliárd atómových bômb bola zrejme postačujúca na také globálne zmeny na Zemi, ktoré viedli k masovému vyhynutiu dinosaurov a mnohých ďalších druhov pred 66 miliónmi rokov. Toto vyhynutie dovolilo vyvinúť sa cicavcom a človeku do dnešnej podoby.

59. ročník Fyzikálnej olympiády – Experimentálna úloha celoštátneho kola kategórie A

Autor úloh:	Jozef Hanč
Spracovanie návrhu:	Jozef Hanč, Tomáš Lučivjanský
Recenzia a úprava úloh:	Marián Kireš, Daniel Klivanec
	Slovenská komisia fyzikálnej olympiády
Vydal:	IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2018