

# Reflectance spectroscopy of asteroids

Mirel BIRLAN

Institut de Mécanique Céleste et des Calculs des  
Ephemerides, Observatoire de Paris, CNRS UMR8028, PSL  
Research University, 77 av Denfert Rochereau, 75014  
Paris Cedex, France  
Astronomical Institute of the Romanian Academy, Cușitul  
de Argint - 5, 040557  
Bucharest, Romania  
email: Mirel.Birlan@obspm.fr

Dan Alin NEDELICU

Astronomical Institute of the Romanian Academy, Cușitul  
de Argint - 5, 040557  
Bucharest, Romania  
Institut de Mécanique Céleste et des Calculs des  
Ephemerides, Observatoire de Paris, CNRS UMR8028, PSL  
Research University, 77 av Denfert Rochereau, 75014  
Paris Cedex, France  
email: nedelicu@aira.astro.ro

**Rezumat**— Telescopic observations of asteroids in the visible and near-infrared spectral domain reveal the intimate structure of their surface. Spectral data in reflectance is essential for characterizing the asteroid mineralogy. Statistics on spectral data for large samples allow the development of taxonomic systems. Added to comparative planetology methods, spectral data obtained via groundbased observations allows the mineralogical characterization of asteroids. The article presents the problematics as well as some asteroid spectra as example of spectral diversity among this population of objects, namely (1154 *Astronomia*), (7986 *Romania*), and (357439) 2004BL86. (*Abstract*)

**Termeni cheie**— Solar System, asteroids, spectroscopy, mineralogical modeling. (*key words*)

## I. INTRODUCERE

Asteroidii sunt corpuri ale Sistemului Solar. Ei sunt mărturia formării prin acreție a Soarelui și a sistemului planetar, acum peste 4,5 miliarde de ani. Până în prezent au fost descoperite peste 750.000 de astfel de corpuri. Cele mai multe dintre ele își efectuează mișcarea de revoluție între Marte și Jupiter, în Centura Asteroidală Principală.

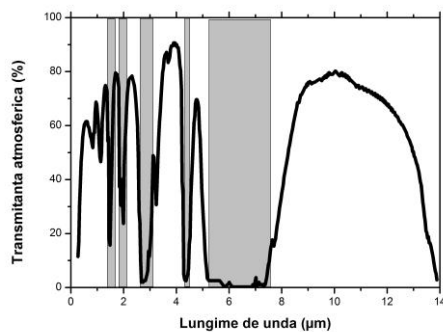


Figura 1. Transmittanța atmosferică la nivelul mării pentru un model atmosferic corespunzător atmosferei din Big Island, Hawaii. Intervale spectrale importante sunt complet opace, la nivelul solului. Acestea sunt evidențiate cu datele desenate pe

un fond gri, în figură. Aceste absorbții sunt datorate în special vaporilor de apă, dioxidului de carbon și ozonului.

Analiza asteroizilor de la sol se face pe baza radiației electromagnetice solare reflectate de obiect. Tehnica spectroscopică se poate realiza de la sol doar în ferestrele spectrale permise de atmosfera terestră (Figura 1). Rezultatele obținute în urma utilizării spectroscopiei vor permite obținerea unor spectre în reflexie ale suprafețelor asteroizilor[1].

Spectroscopia de reflexie pentru asteroizi reprezintă în fapt studiul radiației electromagnetice reflectate în domeniul de lungimi de undă 0,4-3,0 micrometri. Pentru acest interval, datele obținute sunt alterate doar de factori ce țin de transparența atmosferică. Astfel, regiunile din spectru din infraroșu apropiat, în jurul valorilor de 1,45 micrometri, 2,0 micrometri și 2,8 micrometri prezintă importante benzi de absorbție telurice. De exemplu în regiunea 2,6-2,0 micrometri, atmosfera terestră devine complet opacă. Aceste benzi de absorbție sunt datorate în mare parte vaporilor de apă din atmosferă (nori). Alte componente care contribuie la crearea benzilor de absorbție telurice sunt dioxidul de carbon, ozonul, oxigenul molecular, dioxidul de azot.

Datele spectrale obținute la o lungime de undă superioară valorii de 3 micrometri trebuie analizate cu atenție, deoarece pot fi alterate de emisia termică proprie asteroidului.

Pentru a caracteriza un asteroid în reflexie, spectrul acestuia se obține în intervalul spectral 0,4-2,5 micrometri. Acest domeniu spectral larg este compus din regiunea spectrului vizibil (0,4-0,9 micrometri) și regiunea infraroșu apropiat (0,9-2,5 micrometri). Sunt foarte puține instrumente (spectrografe) pe Glob care permit observațiile simultane ale celor două regiuni spectrale, deoarece detectorii cu care putem înregistra fotonii veniți de la un obiect ceresc sunt diferiți. Regiunea vizibilului presupune utilizarea dispozitivelor pe bază de siliciu. Regiunea spectrului infraroșu presupune utilizarea dispozitivelor bazate pe alte tehnologii (de exemplu tehnologia InGaAs).

## II. PROTOCOLUL DE OBSERVAȚII SPECTROSCOPICE

Deoarece asteroizii reflectă lumina solară, în procesul de înregistrare a spectrelor lor trebuie să includem și observații efectuate pentru stele de calibrare. Aceste stele trebuie să fie

alese din clasa G2V (adică stele care au aceleași caracteristici spectrale ca ale Soarelui).

Observațiile spectrale ale asteroizilor în domeniul vizibil se realizează identic cu cele ale altor corpuri cerești. Timpii de integrare pentru obținerea datelor spectrale sunt dați de o funcție complexă ce ia în considerare diametrul telescopului, sensibilitatea detectorului, rezoluția spectrală a spectrografului și magnitudinea obiectului de studiu.

Observațiile spectrale în infraroșu apropiat necesită un protocol diferit. Observațiile în acest domeniu spectral sunt puternic influențate de ionosfera Pământului. Pe timpul unei nopți de observații, ionii din straturile **D** și **E** ale ionosferei se recombina. Acest proces este spontan și necontrolat. Procesul de recombinare este realizat cu emisie de fotoni în infraroșu. Fenomenul de scintilație ce apare (*airglow* în limba engleză) produce o modificare continuă a fondului cerului, improprie expunerii pentru timp de integrare lung. Prin urmare, observațiile în infraroșu apropiat trebuie efectuate într-o secvență de imagini individuale cu timp de integrare adaptat la o perioadă temporală în care fondul cerului poate fi considerat constant. Rezultatul final al observației (spectrul final) va reprezenta suma acestor imagini individuale. Acest mod de observație permite mărirea raportului semnal/zgomot al spectrului.

O strategie de observație optimală este aceea legată de observarea asteroidului la *culminație*, într-o perioadă de vizibilitate când se apropie de zenit. Acest moment de timp corespunde momentului din noaptea la care asteroidul, în mișcarea lui aparentă diurnă, se află în apropierea meridianului localului. Această situație corespunde cu minimumul masei de aer (coloanei de aer atmosferic străbătută de fotonii reflectați de suprafața asteroidului) și corespunzător, minimizarea absorbției atmosferice.

Strategiile de observație a stele/stelelor de tip solar pentru calibrare sunt:

- observarea de stele G2V cât mai aproape de poziția asteroidului;
- observarea stelelor de tip G2V al căror spectru este bine cunoscut și modelizarea ulterioară a atmosferei terestre în vederea înlăturării artefactelor de origine telurică.

Întrucât este foarte dificil de calibrat în valoare absolută fluxul corespunzător fiecărei lungimi de undă în care s-a observat asteroidul, spectrul obiectului este publicat ca fiind raportul dintre fluxul asteroidului și fluxul analogului solar. Mărirea astfel obținută este adimensională și se numește *reflectanță spectrală*. În general, spectrul se normalizează la valoarea reflectanței spectrale din vizibil (filtrul **V**, cu maximum de sensibilitate la 0,55  $\mu\text{m}$ ). Atunci când această valoare nu este disponibilă, spectrul se normalizează la valoarea reflectanței din filtrul **J** (1,25  $\mu\text{m}$ ).

### III. EXEMPLE DE SPECTRE DE ASTEROIZI

Spectrele în reflexie ale asteroizilor sunt obținute ca urmare a interacției fotonilor solari incidenti cu suprafața obiectului. Este vorba despre o reflexie speculară, în care suprafața care interacționează cu radiația incidentă are o profunzime de câțiva microni. Mineralele de la suprafața obiectului pot fi puse în

evidență datorită benzilor de absorbție ce se produc în spectrul asteroidului. Aceste benzi de absorbție pot fi explicate prin teoria câmpului cristalin aplicată stratului de regolit (particule cristaline, independente, de dimensiuni micronice) de la suprafața asteroidului.

Exemplificăm câteva dintre spectrele asteroizilor în această secțiune.

#### A. Asteroidul (1154) *Astronomia*

*Astronomia* este un asteroid de aproximativ 57 km în diametru. Spectrul lui din domeniul vizibil a fost concatenat cu cel din infraroșu apropiat (Figura 2). Se poate observa o bandă de absorbție în jurul lungimii de undă de 1,45  $\mu\text{m}$  și o altă bandă de absorbție la lungimea de undă de 1,9  $\mu\text{m}$ . Aceste două absorbții sunt artefacte, datorate influenței benzilor telurice, care nu au putut fi corectate în procesarea datelor. Spectrul compus al asteroidului nu prezintă benzi de absorbție datorate suprafeței asteroidului. Aceste date explică doar existența de componente mineralogice neutre pe suprafața obiectului[2].

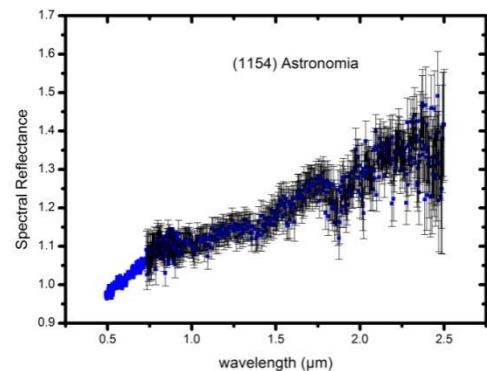


Figura 2. Spectrul compus al asteroidului (1154) *Astronomia*. Spectrul în infraroșu apropiat a fost observat cu spectrograful SpeX instalat pe telescopul IRTF din Mauna Kea, Hawaii, la 2 martie 2010. Partea de spectru vizibil a fost luată din literatură.

#### B. Asteroidul (7986) *Romania*

Asteroidul (7986) *Romania* este un obiect al Centurii Asteroidale Principale de aproximativ 5 km diametru. El a fost subiectul unei campanii de observații în lunile aprilie-mai 2015[3]. În timpul acestei campanii s-au colectat date astrometrice, fotometrice și spectroscopice (Figura 3). Spectrul în infraroșu apropiat prezintă o bandă de absorbție centrată pe lungimea de undă de 1 micron. Această bandă de absorbție este semnul clar al prezenței mineralelor bogate în siliciu, din categoria olivinei și piroxenui. Banda de absorbție de la 1 micron datorată olivinei este una complexă, asimetrică, și este legată de modul în care structura cristalină s-a constituit. Din studiile de planetologie comparată și din studiile de laborator s-a ajuns la concluzia că această bandă este o suprapunere de trei benzi de absorbție individuale. Acest spectru se aseamănă cu cel al meteoriților care se găsesc în abundență în colecțiile terestre: condritele ordinare (OC). Condritele ordinare sunt bucați de rocă în a căror matrice se întâlnesc sferule de materie

bogate în siliciu, numite *condre*. Aceste sferule s-au format în perioada timpurie, de acreție a norului de praf și gaz din nebuloasa planetară.

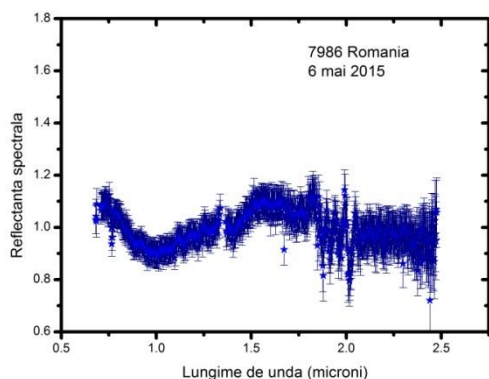


Figura 3. Spectrul asteroidului (7986) Romania observat în infraroșu apropiat.

### C. Asteroidul (357439) 2004 BL86

Asteroidul 2004 BL86 este un asteroid care intersectează orbita Pământului (un asteroid *geointersector*). Diametrul lui a fost estimat la 500 de metri. El face parte din categoria asteroizilor cu orbite haotice, potențial periculoase (PHA) pentru Pământ. În luna ianuarie 2015 a trecut la o distanță de aproximativ 1,2 milioane km de Pământ, eveniment rar, ce se poate întâmpla de 2-5 ori pe secol (următoarea fereastră favorabilă de observație de la sol va fi în anul 2050). Campania de observații spectroscopice inițiată cu această ocazie a permis obținerea unui spectru în regiunea din vizibil și spectrul în infraroșu apropiat în două nopți consecutive, în luna februarie 2015 (Figura 4). Spectrul obiectului prezintă două benzi de absorbție centrate pe lungimile de undă de la 1 și 1,9 micrometri. Banda centrată pe 1,9 micrometri prezintă mult zgomot în datele de observație, semn că prezența benzilor telurice nu a putut fi complet înlăturată din spectru. Dealtfel, dificultatea atenuării prezenței benzilor telurice este vizibilă în spectru și din datele figurii în jurul valorii de 1,45 micrometri.

Cele două benzi de absorbție prezente în spectrul asteroidului pun în evidență minerale din categoria piroxenului în regiunile de pe suprafața obiectului. Modelizarea mineralogică a spectrului ne indică o afinitate a suprafeței cu mineralele din categoria bazalturilor. Bazaltul este însă o rocă ce s-a constituit prin topirea elementelor și apoi solidificarea lor. Pe Pământ, aceasta rocă este intim legată de activitatea vulcanică.

Cunoaștem un astfel de spectru în populația asteroidală, printre asteroizii de mari dimensiuni. Asteroidul (4) Vesta este un obiect cu un spectru similar. Dimensiunea acestuia este de aproximativ 600 de km. Un corp cu astfel de dimensiuni poate suferi un proces de încălzire endogenă (o explicație ar fi încălzirea asteroidului produsă de dezintegrarea naturală a elementelor radioactive acumulate de obiect în momentul acreției) și apoi de răcire și diferențiere a obiectului în constituente: crustă, manta și nucleu.

Acest proces de diferențiere este însă improbabil în cazul unui asteroid de mici dimensiuni. Cel mai probabil asteroidul 2004 BL86 este un fragment al crustei unui asteroid diferențiat. Analogul meteoritic cel mai apropiat de datele spectrale ale asteroidului se afla în categoria meteoriților de tip howardite-eucrite-diogenite (HED) [4].

Obținerea spectrului de reflexie al unui asteroid permite impunerea de constrângeri asupra valorii albedoului termic al obiectului. Astfel, odată cunoscut profilul spectral al obiectului, estimarea diametrului s-a putut face cu precizie pentru valoarea de  $290 \pm 30$  de metri.

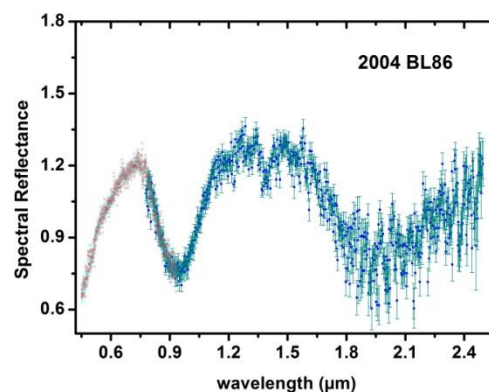


Figura 4. Primul spectru de reflexie compus al asteroidului (357439) 2004BL86 obținut în luna februarie 2015 utilizând telescoapele INT din insulele Canare și IRTF din insulele Hawaii.

## IV. CONCLUZIE

Tehnica spectroscopică pentru studiul asteroizilor își dovedește eficacitatea și permite studiul în profunzime al problematicilor de planetologie specifice acestor corpuri. Articolul exemplifică varietatea spectrală a populației asteroidale prin prezentarea spectrelor de reflexie a trei obiecte: (1154) Astronomia, (7986) Romania și (357439) 2004BL86.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] M. Birlan, A. Sonka, "Introducere în lumea asteroizilor" Editura Zorio 2018, ISBN: 978-606-8759-23-4.
- [2] M. Birlan, A. Nedelcu, "Reflectance spectrum of (1154) Astronomia", 2018, Romanian Astronomical Journal (în publicare).
- [3] M. Birlan, A. Sonka, R. Cornea, C. Danescu, R. Gherase, L. Hudin, și alții, "Romania observed from Romania: an educational program for observing asteroid (7698) Romania during its opposition in 2015" 2016, Romanian Astronomical Journal vol 26 n 2, pp 169-178
- [4] M. Birlan, M. Popescu, A. Nedelcu, V. Turcu, A. Pop, B. Dumitru, și alții "Characterization of (357439) 2004 BL86 on its close approach in 2015", 2015 Astronomy & Astrophysics vol 581, id A3.