

# Planete și exoplanete

**Rosa M. Ros**

Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Tehnică din Catalonia  
(Barcelona, Spania)

## Sumar

Acest workshop oferă o serie de activități destinate să permită compararea multor proprietăți observate (cum ar fi dimensiunea, distanțele, vitezele orbitale și vitezele de evadare) ale planetelor din sistemul nostru solar. Fiecare secțiune oferă contexte pentru diferitele tabele cu date planetare și oferă demonstrații sau calcule pentru a pune față în față proprietățile planetelor, dând elevilor un sens concret a ceea ce înseamnă datele colectate. Ca activitate finală, sunt explorate și comparate unele proprietăți ale sistemelor planetare extrasolare cu sistemul solar. În prezent, sunt utilizate câteva metode pentru a găsi exoplanete, mai mult sau mai puțin indirect. A fost posibil să fie detectate aproape 100 de sisteme planetare multiple. Un exemplu faimos este ilustrat în figura 1.

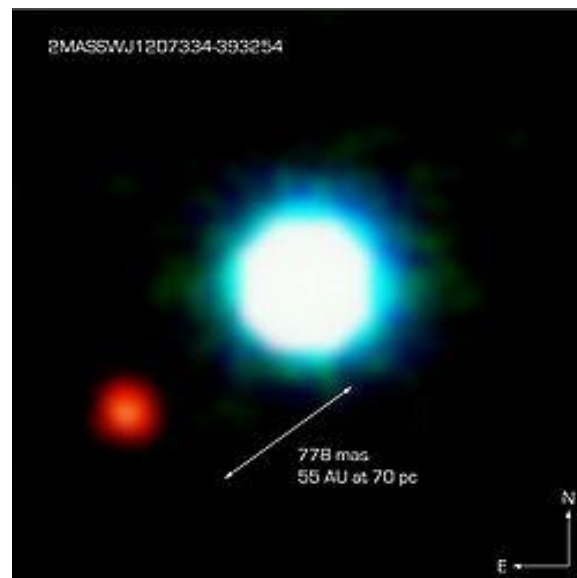


Fig. 1: Prima planetă observată direct: 2M1207b. Aceasta are o masă de 3,3 ori masa planetei Jupiter și are orbita la 41 *ua* față de pitica brună. În anul 2006, a fost descoperit un disc de praf în jurul stelei mamă, acesta a oferit dovada faptului că formarea planetei se poate derula într-un mod similar cu cel observat în cazul stelelor mult mai masive de tip solar. (Fotografia: ESO).

## Obiective

- Înțelegerea semnificației valorilor numerice din tabelele cu date referitoare la sistemul solar.
- Deducerea razei orbitale și a perioadei orbitale a sateliților Galileeni ai lui Jupiter folosind un set de observații fotografice.

- Calcularea masei lui Jupiter cu ajutorul legii a treia a lui Kepler.
- Înțelegerea caracteristicilor principale ale sistemelor planetare extrasolare prin compararea proprietăților lor cu sistemul orbital format din planeta Jupiter și sateliții săi Galileeni.

## Sistemul solar și tabelele cu date

Prin crearea de modele la scară ale sistemului solar elevii vor compara diferiți parametri planetari. Pentru a realiza aceste activități vom utiliza datele din Tabelul 1.

Planete	Diametrul (km)	Distanța față de Soare (km)
Soare	1 392 000	
Mercur	4 878	57,9 $10^6$
Venus	12 180	108,3 $10^6$
Pământ	12 756	149,7 $10^6$
Marte	6 760	228,1 $10^6$
Jupiter	142 800	778,7 $10^6$
Saturn	120 000	1 430,1 $10^6$
Uranus	50 000	2 876,5 $10^6$
Neptun	49 000	4 506,6 $10^6$

Table 1: Datele corespunzătoare corpurilor din sistemul solar

În toate cazurile, scopul principal al modelului este de a face datele inteligibile. Milioane de kilometri nu sunt distanțe care să fie ușor de conceptualizat. Însă, dacă acestea sunt translatate la distanțe și dimensiuni la scară, de regulă, elevii reușesc să le înțeleagă mai ușor.

## Modelul sistemului solar

### Modele de diametre

Folosim o bucată mare (sau mai multe bucăți dacă este necesar) de hârtie galbenă tăiată în formă de cerc care reprezintă Soarele. Dimensiunea Soarelui este reprezentată la scară ca fiind 139 cm în diametru, astfel încât 1 cm corespunde la 10 000 km. Se taie diferitele planete din hârtie groasă sau din carton și se reprezintă caracteristicile lor morfologice. Prin așezarea planetelor în apropierea discului solar elevii pot estima diferitele scări la care pot fi reprezentate planete.

Pentru o scară de 1 cm la 10 000 km, folosiți următoarele valori pentru diametrele planetelor: Soare 139 cm, Mercur 0,5 cm, Venus 1,2 cm, Pământ 1,3 cm, Marte 0,7 cm, Jupiter 14,3 cm, Saturn 12,0 cm, Uranus 5,0 cm și Neptun 4,9 cm.

Sugestie: Este, de asemenea, posibil să se completeze modelul anterior prin pictarea planetelor pe un tricou păstrând scara pentru planete și pictând doar o fracțiune din Soare.



Fig. 2a și 2b: Exemple de tricouri care prezintă comparații între diametrele Soarelui și cele ale planetelor

### Modelarea distanțelor

Prin compararea distanțelor dintre planete și Soare putem produce un alt model care este ușor de realizat pe holul oricărei școli. Mai întâi, tăiați pur și simplu benzi din carton de 10 cm lățime, lipiți-le una după alta pentru a obține o bandă lungă de câțiva metri (figura 3). Apoi așezați planetele decupate pe banda obținută la distanțele lor corecte față de Soare și unele față de altele. Reamintiți elevilor faptul că distanțele dintre planete nu sunt la scară cu diametrele. La scara sugerată, planetele ar fi de zece mii de ori mai mici decât cele de aici, în care am folosit 1 cm la 10 000 000 km, în timp ce în prima activitate de mai sus am folosit 1 cm la 10 000 km. Dacă folosim o scară de 1 cm la 10 milioane de km, distanțele la scară sunt: Mercur 6 cm, Venus 11 cm, Pământul 15 cm, Marte 23 cm, Jupiter 78 cm, Saturn 143 cm, Uranus 288 cm și Neptun 450 cm.



Fig. 3: Modelarea distanțelor.

Sugestie: O variantă amuzantă a acestui model constă în utilizarea pentru reprezentarea la scară a secvențelor unei role de hârtie igienică. De exemplu, se poate lua ca scară o porțiune de hârtie pentru fiecare 20 milioane de km.

## Modelarea diametrelor și distanțelor

Următoarea provocare este de a combina cele două activități de mai sus și a obține un model care reprezintă corpurile de reprezentat la scară, precum și distanțele corespunzătoare dintre ele. De fapt, nu este chiar atât de ușor de definit o scară care să ne permită să reprezentăm planetele cu ajutorul unor obiecte care să nu fie prea mici și totodată să se păstreze distanțele care nu sunt foarte mari, caz în care dimensiunile și distanțele nu sunt asimilate, iar modelul nu este foarte util elevilor. Ca sugestie, ar putea fi o bună idee să se apeleze la curtea școlii pentru a realiza modelul și să se folosească mingi pentru a ilustra planetele, mingi de diferite diametre existente și în dotarea școlii.



Fig. 4: Soarele și planetele în modelul diametrelor și distanțelor.

Ca un exemplu, oferim o posibilă soluție. La un capăt al curții școlii se așează o minge de baschet cu diametrul de 25 cm care reprezintă Soarele. Mercur va fi vârful unui ac (diametru de 1 mm) așezat la 10 m față de Soare. Vârful unui ac mai gros (diametrul de 2 mm) va reprezenta planeta Venus la 19 m față de Soare, în timp ce Pământul va fi capul unui ac similar cu anteriorul (2 mm) la 27 m față de Soare. Marte este un ac ceva mai mic (1 mm), situat la 41 m față de Soare. De obicei, curtea obișnuită a unei școli se termină la această distanță, dacă nu și mai repede. Va trebui să așezăm celelalte planete în alte locuri în afara curții școlii dar în locuri apropiate școlii, astfel încât elevii să fie familiarizați cu distanțele. O minge de ping-pong (diametrul de 2.5 cm) corespunde lui Jupiter la 140 m față de Soare. O altă minge de ping-pong (diametrul de 2 cm) va fi Saturn la 250 m față de Soare, o bilă de sticlă (diametrul de 1 cm) va reprezenta Uranus la 500 m față de Soare, iar o ultimă bilă (1 cm), situată la 800 m, va reprezenta Neptun.

Trebuie subliniat că acest sistem planetar nu se potrivește în orice școală. Dacă reducem distanțele, atunci planetele vor fi mai mici decât vârful unui ac și ar fi aproape imposibil de vizualizat. Ca sarcină finală, se poate calcula ce scară a fost folosită pentru a dezvolta acest model.



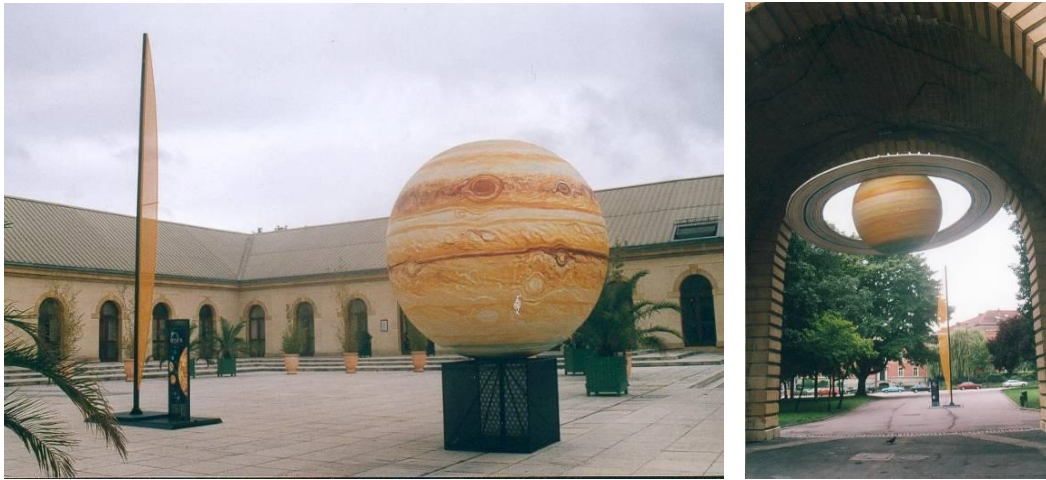


Fig. 6a și 6b: Fotografii ale orașului Metz.

În orașul Metz (Franța) există un sistem solar amplasat pe străzile și în piețele orașului, cu planetele corespunzătoare însoțite de panouri cu informații pentru trecători și turiști.

### Modele ale distanțelor pentru lumină

În astronomie se obișnuiește a se utiliza anul-lumină ca unitate de măsură, ceea ce poate fi adesea confundat cu o unitate de măsură a timpului. Acest concept poate fi ilustrat cu ajutorul unui model al sistemului solar. Deoarece viteza luminii este  $c = 300.000 \text{ km/s.}$ , distanța care corespunde unei secunde este 300.000 km. De exemplu, pentru a călători de la Lună la Pământ, cele două corpuri cerești fiind la o distanță de 384.000 km, lumina are nevoie de  $384.000/300.000 = 1,3$  secunde.

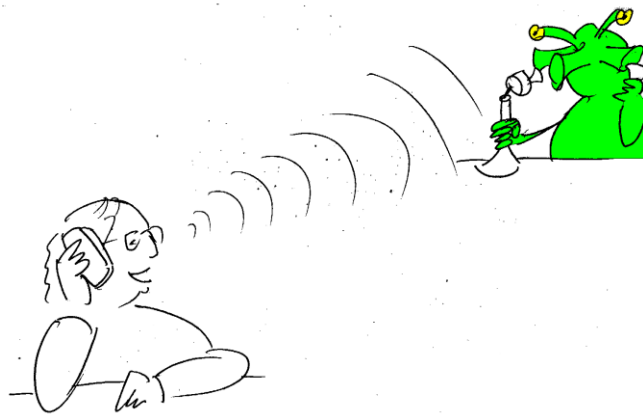


Fig. 7: Un alt exemplu

Folosind aceste unități, vom învăța elevii să calculeze timpul necesar luminii Soarelui pentru a ajunge la fiecare dintre planetele sistemului solar. (Pentru profesor, redăm aici timpii necesari: timpul necesar luminii soarelui să ajungă la Mercur este 3,3 minute, la Venus sunt necesare 6,0 minute, la Pământ 8,3 minute, la Marte 12,7 minute, la Jupiter 43,2 minute, la

Saturn 1,32 ore, la Uranus 2,66 ore și la Neptun, 4,16 ore.

Puteți solicita elevilor să-și imagineze cum ar arăta o video-conferință între Soare și oricare dintre planetele sistemului solar.

### Modelul dimensiunii aparente a discului solar de pe fiecare planetă

De pe o planetă, de exemplu Pământul, Soarele subîntinde un unghi  $\alpha$  (figura 8). Pentru valori foarte mici ale lui  $\alpha$ , se poate lua  $\tan \alpha \approx \alpha$  (în radiani)

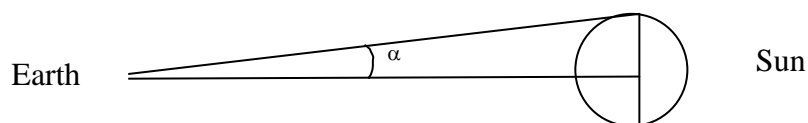


Fig. 8: De pe Pământ Soarele subîntinde un unghi  $\alpha$ .

Știind că diametrul Soarelui este  $1,4 \times 10^6$  km, adică o rază de  $0,7 \times 10^6$  km și că distanța Pământ-Soare este  $150 \times 10^6$  km, se poate deduce:

$$\alpha \approx \tan \alpha = \frac{0,7 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^6} = 0,0045 \text{ radians}$$

și, în grade:

$$\frac{0,0045 \cdot 180}{\pi} = 0,255^\circ$$

Adică, de pe Pământ, Soarele are o dimensiune de  $2 \times 0,255 \approx 0,51^\circ$ , deci, aproximativ, o jumătate de grad. Repetând același procedeu pentru fiecare planetă, prezentăm rezultatele în tabelul 2 și putem reprezenta dimensiunile lor relative (figura 9).

Planete	$\tan \alpha$	$\alpha$ (°)	$\alpha$ (°) aprox.
Mercur	0,024	1,383	1,4
Venus	0,0129	0,743	0,7
Marte	0,006	0,352	0,4
Jupiter	0,0018	0,1031	0,1
Saturn	0,000979	0,057	0,06
Uranus	0,00048	0,02786	0,03
Neptun	0,0003	0,0178	0,02

Tabelul 2: Rezultatele pentru diferite planete.

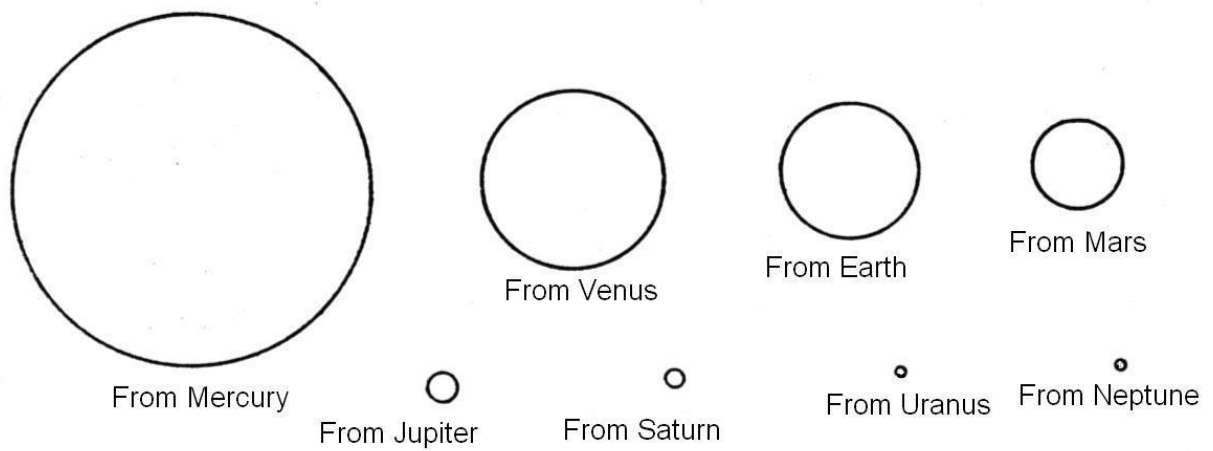


Fig. 9: Soarele văzut de pe fiecare planetă: Mercur, Venus, Pământ, Marte, Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun.

### Model pentru densități

Obiectivul acestui model este de a căuta exemple de materiale care pot fi manipulate ușor și care au o densitate similară cu fiecare dintre corpurile care alcătuiesc sistemul solar, cu scopul ca elevii să aibă posibilitatea de a "le simți cu propriile mâini."

	Densitatea ( $\text{g/cm}^3$ )
Soare	1,41
Mercur	5,41
Venus	5,25
Pământ	5,52
Luna	3,33
Marte	3,9
Jupiter	1,33
Saturn	0,71
Uranus	1,3
Neptun	1,7

Tabelul 3: Densitățile corpurilor din sistemul solar





Fig. 10: Modelul densităților

Din tabelul 3 al densităților planetare, se compară pur și simplu cu densitățile diferitelor minerale (de regulă, în fiecare școală există o colecție de materiale) sau cu exemplare al altor materiale care sunt ușor de găsit cum ar fi sticla, ceramica, lemnul, material plastic etc.. Tabelul următor (Tabelul 4) prezintă câteva exemple de astfel de materiale împreună cu densitățile lor.

Minerale	Densitate	Alte materiale	Densitate
Ipsos	2,3	Glicerină	1,3
Ortoclaz	2,6	Plută	0,24
Sulf	1,1-2,2	Aluminiu	2,7
Alită	2	Fier	7,86
Cuarț	2,65	Ciment	2,7 – 3,1
Borax	1,7	Sticlă	2,4 – 2,8
Blendă	4	Cositor	7,3
Pirită	5,2	Argilă	1,8 – 2,5
Eritrocit	5,4	Bachelită	1,25
Calcit	2,7	Stejar	0,90
Galenă	7,5	Pin	0,55

Tabelul 4: Exemple de densități ale unor materiale

Atunci când se folosesc materiale care nu sunt incluse în Tabelul 4, este foarte ușor de calculat densitatea acestora. Pur și simplu se ia o porțiune din materialul respectiv, se cântărește pentru a-i afla masa,  $m$ , apoi se scufundă într-un vas cu apă pentru a-i măsura volumul  $V$ . Densitatea  $d$  a materialului va fi

$$d = \frac{m}{V}$$

Elevii ar trebui să observe că Saturn ar "pluti" în apă, deoarece densitatea sa este mai mică decât 1.

## Modelul turtirii planetelor

Pentru a vizualiza deformarea (turtirea) planetelor gazoase datorită forței centrifuge generate de propria lor rotație vom construi un model simplu.

Așa cum se poate observa din figura 9, cu ajutorul unui bețișor și al câtorva panglici din carton, se poate realiza acest model simplu care reproduce turtirea planetelor din sistemul solar datorită rotației.

1. Tăiați câteva panglici de carton cu dimensiunea de 35 cm pe 1 cm.
2. Atașați ambele capete ale panglicilor din carton pe un bețișor cilindric lung de 50 cm. Atașați capetele de sus ale panglicilor de bețișor astfel încât să nu se poată mișca dar să permită capetelor de jos să se miște liber de-a lungul bețișorului.

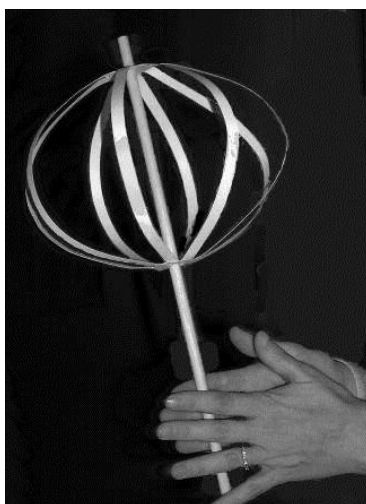


Fig. 11: Model pentru simularea turtirii datorită rotației

3. Puneți în mișcare bețișorul răsucindu-l între cele două palme, rapid când într-un sens, când în sens opus. Veți putea observa modul în care forța centrifugă deformează benzile din carton (figura 11) într-un mod asemănător celui în care acționează asupra planetelor.

## Model pentru vitezele orbitale ale planetelor

Este bine știut faptul că nu toate planetele orbitează în jurul Soarelui cu aceeași viteză (tabelul 5).

Planeta	Viteza orbitală medie (km/s)	Distanța față de Soare (km)
Mercur	47,87	$57,9 \cdot 10^6$
Venus	35,02	$108,3 \cdot 10^6$
Pământ	29,50	$149,7 \cdot 10^6$
Marte	24,13	$228,1 \cdot 10^6$
Jupiter	13,07	$778,7 \cdot 10^6$

Saturn	9,67	1 430,1 10 <sup>6</sup>
Uranus	6,84	2 876,5 10 <sup>6</sup>
Neptun	5,48	4 506,6 10 <sup>6</sup>

Tabelul 5: Datele orbitale pentru corpurile din sistemul solar

După cum se poate observa, cel mai rapid este Mercur care este și cel mai aproape și cel mai lent este Neptun care este cel mai departe. Romanii observaseră deja faptul că Mercur este cea mai rapidă planetă și de aceea a fost identificat cu mesagerul zeilor și l-au reprezentat cu picioare înaripate. Chiar dacă observăm cu ochiul liber, este posibil să spunem că Jupiter și Saturn se mișcă mult mai lent de-a lungul constelațiilor zodiacale decât o fac Venus și Marte, de exemplu.

Din legea a treia a lui Kepler:  $P^2/a^3 = K$ , s-a dedus că viteza orbitală descrește atunci când distanța crește.

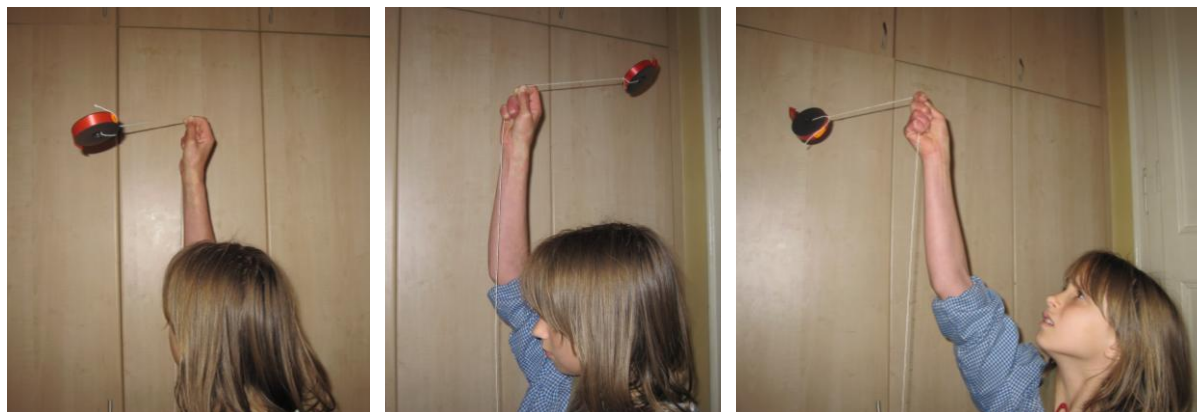


Fig. 12a, 12b și 12c: Simularea mișcării circulare a planetelor.

Pentru a vedea această relație, există de asemenea o modalitate simplă pentru a simți această experiență. Începem prin a lega un obiect greu, cum ar fi o nucă de o bucată de sfoară. Dacă ținem sfoara de capătul opus obiectului greu, rotim obiectul într-o mișcare circulară deasupra capului. Putem vedea apoi că dacă eliberăm sfoara în timp ce o rotim (lăsând sfoara mai lungă), obiectul va pierde din viteza sa. Invers, dacă scurtăm sfoara, acesta va câștiga viteză. De fapt, aceasta (vezi legea a treia a lui Kepler) este o consecință a conservării momentului cinetic.

Putem apoi dezvolta un model al sistemului solar format din nuci și bucăți de sfoară având lungimea proporțională cu raza orbitelor planetare (presupunând, din nou, că toate se deplasează pe orbite circulare). Oricum, în loc de a tăia o bucată separată pentru fiecare planetă, se taie toate bucățile la o lungime de cca 20 cm. Apoi, folosind o relație potrivită de reprezentare la scară, se măsoară distanța corectă de la obiectul greu și se face un semn corespunzător acestui punct. Apoi, sfoara poate fi ținută în poziția în care am făcut semnul în timp ce rotim obiectul greu.

Pentru a utiliza modelul trebuie să ținem sfoara în dreptul semnelor pe care l-am făcut și să-l

rotim deasupra capetelor noastre într-un plan paralel cu solul cu viteza minimă posibil care îl păstrează pe orbită. Vom vedea că această viteză este mai mare în cazurile în care raza este mai mică.

### Model pentru gravitațiile superficiale

Formula pentru forța gravitațională  $F = G \frac{Mm}{d^2}$  ne permite să calculăm gravitația superficială care acționează pe suprafața oricărei planete. Considerând masa ca fiind egală cu unitatea ( $m = 1$ ) la suprafața planetei ( $d = R$ ), vom obține  $g = \frac{GM}{R^2}$ . Dacă înlocuim apoi masa planetei cu  $M = 4/3 \pi R^3 \rho$ , găsim:

$$g = 4/3 \pi G \rho R$$

unde  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  este constanta universală a gravitației,  $\rho$  este densitatea și  $R$  este raza planetei. Înlocuind aceste ultime două mărimi cu valorile prezentate în Tabelul 1, putem calcula valoarea gravitației superficiale,  $g$ , pentru toate planetele.

Planeta	R raza ecuatorială (km)	g gravitația superficială	$\rho$ Densitatea
Mercur	2439	0,378	5,4
Venus	6052	0,894	5,3
Pământul	6378	1,000	5,5
Marte	3397	0,379	3,9
Jupiter	71492	2,540	1,3
Saturn	60268	1,070	0,7
Uranus	25559	0,800	1,2
Neptun	25269	1,200	1,7

Tabelul 6: Gravitația Superficială și densitățile corpurilor din sistemul solar

Să vedem câteva exemple:

$$g_{mercury} = 4/3 \pi G 5.4 \cdot 2439 = 3.7,$$

$$g_{venus} = 4/3 \pi G 5.3 \cdot 6052 = 8.9.$$

Analog, putem calcula  $g$  pentru celelalte planete. (Rezultatele corespunzătoare sunt: Marte: 3,7, Jupiter: 24,9, Saturn: 10,5, Uranus: 7,8 și Neptun: 11,8)

### Modelul cântarelor de baie

În acest caz, scopul modelului este de a dezvolta un set de 9 cântare de baie (8 planete și Luna), astfel încât elevii să poată simula cântărirea propriei persoane pe fiecare dintre planete și pe Lună.

Deoarece procesul este același pentru fiecare planetă, vom prezenta în detaliu numai exemplul unei planete. Ideea este de a demonta un cântar de baie și de a înlocui discul etalonat pentru

masa pe Pământ cu un altul care să fie calibrat corespunzător cântării pe o altă planetă.

1. Mai întâi, desfacem cântarul. În cazul majorității cântarelor, există două resorturi care asigură fixarea față de bază. Țineți minte că va trebui să le fixăm înapoi împreună (figurile 13a și 13b).
2. Odată deschis, discul cântarului trebuie îndepărtat, fie pentru a-l înlocui, fie pentru a fi trasat cu greutatele specifice planetei.
3. În tabelul care urmează sunt prezentate gravitațiile superficiale ale Lunii și ale diferitelor planete din sistemul solar. Pe o coloană sunt prezentate accelerațiile gravitaționale exprimate în valori absolute ( $m \cdot s^{-2}$ ), iar pe cealaltă aceeași mărime în valori relative față de accelerația gravitațională terestră. Aceste valori sunt cele pe care le vom utiliza pentru a transforma unitățile de masă “terestră” în unitățile proporționale de masă pe alte planete.
4. În final, vom închide din nou cântarul și putem vedea cât am cântări pe o altă planetă.

	Accelerația gravitațională ( $m \cdot s^{-2}$ )	Accelerația gravitațională (T=1)
Luna	1,62	0,16
Mercur	3,70	0,37
Venus	8,87	0,86
Pământul	9,80	1,00
Marte	3,71	0,38
Jupiter	23,12	2,36
Saturn	8,96	0,91
Uranus	8,69	0,88
Neptun	11,00	1,12

Tabelul 7: Accelerațiile gravitaționale pentru fiecare corp din sistemul solar.



Fig.13a și 13b: Cântare de baie cu discul înlocuit.



Fig. 14: Modelul sistemului solar cu ajutorul cântarelor de baie.

## Modele de cratere

Majoritatea craterelor din sistemul solar nu sunt de natură vulcanică ci sunt rezultatul căderii meteoriților pe suprafețele planetelor și sateliților.

1. Mai întâi, acoperiți parchetul cu ziare vechi astfel încât să-l protejați să nu se murdărească.
2. Turnați un strat de 2-3 cm de făină într-o tavă, distribuind-o atent astfel încât suprafața să fie foarte netedă.
3. Turnați un strat de câțiva milimetri de praf de cacao deasupra făinii (figura 15a).
4. De la o înălțime de circa 2 metri lăsați să cadă un proiectil: o lingură de praf de cacao. Căderea va lăsa urme similare celor ale craterelor de impact (figura 15b).
5. Se poate experimenta folosind diferite înălțimi, diferite tipuri, forme și mase etc. ale proiectilelor. În unele cazuri, se poate obține chiar un crater având un vârf central.



Fig. 15a: Simularea craterelor.



Fig. 15b: Craterele rezultate.

## Modelul vitezelor de evadare

Dacă viteza de lansare a unei rachete nu este suficient de mare, forța gravitațională a planetei va determina racheta să cadă înapoi pe suprafața planetei. Dacă viteza de lansare este suficient de mare, atunci racheta scapă de câmpul gravitațional al planetei. Să calculăm valoarea vitezei deasupra căreia o rachetă poate scăpa, adică viteza minimă de lansare sau viteza de evadare.

Luând în considerare legile mișcării uniform accelerate,

$$e = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t$$

$$v = at + v_0,$$

dacă înlocuim accelerația cu  $g$  și considerăm viteza inițială  $v_0$  ca fiind zero, găsim că la suprafața planetei  $R = \frac{1}{2} gt^2$  și, mai mult,  $v = gt$ . După eliminarea timpului, găsim

$$v = \sqrt{2gR},$$

unde putem înlocui valorile  $g$  și  $R$  cu valorile care sunt prezentate în următorul tabel pentru a calcula viteza de evadare pentru fiecare planetă.

Planeta	$R$ raza ecuatorială (km)	$g$ accelerația gravitațională redusă
Mercur	2439	0,378
Venus	6052	0,894
Pământul	6378	1,000
Marte	3397	0,379
Jupiter	71492	2,540
Saturn	60268	1,070
Uranus	25559	0,800
Neptun	25269	1,200

Tabelul 8: Raza și accelerația gravitațională ale corpurilor din sistemul solar.

Ca un exemplu, calculăm viteza de evadare a unor planete. De exemplu:

Pentru Pământ,  $v_{earth} = \sqrt{2gR} = (2 \cdot 9,81 \cdot 6378)^{1/2} = 11,2$  km/s.

Pentru cea mai mică planetă, Mercur,  $v_{mercury} = (2 \cdot 9,81 \cdot 0,378 \cdot 2439)^{1/2} = 4,2$  km/s.

Și pentru cea mai mare planetă, Jupiter,  $v_{jupiter} = (2 \cdot 9,81 \cdot 2,540 \cdot 2439)^{1/2} = 60,9$  km/s.

Este clar că este mai ușor să se lanseze o rachetă de pe Mercur decât de pe Pământ dar este mai dificil să se lanseze o rachetă de pe Jupiter, unde viteza de evadare este aprox. 60 km/s.

(Pentru a compara rezultatele, putem folosi valorile acceptate pentru viteza de evadare a fiecărui corp din sistemul solar, care sunt următoarele: Mercur 4,3 km/s, Venus 10,3 km/s, Pământ 11,2 km/s, Marte 5,0 km/s, Jupiter 59,5 km/s, Saturn 35,6 km/s, Uranus 21,2 km/s,

Neptun 23,6 km/s. După cum se poate vedea, calculele simple pe care le-am făcut dau rezultate acceptabile.)

### Modelul unei rachete cu ajutorul unei tablete efervescente

Ca un exemplu de rachetă care poate fi lansată în mod sigur în sala de clasă, propunem următoarea rachetă, care utilizează pentru propulsie o aspirină sau o tabletă efervescentă. Începem prin a tăia modelul de rachetă pe liniile continue și apoi continuăm cu lipirea acestora pe liniile punctate ca în fotografie.

Vom utiliza o capsulă din material plastic cum ar fi un recipient de film, asigurându-ne să se potrivească atent capsula în interiorul cilindrului rachetei. Apoi, fixăm cele trei triunghiuri ca suporturi pe corpul rachetei și, la final, adăugăm conul în vârful cilindrului (figurile 16a, 16b, 16c, 16d, 17, 18, 19a, 19b, 19c)



Fig. 16a, 16b, 16c și 16d: Procesul în patru imagini.

După construirea rachetei, trebuie să efectuăm lansarea. Pentru aceasta, vom turna apă în capsula de plastic până la aproximativ  $\frac{1}{3}$  din înălțime (cca 1 cm). Adăugăm  $\frac{1}{4}$  dintr-o tabletă efervescentă de aspirină (sau altă tabletă efervescentă). Fixăm banda și racheta deasupra capsulei. După cca 1 minut, racheta decolează. Evident, putem repeta de câte ori dorim acest proces (cel puțin  $\frac{3}{4}$  din tableta de aspirină rămâne, astfel încât ne putem bucura mult timp pansând rachete!).



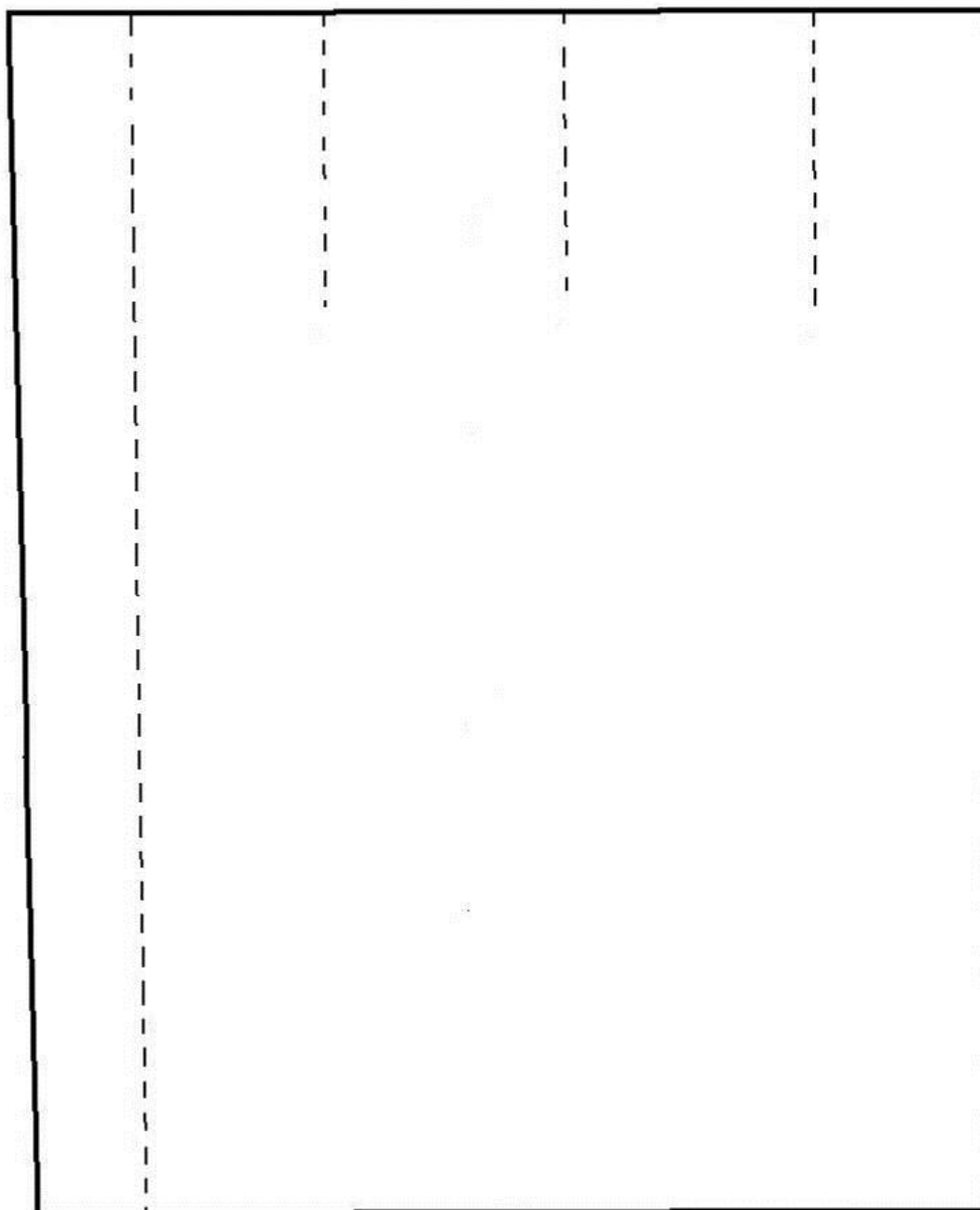


Fig. 19a: Corpul rachetei. Lipiți aripioare pe zona punctată.



Fig. 17: Exemple de rachete.

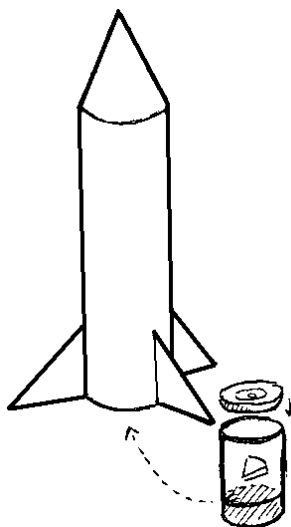


Fig. 18: Schema simplificată

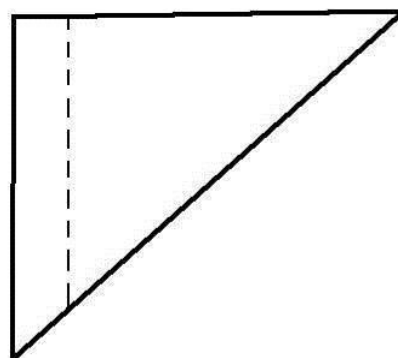


Fig. 19b: Modelul pentru cele trei aripi.

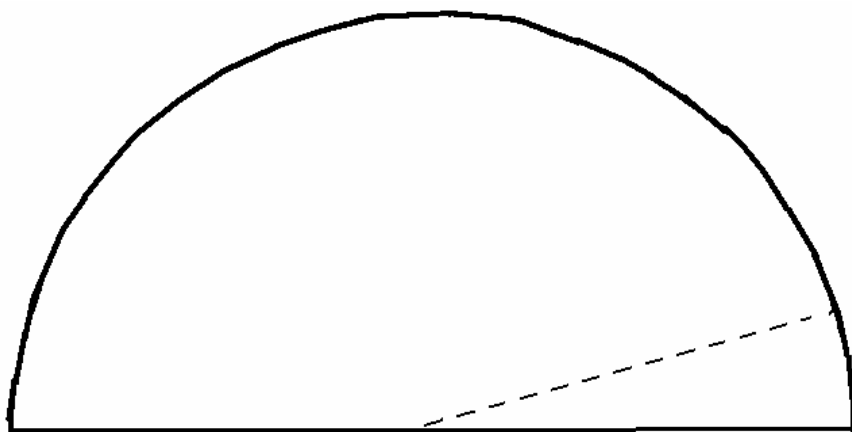


Fig. 19c: Conul rachetei.

## Modelul pentru sistemele exoplanetare

Laboratorul Jet Propulsion (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>) deține un catalog al obiectelor planetare descoperite în afara sistemului nostru solar. El conține mai mult de 2000 de candidați planetari și mai mult de 700 de planete confirmate. Acestea sunt denumite exoplanete (prescurtare pentru planete extrasolare); majoritatea sunt similare sau mai masive decât Jupiter, care este cea mai mare planetă din sistemul nostru solar. Acesta este motivul pentru care deseori noi comparăm masele planetelor extrasolare cu masa lui Jupiter ( $1,9 \cdot 10^{27}$  kg). Doar câteva dintre exoplanete sunt similare ca masă cu Pământul dar acest rezultat se datorează cel mai probabil obstacolelor de natură observațională, deoarece cele mai recente tehnici de detecție sunt mai performante pentru detectarea obiectelor masive.

În această secțiune, vom lua în considerare unele exemple de sisteme planetare extrasolare care au mai mult de trei planete cunoscute.

Nomenclatura exoplanetelor este simplă. O literă este plasată după numele steii, începând cu "b" pentru prima planetă descoperită în sistemul respectiv (ex. 51 Pegas b). Următoarea planetă detectată în sistem este notată cu următoarea literă din alfabet: c, d, e, f, etc (51 Pegas c, 51 Pegas d, 51 Pegasi e sau 51 Pegasi f).

Numele planetei	Distanța medie <i>ua</i>	Perioada orbitală, zile	Masa minimă*, Mase ale lui Jupiter	Data descoperirii an	Diametrul**, km
Ups și b	0,059	4,617	0,69	1996	~Jupiter 124 000
Ups și c	0,83	241,52	1,98	1999	~Jupiter 176 000
Ups și d	2,51	1274,6	3,95	1999	~Jupiter 221 000
<i>Gl 581 e</i>	<i>0,03</i>	<i>3,149</i>	<i>0,006</i>	<i>2009</i>	<i>Terestrel 16000</i>
<i>Gl 581 b</i>	<i>0,04</i>	<i>5,368</i>	<i>0,049</i>	<i>2005</i>	<i>Terestre 32 000</i>
<i>Gl 581 c</i>	<i>0,07</i>	<i>12,929</i>	<i>0,016</i>	<i>2i007</i>	<i>Terestre 22 000</i>
<i>Gl 581g(neconfirmată)</i>	<i>0,14</i>	<i>36,562</i>	<i>0,009</i>	<i>2005</i>	<i>Terestre 18 000</i>
<i>Gl 581 d</i>	<i>0,22</i>	<i>68,8</i>	<i>0,024</i>	<i>2010</i>	<i>Terestre 25000</i>
<i>Gl 581 f(neconfirmată)</i>	<i>0,76</i>	<i>433</i>	<i>0,021</i>	<i>2010</i>	<i>Terestre 24000</i>

Tabelul 9: Sisteme extrasolare cu multiple planete (trei sau mai multe). Date oferite de *Extrasolar Planets Catalog*<sup>2</sup> (cu excepția ultimei coloane). \* Metoda vitezei radiale oferă doar masa minimă a planetei. \*\* Diametrul prezentat în ultima coloană a Tabelului 1 a fost calculată presupunând că densitatea planetei este egală cu densitatea lui Jupiter (1330 kg/m<sup>3</sup>) pentru planetele gazoase. Pentru planetele considerate de tip terestru, diametrul a fost calculat folosind densitatea Pământului (5520 kg/m<sup>3</sup>).

Unele exoplanete sunt situate foarte aproape de steaua centrală, de exemplu Gliese 876 care are orbite mai apropiate decât are Mercur față de Soare. Alte sisteme extrasolare au planete situate la distanțe mult mai mari (HD 8799 are un sistem planetar format din trei planete situate aproximativ la fel de departe ca și Neptun față de Soare.) O modalitate posibilă pentru a dispune aceste date constă în a construi modele la scară ale unui anumit sistem planetar. Aceasta ne permite să comparăm diferitele sisteme planetare între ele și cu sistemul nostru solar.

Numele planetei	Distanța medie, <i>ua</i>	Perioada orbitală, ani	Masa, Mase ale lui Jupiter	Diametrul, km
Mercur	0,3871	0,2409	0,0002	4879
Venus	0,7233	0,6152	0,0026	12.104
Pământul	1,0000	1,0000	0,0032	12.756
Marte	1,5237	1,8809	0,0003	6794
Jupiter	5,2026	11,8631	1	142.984
Saturn	9,5549	29,4714	0,2994	120.536
Uranus	19,2185	84,04	0,0456	51.118
Neptun	30,1104	164,80	0,0541	49.528

Tabelul 10: Planetele sistemului solar.

În prezent știm că există exoplanete în jurul diferitelor tipuri de stele. În anul 1992, radioastronomii au anunțat descoperirea unor planete în jurul pulsarului PSR 1257 +12. În anul 1995, a fost anunțată prima detectare a unei exoplanete în jurul unei stele de tip G, 51 Pegas și de atunci au mai fost descoperite, printre altele, exoplanete pe orbite în jurul: unei pitice roșii (Gliese 876 în 1998), unei stele gigant (Iota Draconis în 2001), unei pitice maro (2M1207 în 2004), unei stele tip K (HD40307 în 2008) și unei stele tip A (Fomalhaut în 2008).

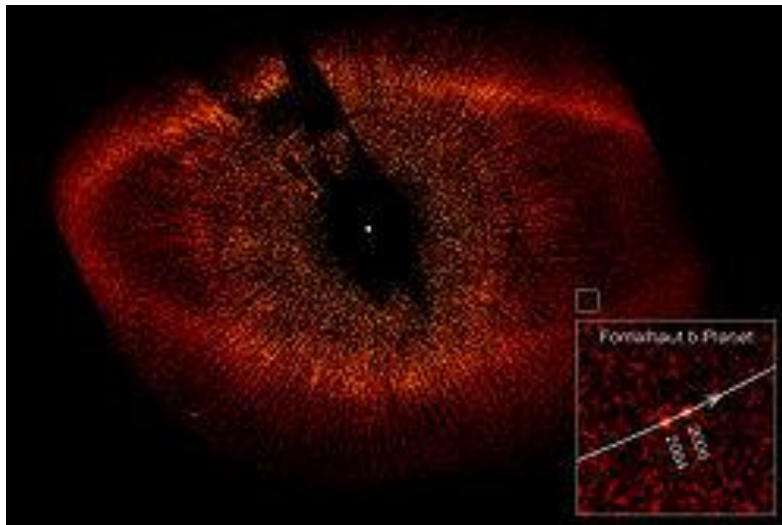


Fig. 20: Planeta Fomalhaut b situată într-un disc, de praf/deșeuri într-o imagine obținută cu ajutorul telescopului spațial Hubble (foto:NASA).

### Determinarea diametrului exoplanetelor

Mai întâi, vom calcula diametrul câtorva exoplanete prezentate în Tabelul 9.

Putem realiza acest lucru considerând că densitatea exoplanetei este cunoscută. În cazul nostru, considerăm că planetele gazoase au aceeași densitate ca și Jupiter și că exoplanetele de tip terestru au aceeași densitate ca și Pământul. Prin definiție, densitatea unui corp de masă  $m$  este dată de expresia:  $\rho = m/V$

Masa  $m$  a exoplanetei este dată în tabelul 8, iar volumul  $V$  poate fi obținut considerând planeta ca fiind o sferă:  $V = 4 \pi R^3/3$

Dacă înlocuim această formulă în cea anterioară putem obține raza exoplanetei:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\rho}}$$

Propunem ca cititorul să calculeze diametrul exoplanetei Gliese 581d (exoplanetă de tip terestru) presupunând că densitatea sa este  $\rho = 5520 \text{ kg/m}^3$  (densitatea Pământului). Apoi să

repete calculul pentru o exoplanetă ne-terestră, cum ar fi primul sistem planetar multiplu care a fost descoperit în jurul stelei de pe secvența principală, Upsilon Andromedae. Acest sistem constă din trei planete, toate similare cu Jupiter: planetele Upsilon b, c și d. Se calculează diametrele lor, considerând  $\rho = 1330 \text{ kg/m}^3$  (densitatea lui Jupiter) și se compară rezultatele cu cele prezentate în Tabelul 9.

Folosind aceste rezultate și distanța medie prezentată în Tabelul 9, putem produce un model în următoarea secțiune.

### Determinarea masei stelei centrale

Folosind valorile din tabelul 9 și legea a treia a lui Kepler, putem determina masa stelei centrale  $M$ . Legea a treia a lui Kepler afirmă că, pentru o planetă având perioada  $P$  și o orbită de rază  $a$ ,  $a^3/P^2$  este o constantă. Putem demonstra că această constantă este masa stelei centrale, exprimată în mase solare. Dacă vom considera că mișcarea exoplanetelor în jurul stelei este pe o orbită circulară de rază  $a$ , putem scrie:

$$m v^2/a = G M m / a^2$$

Pentru o mișcare circulară, viteza  $v$  este  $v^2 = G M / a$ . Perioada  $P$  pentru mișcarea circulară este  $P = 2 \pi a/v$ . Atunci, când introducem valoarea lui  $v$ , deducem că:

$$P^2 = 4 \pi^2 a^3 / (G M)$$

și, pentru fiecare exoplanetă, folosind legea a treia a lui Kepler,

$$a^3 / P^2 = (G M) / (4 \pi^2).$$

Dacă scriem relația precedentă pentru mișcarea Pământului în jurul Soarelui, folosind  $P=1$  an și  $a=1 \text{ ua}$ , deducem următoarea ecuație:

$$1 = (G M_s) / (4 \pi^2)$$

Împărțind ultimele două egalități și considerând masa Soarelui ca fiind unitatea, obținem:

$$a^3 / P^2 = M,$$

unde  $a$  este raza orbitei (în  $ua$ ),  $P$  este perioada de revoluție (în ani). Această relație ne permite să determinăm masa stelei centrale în unități de mase solare.

Exprimând aceeași relație în unități diferite, putem scrie:

$$M = 0,0395 \cdot 10^{-18} a^3 / P^2$$

unde  $a$  este raza orbitei exoplanetei (în km),  $P$  este perioada de revoluție a exoplanetei (în zile) și  $M$  este masa stelei centrale (în mase solare).

De exemplu, să calculăm masa stelelor Upsilon A și Gl 581 în mase solare (rezultatul ar trebui să fie egal cu 1,03 și respectiv 0,03 mase solare).

### Modelul la scară al unui sistem exoplanetar

În primul rând vom alege scara modelului. Pentru distanțe, scara cea mai potrivită este:  $1 \text{ ua} = 1 \text{ m}$ . În acest caz toate exoplanetele se potrivesc pentru dimensiunile unei săli de clasă ca și primele cinci planete din sistemul nostru solar. Dacă această activitate este realizată în afara sălii de clasă (de ex., în curtea școlii), atunci putem construi un model complet. Este necesar să fie folosită o scară diferită pentru dimensiunea planetei, de exemplu:  $10.000 \text{ km} = 0,5 \text{ cm}$ . În acest caz, cea mai mare planetă, Jupiter, are un diametru de  $7 \text{ cm}$ , iar cea mai mică planetă (Mercur) va avea un diametru de  $0,2 \text{ cm}$ .

Acum putem consttui sistemul solar, sistemele Upsilon Andromedae și Gliese 581 folosind valorile distanței medii din Tabelele 9 și 10, precum și diametrele calculate anterior.

În ultimii câțiva ani am aflat că există diverse configurații ale sistemelor planetare. Unele exoplanete orbitează în jurul stelelor lor mult mai aproape decât orice planetă din sistemul nostru solar în jurul Soarelui. Alte exoplanete sunt situate mai aproape de steaua lor centrală decât este Mercur față de Soare. Asta înseamnă că ele sunt foarte fierbinți. O altă diferență este că multe planete mari sunt situate aproape de stelele lor.

Partea interioară a unui astfel de sistem solar este populată cu planete mici, stâncoase, iar prima dintre planetele gazoase gigant, cum ar fi Jupiter, este la  $5,2 \text{ ua}$  față de Soare. Se crede ca aceste diferențe se datorează în principal unor obstacole observaționale. De exemplu, metoda vitezei radiale este mai sensibilă în cazul în care planetele au orbite mai mici și sunt mai masive. Dar putem presupune că majoritatea exoplanetelor au orbite mult mai mari. Acest lucru pare plauzibil pentru majoritatea sistemelor exoplanetare, care au una sau două planete gigant cu orbite similare ca dimensiune cu cele ale lui Jupiter și Saturn.

Luăm în considerare acum capacitatea exoplanetelor de a putea fi locuite. Zona locuibilă este regiunea din jurul unei stele în care o planetă cu o valoare suficientă a presiunii atmosferice poate, de asemenea, menține apa în stare lichidă pe suprafața. Aceasta este o definiție conservativă și este restrânsă la viață, așa cum o cunoaștem pe Pământ. Unii oameni de știință au sugerat să se includă și zonele echivalente din jurul stelelor unde pot exista în stare lichidă, stabilă alți compuși cu proprietăți de solvent, cum ar fi amoniacul și metanul.

Calculare aproximativă indică faptul că zona locuibilă a unui sistem solar, zona în care poate exista apa în stare lichidă (adică unde temperatura are valori în intervalul de la  $0^\circ$  la  $100^\circ\text{C}$ ), este cuprinsă de la  $0,56$  la  $1,04 \text{ ua}$ . Limita interioară a acestei zone se situează între orbitele lui Mercur și Venus, iar limita exterioară este imediat în afara orbitei Pământului. Doar două planete din sistemul solar (Venus și Pământul) se află în interiorul zonei locuibile (zona albastră din figura 21). Așa cum știm, numai Pământul este locuit, deoarece Venus este prea fierbinte (dar numai datorită efectului de seră puternic de pe această planetă).

Se pare că Gliese 581d este un exemplu de exoplanetă de tip terestru situată în interiorul zonei locuibile a propriei sale stele și ar putea fi un candidat potențial pentru viața extraterestră.

Pe de altă parte, Gliese 581 c ar putea fi situată în interiorul zonei locuibile a steii sale. Durata mișcării sale orbitale este de 13 zile și este situată de 14 ori mai aproape de steaua sa decât distanța la care se află Pământul față de Soare. În orice caz, cu cât steaua are o dimensiune mai mică, cu atât este mai probabilă existența unei distanțe favorabile pentru ca pe planetă să poată exista apă în stare lichidă, care să ofere posibilitatea vieții. Raza unei astfel de planete este de 1,5 ori față de cea a Pământului și aceasta indică faptul că este un corp stâncos. Temperatura sa este cuprinsă între 0°C și 40°C, ceea ce face posibilă existența din abundență a apei lichide. Problema este că aceasta are orientată spre steaua sa tot timpul aceeași față. Acest comportament ar putea sugera că planeta ar putea fi stâncoasă ca Pământul sau că ar putea fi acoperită de oceane. Totuși, în contrast, unele studii indică faptul că această planetă suferă de un semnificativ efect de seră ca și Venus.

Gliese 581 g este prima exoplanetă, încă neconfirmată, descoperită în interiorul zonei locuibile și care are o valoare suficientă a gravitației pentru a păstra o atmosferă (masa de 3 până la 4 ori masa Pământului), precum și valori adecvate ale temperaturii pentru a exista apă în stare lichidă (-31° C la -12° C ).

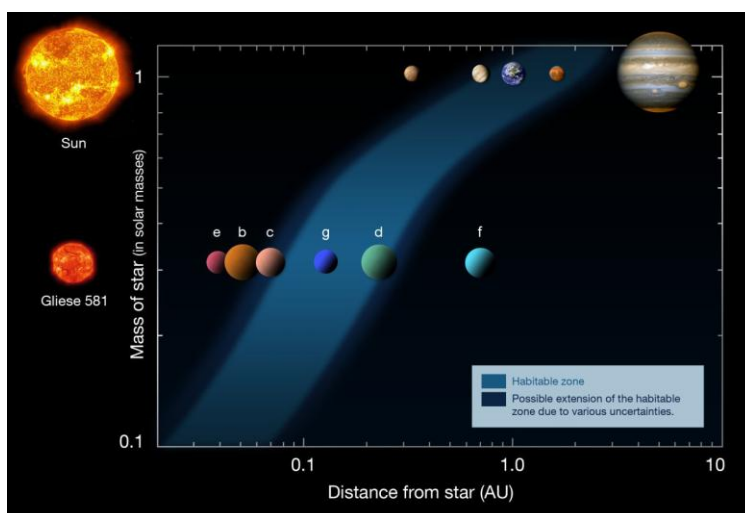


Fig. 21: Zona locuibilă. Comparație între sistemul solar și sistemul exoplanetelor din Gliese 581. Regiunea colorată cu albastru indică zona în care ar putea exista viață așa cum o cunoaștem pe Pământ.

Gliese 581 e este una dintre cele mai mici exoplanete care a fost descoperită până în prezent. Masa sa este 1,7 masa Pământului, ceea ce o face să fie cea mai mică planetă descoperită și totodată cea mai apropiată ca dimensiune cu Pământul, deși are o orbită foarte apropiată de steaua sa la 0,03 *ua*. Acest fapt face dificilă păstrarea unei atmosfere și situează zona sa locuibilă în apropierea steii sale, ceea ce înseamnă că are temperaturi de peste 100°C. La astfel de temperaturi, nu mai există apă în stare lichidă și viața așa cum o cunoaștem nu este posibilă.

Există încă multe întrebări fără răspuns referitor la proprietățile exoplanetelor și mai este mult de învățat despre proprietățile și caracteristicile lor.

## Bibliografie

- Berthomieu, F., Ros, R.M., Viñuales, E., *Satellites of Jupiter observed by Galileo and Roemer in the 17<sup>th</sup> century*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona, 2006.
- Gaitsch, R., *Searching for Extrasolar Planets*, Proceedings of 10<sup>th</sup> EAAE International Summer School, Barcelona 2006.
- Ros, R.M., *A simple rocket model*, Proceedings of 8th EAAE International Summer School, 249, 250, Barcelona, 2004.
- Ros, R.M., *Measuring the Moon's Mountains*, Proceedings of 7th EAAE International Summer School, 137, 156, Barcelona, 2003.
- Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., *Sistema Solar Actividades para el Aula*, Antares, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Viñuales, E., *Determination of Jupiter's Mass*, Proceedings of 1st EAAE International Summer School, 223, 233, Barcelona, 1997.
- Ros, R.M., Viñuales, E., Saurina, C., *Astronomía: Fotografía y Telescopio*, Mira Editores, Zaragoza, 1993.
- Vilks I., *Models of extra-solar planetary systems*, Proceedings of 10<sup>th</sup> EAAE International Summer School, Barcelona 2006.