

РАЧУНАЊЕ МАГНЕТНОГ ПОЉА РОДИТЕЉСКОГ ТЕЛА МЕТЕОРОИДА ХОБА ПРИМЕНОМ САВИЋ-КАШАНИН ТЕОРИЈЕ У ПРОГРАМУ ПАЈТОН

ВИОЛЕТА Н. НИКОЛИЋ¹, JOSE F. M. L. MARIANO^{2,3}

¹ Универзитет у Београду, Институт Нуклеарних Наука "Винча" —
институт од националног значаја за Републику Србију, Лабораторија за
теоријску физику и физику кондензоване материје,
Мике Петровића Аласа 12-14, 11 001 Београд

E-mail: violeta@vin.bg.ac.rs

² FCT, Campus de Gambelas, University of Algarve, Faro, 8005-139, Portugal

E-mail: jmariano@ualg.pt

³ Center of Physics and Engineering of Advanced Materials (CeFEMA), IST, University
of Lisboa, Av. Rovisco Pais, Rovisco Pais, Lisboa, 1096-001, Portugal

E-mail: jmariano@ualg.pt

Резиме: У овом раду је израчунато магнетно поље родитељског тела метеороида Хоба применом Савић-Кашанин (СК) теорије. У уводу су дати општи подаци о метеориту Хоба. Написан је програмски код у програму Пајтон ("Python"), који омогућује рачунање доприноса магнетног момента елемента гвожђа, укупном магнетном моменту родитељског тела. Дискутован је значај добијеног резултата, за дубље разумевање услова формирања родитељског тела. Овакве студије могу допринети бољем разумевању настанка метеороида и формирања Сунчевог система.

Кључне речи: Савић-Кашанин теорија, метеорит и метеороид Хоба, магнетно поље

1. УВОД

Метеорити су небеска тела, чије порекло може бити врло разноврсно. У најједноставнијем случају, може се претпоставити да је родитељско тело метеорита – астероид, што се потврђује на основу хемијског састава фрагмента метеорита, који је пао на Земљину површину. Познат је случај HED метеорита и астероида 4 Веста, као пример метеорита и његовог родитељског тела, астероида (Hardersen, 2014). Наиме, у литератури се метеорити, који воде порекло са астероида Веста, називају и вестоиди.

У комплекснијем случају, тешко је извући неке закључке о родитељском телу метеороида, обзиром да су поједини дошли чак изван граница Сунчевог система. Треба приметити да су до сада у литератури постављане различите те-

орије о пореклу метеороида, које су критички разматране, у светлу постојећих доказа (Anders, 1964). Према Андерсу, Вудова теорија (Wood, 1963), која претпоставља високотемпературску и нискотемпературску разноликост примордијалне материје, најбоље се слаже са доказима. Према Вудовој теорији, метеориди се формирају издвајањем од Сунчеве маглине (Сунчеве небуле).

У овој студији, приказан је алтернативни начин формирања метеороида, базиран на претпоставци њиховог издвајања од родитељског тела, чији су термодинамички услови формирања знатно различити од услова формирања планета и звезда, резултирајући у њиховом јединственом хемијском саставу. Овакав приказ формирања метеороида је базиран на теорији Савић-Кашанин (Savić & Kašanin, 1981; Savić & Kašanin, 1961-1965; Nikolić, 2023; Nikolić 2023), која представља једну од ретких теорија која омогућује израчунавање података о родитељском телу метеороида.

Као идеалан кандидат за овакву врсту прорачуна, препознат је метеорит Хоба, због тога што представља најмасивнији (маса му је износила око $66 \cdot 10^6$ g), 1-фрагментни, очувани примерак метеорита, који је пао на територију афричког континента ($19^\circ 35'S$, $17^\circ 56'E$), 1920-е године (Beech, 2013). Метеорит је пронађен на фарми, по имену "Hoba West" (по којој је добио име), у Републици Намибија.

На Слици 1 је приказан метеорит Хоба данас, када представља туристичку атракцију. Услед тога што привлачи пажњу туриста, као и због ерозије и временских услова, маса метеорита данас је мања за око $2 \cdot 10^6$ g.



Слика 1. Метеорит Хоба.

У оквиру овог рада је написан код, у програмском језику Пајтон, за рачунање вредности магнетног дипола родитељског тела метеороида Хоба (подсетимо се да је вредност ове величине у литератури прихваћена као добра апроксимација јачине магнетног поља небеског тела). Код се може добити од аутора. У наставку студије ће бити дискутоване последице добијеног резултата рачунања.

2. САВИЋ-КАШАНИН (СК) ТЕОРИЈА

Укупан магнетни момент (L) родитељског тела метеороида Хоба је израчунат применом СК теорије, ослањајући се на хемијски састав метеорита Хоба, и

претпостављајући да је родитељско тело било окарактерисано истим хемијским саставом: $82,4wt$ гвожђа и $16,76wt$ никла. Имајући у виду да су остали елементи били заступљени у саставу са $wt < 1$, њихов допринос вредности укупног магнетног момента (L_{total}) родитељског тела метеороида Хоба је занемарљив.

Програмски код за рачунање укупног магнетног момента у Пајтону, је написан, уводећи одређене премисе:

1) родитељско тело је састављено од истих масених удела елемената гвожђа и никла, као и метеорит Хоба;

2) маса родитељског тела је била већа од $1,6 \cdot 10^{25}g$, што представља неопходан услов, да би небеско тело имало сопствено магнетно поље;

3) родитељско тело се састоји од језгра и омотача;

4) облик родитељског тела је сферан.

Програмски код у програму Пајтон је написан ради лакше и брже примене СК теорије. Програм омогућује унос потребних параметара (у програму је објашњено који параметри су у питању), који омогућују коначно одређивање доприноса магнетног поља гвожђа. Одређивање овог доприноса се одвија поступно, путем рачунања следећих величина: критичне густине, радијуса акције, и енергије која одговара радијусу акције. Затим програм омогућује одређивање фазе у којој је завршена јонизација валентног енергетског нивоа, а затим и свих осталих енергетских нивоа, уз дефинисање одговарајуће електронске конфигурације елемента, чији се допринос рачуна (у овом случају, то је гвожђе). Програм затим истиче одређивање фазе у којој је завршена јонизација енергетског нивоа, најближег језгру (К ниво). У програму су затим приказане три табеле, које су од интереса за примену коначне формуле за рачунање магнетног момента; ове табеле се примењују за случај гвожђа, као и било ког другог елемента (табеле су значајне, и универзалног карактера). Објашњено је, како се користе табеле, тј. како се читава потребна нумеричка вредност из табела. И крај програма омогућује коначну примену формуле за одређивање магнетног доприноса разматраног елемента. Програм се може добити од аутора.

Програм омогућује израчунавање магнетног поља родитељског тела метеорита Хоба, на примеру одређивања доприноса гвожђа, укупној вредности магнетног момента тела. На исти начин се одређује допринос никла, а укупни магнетни момент се рачуна као збир доприноса гвожђа и никла.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

На основу програмског кода, одређена вредност доприноса магнетног момента елемента гвожђа (масеног удела $82,4$), укупном магнетном моменту родитељског тела метеороида Хоба, износи: $8,8 \cdot 10^{11} \text{ erg/Gauss}$, док је допринос никла (масеног удела $16,8$): $1,69 \cdot 10^{11} \text{ erg/Gauss}$. Према томе, укупни магнетни момент родитељског тела Хоба, износи: $L_{total} = 1,05 \cdot 10^{12} \text{ erg/Gauss}$.

Подсетимо се да однос укупног магнетног момента и магнетног наелектрисања магнетног пола небеских тела, описује физичке одлике небеског тела и карактеристичан је за дата небеска тела, попут звезда и планета. Формула која омогућује израчунавање растојања магнетних полова (δ) дотичног небеског тела (а што, грубо, указује и на дијаметар дискутованог небеског тела) јесте: $\delta = L/2\mu$, где је μ – магнетно наелектрисање магнетног пола.

Као пример, могу се разматрати Сунце и Земља. Одговарајући подаци за ова небеска тела су израчунати путем СК теорије, и приказани у монографији публикованој 1965-е године (Savić, 1965). Овде ће бити приказани дати подаци, преузети из литературе:

$$\begin{aligned} L_{total}(\text{Земља}) &= 7,53 \cdot 10^{25} \text{ erg/Gauss} \\ \mu(\text{Земља}) &= 2,26 \cdot 10^{17} \\ \delta(\text{Земља}) &= 1,66 \cdot 10^8 \text{ m} \\ L_{total}(\text{Сунце}) &= 9,93 \cdot 10^{33} \text{ erg/Gauss} \\ \mu(\text{Сунце}) &= 1,72 \cdot 10^{23} \\ \delta(\text{Сунце}) &= 2,85 \cdot 10^{10} \text{ m} \end{aligned}$$

Пошто је $L_{total}(\text{Сунце}) = 9,93 \cdot 10^{33}$, то је скоро 10^{34} , а $\mu(\text{Сунце}) = 1,72 \cdot 10^{23}$, то је скоро 11 редова величине, док је у случају Земље, исти однос: $L_{total}(\text{Земља})/\mu(\text{Земља}) \cdot 10^8$. Истовремено, може се приметити, $L_{total}(\text{Сунце})$ је 10^8 до 10^9 пута већи од вредности $L_{total}(\text{Земља})$, док је однос магнетних наелектрисања за око 10^5 , у корист Сунца. Ткђ., важно је приметити да је у случају дискутоване звезде, као и планете, ред величине магнетног наелектрисања већи од преполовљене вредности реда величине магнетног момента, у случају оба дискутована небеска тела.

Подсетимо се да је за очекивати да мање небеско тело има мањи однос ове две величине, које одражавају растојање његових магнетних полова, и последично, његов радијус. Ако претпоставимо да важи исти однос између укупног магнетног момента и магнетног наелектрисања једног његовог пола, који је установљен у случају дискутованих небеских тела ($\mu > L/2$), то значи да би растојање између магнетних полова родитељског тела метеороида Хоба износило: $\delta = L/2\mu = 10^{12}/(2 \cdot 10^6) = 5 \cdot 10^5 \text{ m}$. То значи да је растојање између магнетних полова родитељског тела $\leq 500 \text{ km}$, што указује на доста мали радијус овог небеског тела (ако упоредимо са радијусом планете Земље). Према томе, за очекивати је да тело има малу запремину.

Подсетимо се сада прегледа литературе и навода литературе, који се односе на услове формирања родитељских тела метеороида. Литература показује да су ова небеска тела формирана при ниским притисцима и температурама (Anders, 1964; Urey & Craig, 1953). Са друге стране, осврт на једначину идеалног гасног стања: $pV = nRT$, нам омогућује дискутовање услова формирања различитих дискутованих небеских тела, попут звезда, планета и метеороида. СК теорија претпоставља да су планете и звезде формиране при високим притисцима и температурама.³⁷ У случају поменутих небеских тела, очекују се и велике запремине (при чему се под "великим" запреминама подразумевају запремине реда величине планета и/или веће). Да би се одржала равнотежа, која карактерише примену модела идеалног гасног стања, овакав однос термодинамичких параметара условљава малу вредност броја молова. Број молова је величина, која је повезана са моларном масом,³⁸ и самим тим, хемијским сас-

37 Савић и Кашанин, у својим оригиналним монографијама, нису посебно коментарисали случај метеорита и њихових родитељских тела, иако се одређени закључци о овим небеским телима, могу извести применом прорачуна, базираних на њиховој теорији.

38 Број молова се може представити као однос различитих величина, између осталог, масе и

тавом тела. Другим речима, оваква небеска тела су окарактерисана хемијским саставом, који подразумева већинско присуство "лакких" елемената (при чему се под "лакким" елементима, у грубо, подразумевају елементи, чија је релативна атомска маса (A_r) мања од масе гвожђа), што резултира њиховим хемијским саставом. Звезда Сунце је већински састављена од водоника, $A_r=1$ (73wt), и хелијума, $A_r=4$ (25wt). Земљина кора је већински састављена од кисеоника, $A_r=16$ (49.5wt), силицијума, $A_r=28$ (28wt), и алуминијума $A_r=13$ (8wt) (Savić & Kašanin, 1961; Anderson & Anderson, 2010).

Насупрот звездама и планетама, родитељска тела метеороида су формирана при супротним условима, под ниским притисцима и при ниским температурама. Ова студија је показала да је запремина родитељског тела метеороида Хоба, ткђ., мала, што (имајући у виду једначину идеалног гасног стања) упућује на много већи број молова, у односу на Сунце и Земљу. Другим речима, очекује се да ће овакво небеско тело имати хемијски састав, који би му омогућио, да се већински састоји од елемената, чија је маса једнака или већа од масе елемента гвожђа. И заиста, хемијски састав метеорита Хоба потврђује ово очекивање: метеорит Хоба је већински састављен од гвожђа, $A_r=56$ (82.4wt) и никла, $A_r=59$ (16.76wt).

4. ЗАКЉУЧАК

У овој студији је израчуната јачина магнетног поља родитељског тела метеороида Хоба, на основу СК теорије, и на основу програмског кода, написаног у Пајтону ("Python"-у). Израчуната вредност износи: $L_{total}=1,05 \cdot 10^{12} \text{ erg/Gauss}$. Дискусија добијеног резултата је потврдила да је запремина родитељског тела била мала. Уз осврт на једначину идеалног гасног стања, овај податак омогућује објашњење хемијског састава метеорита Хоба.

ЛИТЕРАТУРА

- Anders, E.: 1964, Origin, age, and composition of meteorites, *Space Science Reviews*, **3**, 583-714.
- Anderson, R. S., Anderson S. P.: 2010, *Geomorphology: The Mechanics and Chemistry of Landscapes*, Cambridge, 1-187.
- Beech, M.: 2013, Towards an understanding of the fall circumstances of the Hoba meteorite, *Earth, Moon, and Planets*, **111**, 15-30.
- Hardersen, P. S., Reddy, V., Roberts, R., Mainzer, A.: 2014, More chips off of Asteroid (4) Vesta: Characterization of eight Vestoids and their HED meteorite analogs, *Icarus*, **242**, 269-282.
- Николић, В. Н.: Рачунање магнетног поља родитељског тела астероида 4 Веста применом Савић Кашанин теорије, *Зборник радова "Развој астрономије код Срба XII"*, Београд, 18-22 април 2023.
- Nikolić V. N.: 2023, Calculation of the magnetic field of the asteroid 4 Vesta parent body (Application of SK theory) *Annals of Mathematics and Physics*, **1**, 026-028.
- Savić, P.: 1981, The internal structure of the planet Mercury, Venus, Mars, and Jupiter according to the Savić-Kašanin Theory, *Advances in Space Research*, **1**, 2-8.

- Savić, P., Kašanin, R.: 1962, *The Behaviour of the Materials under High Pressures*, Monographs I, 1, Beograd, 1-129.
- Savić, P., Kašanin, R.: 1963, *The Behaviour of the Materials under High Pressures*, Monographs II, 2, Beograd, 1-148.
- Savić, P., Kašanin, R.: 1964, *The Behaviour of the Materials under High Pressures*, Monographs III, Beograd 1-137.
- Savić, P., Kašanin, R.: 1965, *The Behaviour of the Materials under High Pressures*, Monographs IV, Beograd, 1-127.
- Urey, H. C., Craig, H.: 1953, The composition of the stone meteorites and the origin of the meteorites *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4, 36-82.

CALCULATION OF THE MAGNETIC FIELD OF THE PARENT BODY OF THE METEOROID HOBA, BY APPLYING SAVIĆ-KAŠANIN THEORY IN A PROGRAM PYTHON

In this paper, the magnetic field of the parent body of meteoroid Hoba was calculated based on the Savić-Kašanin theory. In the introduction are given general data about meteorite Hoba. Code, written in Python, enabled calculation of the contribution of the magnetic moment of the iron element, to the total magnetic moment of the parent body. Significance of the obtained result is discussed, in order to get deeper insight in formation conditions of the parent body. Such studies could contribute to a better understanding of the origin of meteoroids and the formation of the Solar System.

Keywords: Savić-Kašanin theory, meteorite and meteoroid Hoba, magnetic field