

59. ročník Fyzikálnej olympiády
v školskom roku 2017/2018
Kategória A – celoštátne kolo
Košice – 14. 4. 2018
text experimentálnej úlohy

Fyzika a posledný deň dinosaurov

V roku 1980 v jednom z najvýznamnejších vedeckých časopisov Science¹ bola publikovaná teória, že za vyhynutím dinosaurov a hromadným vymieraním ďalších druhov pred 65 mil. rokmi je pravdepodobne dopad veľkého asteroidu. Autormi článku boli Luis Alvarez, jeden z najvýznamnejších experimentátorov časticovej fyziky 20. storočia², jeho syn geológ a ďalší dvaja chemici. Svoju teóriu vytvorili na základe precíznych geologických, chemických a fyzikálnych meraní morských sedimentov, pričom záverom ich článku bol aj odhad veľkosti (priemeru) daného asteroidu: **10 ± 4 km**.

O desať rokov neskôr ďalší výskumníci odhalili a hlavne datovali pozostatky kráteru na Yucatánskom polostrove v Mexickom zálive v blízkosti mesta Chicxulub (číta sa “tsiksulub”) ako výsledok dopadu telesa (asteroidu alebo kométy) Alvarezom odhadnutej veľkosti s rýchlosťou v intervale **30 - 60 km/s**.



Obrázok prevzatý z phys.org

Na základe analýzy fragmentov asteroidu bol jeho dopad stanovený na obdobie pred **66,038 ± 0,011 mil. rokov**, pričom tento dopad asteroidu sa dnes považuje za “posledný deň dinosaurov”.

V tejto úlohe budete experimentálne skúmať jednoduchý model tvorby kráteru v laboratórnych podmienkach a to pomocou dopadu kovových guľí rôznych veľkostí do piesku. Následne budete aplikovať model na Chicxulubský asteroid a nakoniec zhodnotíte, či tento model a vaše výsledky sú alebo nie sú v súlade so súčasnými poznatkami o danom asteroide.

¹ Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F., & Michel, H. V. (1980). Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. Science, 208(4448), 1095–1108, doi.org/10.1126/science.208.4448.1095

² Luis Alvarez je nositeľom Nobelovej ceny za fyziku z roku 1968 “za rozhodujúci príspevok k fyzike elementárnych častíc, konkrétne za objav veľkého počtu rezonančných stavov vďaka vyvinutiu vlastnej techniky vodíkovej bublinovej komory a analýzy dát.”

Teoretická časť

Kráter vzniká vtedy, ak rýchlo pohybujúci sa objekt, napr. asteroid alebo meteroid, dopadne na povrch omnoho väčšieho objektu, akým je napr. pevná planéta. Kinetická energia E_k (kvôli jednoduchosti budeme ďalej používať symbol E) dopadajúceho asteroidu alebo meteroidu sa pri dopade v súlade so zákonom zachovania energie (ZZE) najčastejšie mení na ďalšie formy v nasledovných fyzikálnych procesoch: zohriatie (zmena teploty), plastická deformácia povrchu planéty (až roztavenie), vyvrhnutie materiálu z krátera a produkcia seizmických vln.

Ak je plastická deformácia dominantným procesom premeny kinetickej energie E , tak veľkosť krátera (priemer D) možno približne určiť jednoduchým vzťahom

$$D = c_d E^{1/3}. \quad (1)$$

V prípade, že prevažná časť energie E je absorbovaná vyvrhnutím materiálu z krátera, pre priemer krátera približne platí

$$D = c_v E^{1/4}. \quad (2)$$

Vo vzťahoch (1) a (2) sú c_d a c_v empirické reálne konštanty. Uvedené výrazy možno vyjadriť pomocou jednej funkcie:

$$D = c E^\alpha, \quad (3)$$

kde c je reálna konštanta a α reálny exponent.

Praktická časť

Pomôcky

3 plné oceľové guľky rôzneho priemeru, stojan, posuvné meradlo pripevnené k stojanu, plastové pravítko, nádoba s pieskom, digitálne váhy

Metóda merania

Na pripravenej aparatúre púšťajte guľky voľným pádom do nádoby s pieskom z rôznych výšok v rozmedzí 20 cm - 150 cm. Konkrétne hodnoty výšok navrhnete na základe niekoľkých prípravných pokusov. Pomocou nepriameho merania kinetickej energie guľky E pri dopade s využitím ZZE a priameho merania priemeru krátera D vyšetrite závislosť medzi veličinami D a E a potvrdte alebo vyvráťte prijateľnosť modelu vyjadreného funkciou (1) alebo funkciou (2).

Pozn. 1: Po každom meraní nezabudnite nádobu s pieskom pretrepať, a to niekoľko krát a postupne čoraz "jemnejšie", aby ste dosiahli nestlačený piesok a vodorovný povrch piesku.

Pozn. 2: Pri meraní priemeru krátera v niektorých prípadoch je vhodné guľku z krátera veľmi opatrne vytiahnuť, aby neprekážala pri meraní.

Pozn. 3: Pre Košice použite tiažové zrýchlenie $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Úloha 1 Identifikácia modelu v laboratórnych podmienkach

- a) Pomocou zákona zachovania energie, jednoduchých kvalitatívnych úvah a zjednodušujúcich predpokladov zdôvodnite pre prípad dominantnej plastickej deformácie vzťah (1).
- b) Obdobným spôsobom zdôvodnite vzťah (2) pre prípad dominantného procesu - vyvrhnutia materiálu.
- c) Na digitálnych váhach odvážte jednotlivé guľky a následne zmerajte priemer krátera D , ktorý vytvorí pri páde každá guľka. Priemer D pre danú výšku zmerajte dvakrát a vypočítajte priemernú hodnotu. Urobte to v 4 rôznych vhodných hodnotách výšky. Hodnoty hmotnosti m_j , výšky h_i , kinetickej energie E_{ij} guľky a zodpovedajúce hodnoty priemeru krátera D_{ij} , zaznamenajte do tabuľky (Tab. 1 v protokole).
- d) Za predpokladu platnosti všeobecného vzťahu (3) zostrojte vhodný graf závislosti D a E . Vzťah (3) pritom vhodne upravte, aby závislosť medzi D a E bola vyjadrená lineárnou funkciou. Nové premenné pre os x a y zapíšte do tabuľky (Tab. 1 v protokole). Zostrojte najpravdepodobnejšiu priamku vzniknutej lineárnej závislosti a pomocou nej určte neznáme parametre c , α vzťahu (3).
- e) Z výsledkov meraní urobte záver, ktorý proces pri tvorbe krátera je dominantný a ktorý vzťah medzi D a E je potom vhodnejší pre opis vzniku krátera po páde guľky do piesku.

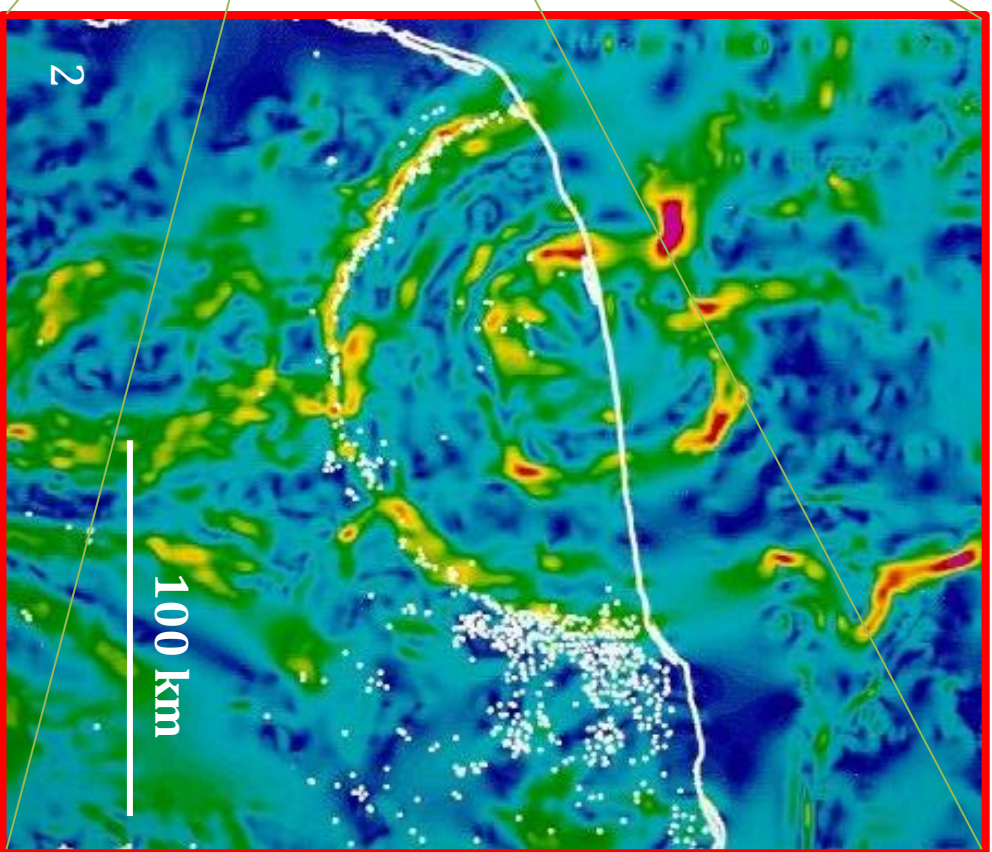
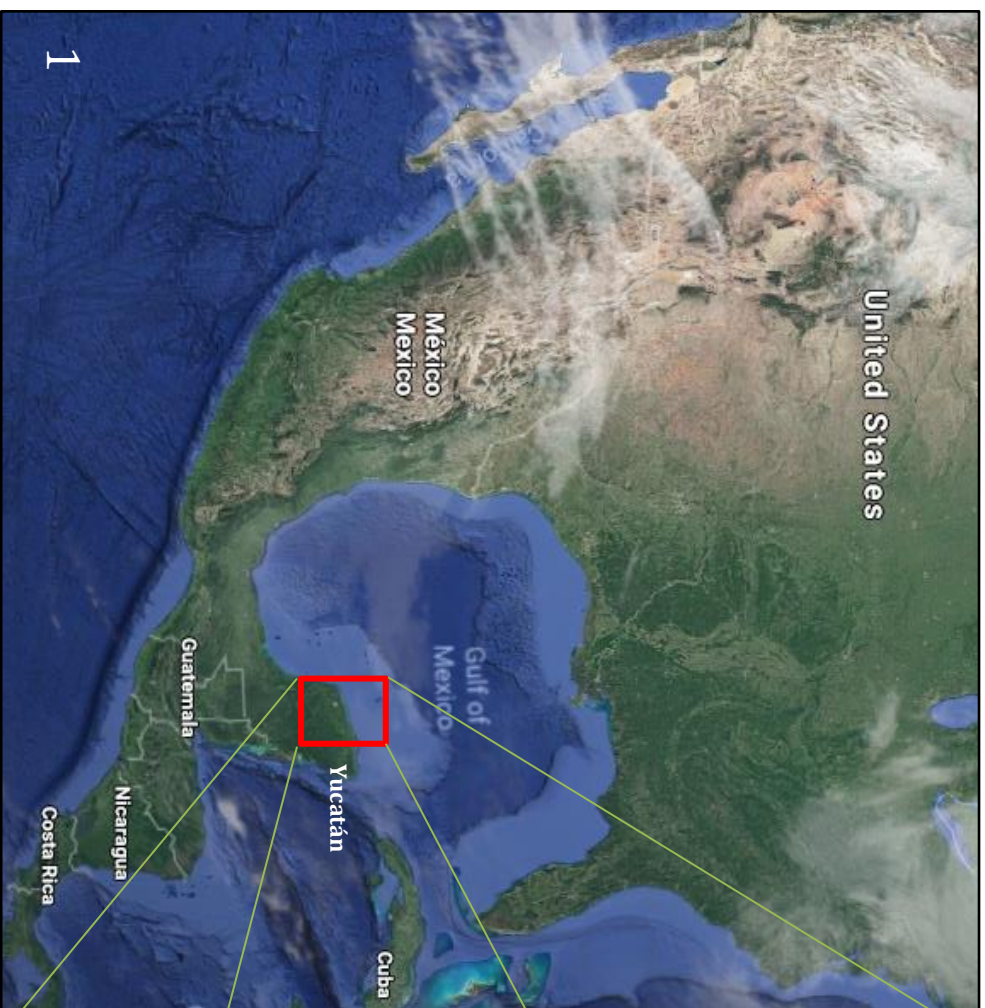
Úloha 2 Aplikácia modelu v reálnych podmienkach

Zákon zachovania energie platí rovnako pre laboratórne podmienky, ako aj reálne prípady. V tejto úlohe extrapolujte funkcie získané z fyzikálneho modelu v laboratóriu na reálny prípad Chicxulubského asteroidu, pritom vo výsledkoch uvažujte s presnosťou 1 platnej číslice.

Na priloženom dokumente (str. 4) máte mapu Chicxulubského krátera.

- a) Na mape krátera odmerajte priemer krátera a odhadnite odchýlku vášho merania.
- b) Pomocou modelu z predchádzajúcej úlohy (1) určte, akú hodnotu kinetickej energie by mohol mať približne Chicxulubský asteroid?
- c) Za predpokladu sférického modelu asteroidu, súčasných Alvarezových odhadov o asteroide spomenutých v úvode a na základe poznatkov z mechaniky odvodte a vypočítajte kinetickú energiu asteroidu (jej najlepší odhad a interval, v ktorom by sa mala nachádzať).
- d) Ak vieme, že atómová bomba Fat Man v Nagasaki uvoľnila energiu 21 kt TNT, odhadom určte koľkokrát väčšia bola energia daného asteroidu.
- e) Zhodnoňte, či vaše výsledky sú alebo nie sú v súlade so súčasnými poznatkami o danom asteroide uvedenými v úvode. Vyslovte záver (aj s jeho zdôvodnením), či model tvorby krátera guľky v piesku v princípe vystihuje fyzikálnu podstatu vzniku Chicxulubského krátera.

Pozn. 4: Predpokladajte, že hustota materiálu asteroidu je podobná žule (kameňu), $\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Pri explózii 1 g TNT sa uvoľní také množstvo energie, ako je potrebné na zohriatie 1 kg vody o 1°C , tzn. 4,2 kJ.



1. Dnešný polostrov Yucatán, na okraji ktorého je pod zemou a vodou čiastočne dochovaný kráter asteroidu Chicxulub (názov podľa miestneho mestečka Chicxulub), ktorý dopadol na Zem pred 66 mil. rokov a pravdepodobne spôsobil zánik dinosaurov.
2. Mapa gravitačného poľa daného miesta, kde bielou farbou je vyznačená hranica pobrežia dnešného Yucatánu a mierka, pomocou ktorej možno približne odhadnúť priemer kráteru.