



Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
Associazione di Promozione Sociale
Piazza G. Miani 2 - 33047 Remanzacco (UD) – ITALY - c.f.:
80024500300 Lat. N.46° 05' 11.26" - Long. E. 13° 18' 59.85" - Stazione
Astronomica MPC 473
Sito web: www.afamweb.com
Contatti: afam.star@gmail.com - afam.edu@gmail.com

Calcoliamo la finestra di lancio per un viaggio su Marte

Fonte **JPL- California Institute of Technology**

traduzione: Paolo Corelli

v.1/26.2.23

Scopo della lezione

- 1 utilizzo di calcoli algebrici per determinare le posizioni della Terra e di Marte in funzione di un trasferimento su astronave a bassa energia dalla Terra a Marte
- 2 combinare questa informazione con i dati delle posizioni planetarie per determinare la prossima finestra di lancio verso Marte

Materiali

- 1- carta millimetrata e Stecca
- 2- foglio di cartoncino 28 x 22 cm
- 3- due puntine da disegno
- 4- spago approssimativamente 30 cm
- 5- calcolatore tascabile
- 6- longitudini eliocentriche dei pianeti riferiti all'epoca del calcolo (da ricercare su internet)

Ambiente di lavoro

Prevedere per gli studenti un luogo dove possono sedersi su un tappeto da pavimento quando si utilizzeranno puntine e spago per realizzare un ellissi. Il tappeto eviterà l'uscita delle puntine sul pavimento che potrebbero attraversare il cartoncino. In alternativa gli studenti possono utilizzare più cartoncini sovrapposti o un cartone di base più spesso.

Elementi fondamentali dell'esercitazione

Quando un veicolo spaziale viene lanciato dalla Terra, la sua velocità di fuga combinata con l'attrazione gravitazionale della Terra, lo fa viaggiare lungo un percorso curvo. Mentre la navicella si dirige verso un altro pianeta, l'attrazione gravitazionale di quel pianeta, influisce sul percorso che la navicella sta seguendo. Più un veicolo spaziale può muoversi a motori spenti, minore sarà il costo della missione. (il carburante per razzi non è economico).



Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
Associazione di Promozione Sociale

Piazza G. Miani 2 - 33047 Remanzacco (UD) – ITALY - c.f.:
80024500300 Lat. N.46° 05' 11.26" - Long. E. 13° 18' 59.85" - Stazione
Astronomica MPC 473

Sito web: www.afamweb.com

Contatti: afam.star@gmail.com - afam.edu@gmail.com

Pensa a un giocatore che lancia una palla ad un ricevitore (Baseball). L'impulso iniziale (lancio) è tutto ciò che il pallone ottiene per quanto riguarda la potenza. Il pallone segue un percorso verso le mani del ricevitore. Allo stesso modo, il lanciatore, lancerà il pallone dove si verrà a trovare il ricevitore, non necessariamente dove si trova al momento del lancio. Quindi il lanciatore tira il pallone verso il campo mentre il ricevitore sta correndo in quella direzione. In un passaggio eseguito perfettamente, la velocità del ricevitore in corsa lo porterà nel punto esatto in cui il pallone arriverà, per bloccarlo all'altezza delle sue mani.

Un lancio verso Marte è un po' simile a questo. Un veicolo spaziale riceve un impulso iniziale (lancio) verso Marte poi spegne i suoi motori e procede per inerzia, obbedendo alla prima legge di Newton finché non si avvicina al suo obiettivo. A seconda della missione, la navicella può rallentare per entrare in orbita o scendere, utilizzando l'atmosfera marziana o i retrorazzi che spingono in direzione opposta alla direzione di viaggio, obbedendo alla terza legge di Newton.

Sebbene un veicolo spaziale possa seguire una varietà di percorsi curvi dalla Terra a Marte, uno solo, chiamato orbita di trasferimento di Hohmann, utilizza la minima energia ed è quindi considerato il più efficiente. Il trasferimento di Hohmann è un'orbita ellittica, con il Sole in uno dei fuochi dell'ellisse, che interseca l'orbita del pianeta bersaglio.

Il lancio avviene quando la Terra si trova al perielio di Hohmann (il punto dell'orbita di Hohmann più vicino al Sole). L'arrivo avviene quando Marte si trova all'afelio di Hohmann (il punto dell'orbita di Hohmann più lontano dal Sole).

A seconda degli obiettivi della missione e delle caratteristiche del veicolo spaziale, gli ingegneri apporteranno variazioni all'orbita di trasferimento di Hohmann per portare il veicolo spaziale su Marte. Queste variazioni possono rendere il tempo del viaggio più o meno lungo rispetto ad un trasferimento Hohmann standard. Per assicurarsi che la navicella spaziale e Marte arrivino nello stesso luogo e allo stesso momento, la navicella deve essere lanciata entro una determinata finestra temporale. Questa finestra è chiamata "finestra di lancio" e, a seconda dell'obiettivo, può durare da pochi minuti fino a qualche settimana. Se un veicolo spaziale viene lanciato troppo presto o troppo tardi arriverà all'appuntamento ma non troverà il pianeta.

Quando viene lanciato all'interno della corretta finestra di lancio, il veicolo spaziale arriverà nell'orbita del pianeta proprio mentre il pianeta sta arrivando nello stesso punto. A questo punto il veicolo spaziale è posizionato per entrare in orbita intorno al pianeta o per scendere sulla sua superficie. Il calcolo delle traiettorie dell'orbita e delle finestre di lancio è un compito complesso che coinvolge una varietà di parametri che possono o meno cambiare

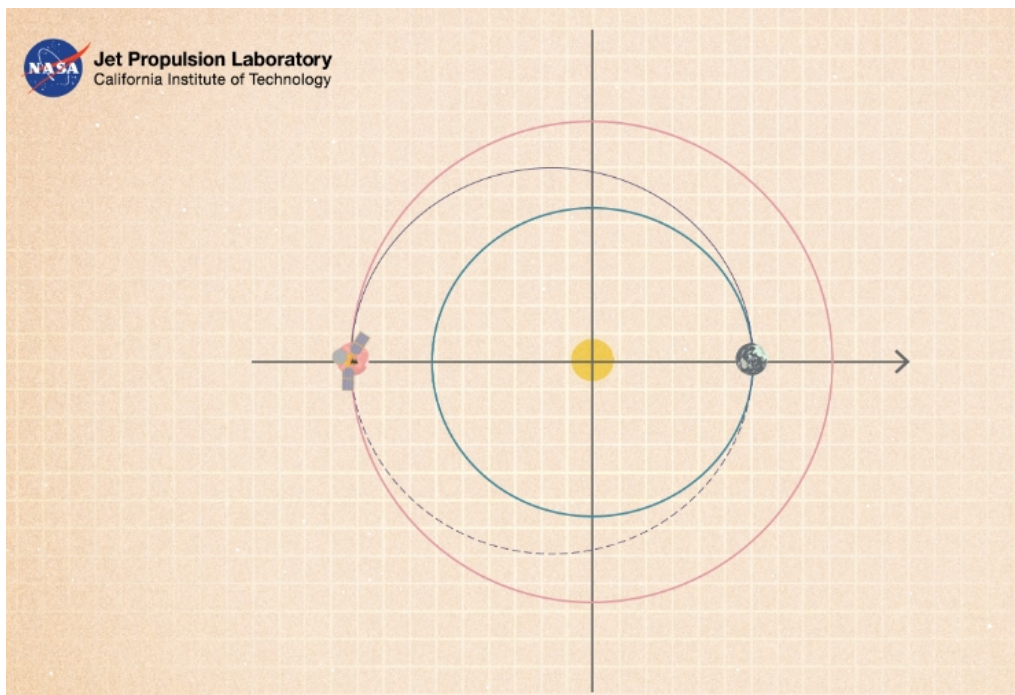


Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
Associazione di Promozione Sociale
Piazza G. Miani 2 - 33047 Remanzacco (UD) – ITALY - c.f. :
80024500300 Lat. N.46° 05' 11.26" - Long. E. 13° 18' 59.85" - Stazione
Astronomica MPC 473
Sito web: www.afamweb.com
Contatti: afam.star@gmail.com - afam.edu@gmail.com

continuamente. Per rendere questo compito accessibile agli studenti delle scuole superiori, alcuni parametri variabili sono stati stabilizzati e sono state fatte alcune ipotesi. Questo problema, con queste semplificazioni, permette agli studenti di calcolare con buona approssimazione una finestra per il lancio verso Marte.

Procedimento

1. Spiegate agli studenti che il lancio verso Marte richiede che un veicolo spaziale viaggi in un'orbita ellittica attorno al sole in modo tale che il veicolo spaziale e Marte arrivino nello stesso posto lo stesso momento. Il loro compito, in questo esercizio, è determinare quando dovremmo lanciare la navicella verso Marte.
2. Spiegate che l'orbita più efficiente dal punto di vista energetico di questo tipo è chiamata orbita di trasferimento di Hohmann, in cui il veicolo spaziale percorrerà metà di un'orbita attorno al sole, lasciando la Terra al perielio dell'orbita e arrivando a Marte (o qualsiasi altro pianeta esterno) all'afelio dell'orbita



3. Ricordate agli studenti la seconda legge di Keplero, la legge delle aree uguali: una linea tracciata da un pianeta al Sole spazza aree uguali in eguali quantità di tempo.

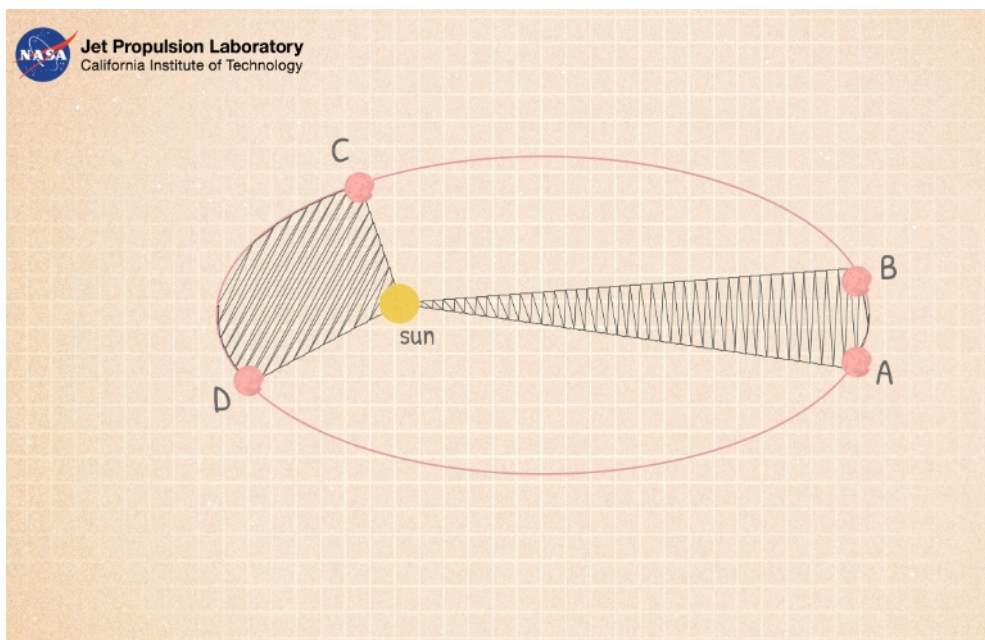


Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
Associazione di Promozione Sociale

Piazza G. Miani 2 - 33047 Remanzacco (UD) - ITALY - c.f. :
80024500300 Lat. N.46° 05' 11.26" - Long. E. 13° 18' 59.85" - Stazione
Astronomica MPC 473

Sito web: www.afamweb.com

Contatti: afam.star@gmail.com - afam.edu@gmail.com



4. Spiegate agli studenti che il lancio di un veicolo spaziale, considerando le dinamiche orbitali dei pianeti, è un compito matematico molto complesso. Per semplificare il compito, verranno fatte tre ipotesi. (**attenzione**: nessuna di queste ipotesi è vera, ma l'utilizzo di queste semplificazioni consentirà comunque un calcolo abbastanza accurato della finestra di lancio).
- Le orbite della Terra e di Marte sono circolari con al centro il Sole (l'orbita terrestre è più circolare di quella di Marte ma **entrambe sono leggermente ellittiche**)
 - La Terra e Marte viaggiano a velocità costanti (**non lo fanno**; vedi la seconda legge di Keplero)
 - Le orbite della terra e di Marte giacciono sullo stesso piano (sono vicini ma **leggermente fuori piano** l'uno rispetto all'altro)
5. Spiegate agli studenti il concetto di longitudine eliocentrica. Questa è la posizione di un oggetto rispetto al Sole, misurata verso est lungo l'eclittica, (percorso della terra intorno al sole a partire dall'equinozio di primavera - posizione nello spazio in cui l'eclittica interseca l'equatore celeste che corrisponde al primo d'ariete o **punto gamma**).
- Proprio come le longitudini sulla terra misurano la posizione rispetto ad un punto fisso, (il **meridiano di Greenwich**), le longitudini eliocentriche misurano la posizione nello spazio lungo l'eclittica rispetto al **punto gamma**.

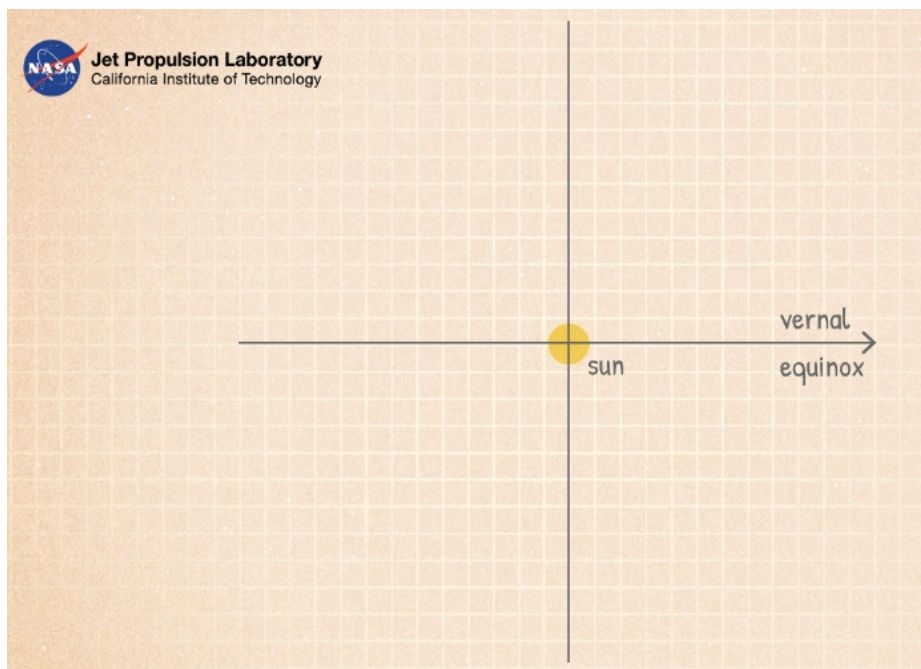


Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
Associazione di Promozione Sociale

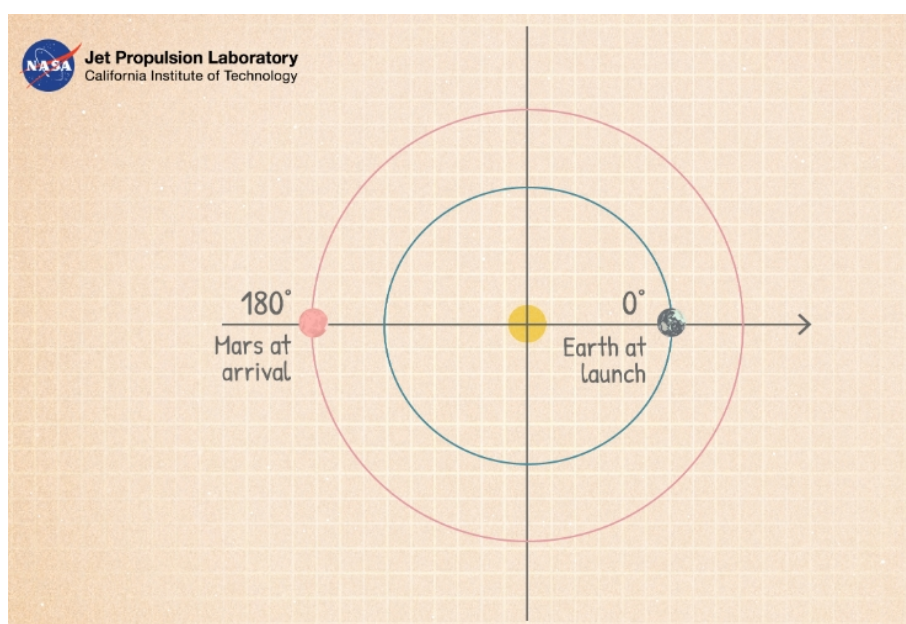
Piazza G. Miani 2 - 33047 Remanzacco (UD) - ITALY - c.f.:
80024500300 Lat. N. 46° 05' 11.26" - Long. E. 13° 18' 59.85" - Stazione
Astronomica MPC 473

Sito web: www.afamweb.com

Contatti: afam.star@gmail.com - afam.edu@gmail.com



6. Chiedete agli studenti di trovare la lunghezza del semiasse maggiore dell'orbita di trasferimento in unità astronomiche (UA) considerato che la distanza media da Marte al Sole è di 1,52 UA





Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
Associazione di Promozione Sociale

Piazza G. Miani 2 - 33047 Remanzacco (UD) - ITALY - c.f. :
80024500300 Lat. N.46° 05' 11.26" - Long. E. 13° 18' 59.85" - Stazione
Astronomica MPC 473

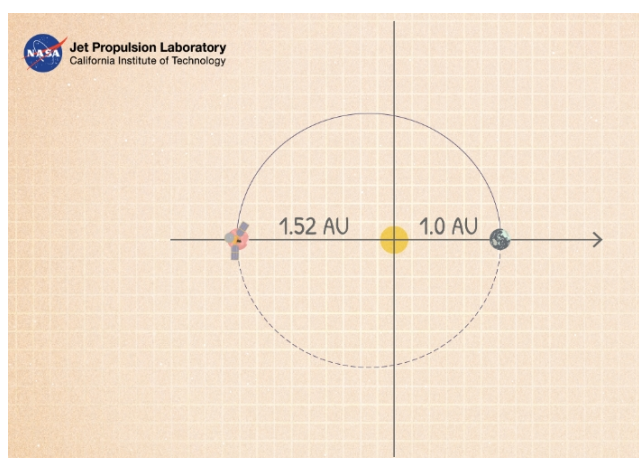
Sito web: www.afamweb.com

Contatti: afam.star@gmail.com - afam.edu@gmail.com

7. Chiedete agli studenti di usare spago e puntine da disegno per disegnare le orbite presunte circolari della Terra e di Marte attorno al Sole e la approssimazione dell'orbita di trasferimento di Hohmann su carta millimetrata come da esempio allegato. Gli studenti dovranno calcolare la posizione del secondo fuoco (un fuoco è il Sole) per l'orbita di trasferimento Hohmann; la distanza focale è 0,26 unità astronomiche (distanza dei fuochi dal centro dell'ellisse) quindi il primo fuoco sarà 0.0, 0.0 (il sole) mentre il secondo fuoco sarà - 0.52, 0.0.



Per disegnare l'orbita di trasferimento di Hohmann, posizionare una puntina da disegno in corrispondenza di ciascun fuoco dell'ellisse e utilizzare un anello di spago di lunghezza pari al doppio della somma della lunghezza del semiasse maggiore dell'ellisse e della distanza fra i fuochi (gli studenti possono derivare questo dato utilizzando la formula per l'ellissi)



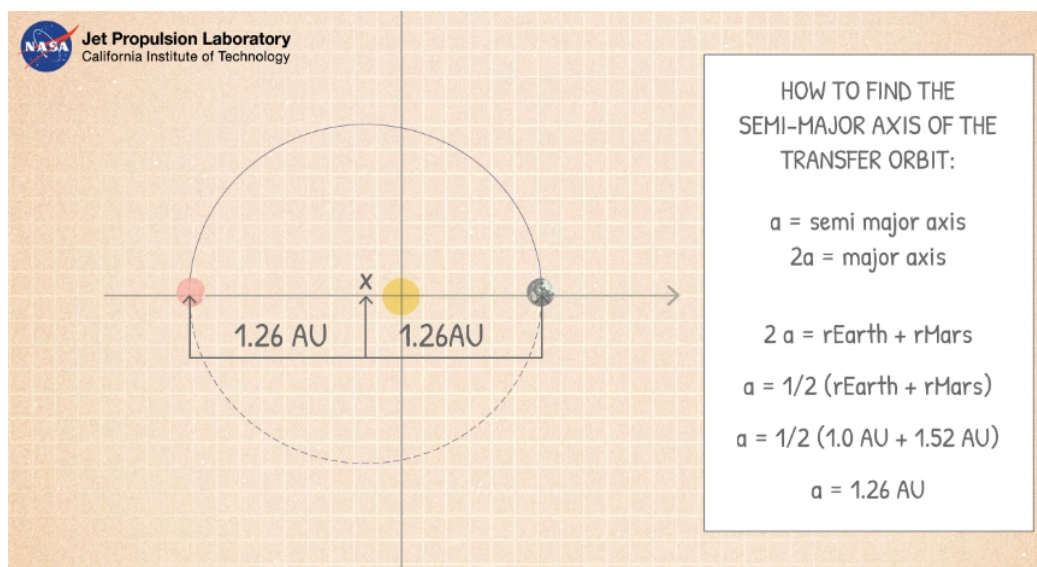


Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
Associazione di Promozione Sociale

Piazza G. Miani 2 - 33047 Remanzacco (UD) – ITALY - c.f.:
 80024500300 Lat. N.46° 05' 11.26" - Long. E. 13° 18' 59.85" - Stazione
 Astronomica MPC 473

Sito web: www.afamweb.com

Contatti: afam.star@gmail.com - afam.edu@gmail.com



8. Chiedete agli studenti di utilizzare la terza legge di Keplero, la legge dell'Armonia, per determinare il periodo dell'orbita di trasferimento di Hohmann e quindi il tempo di viaggio verso Marte lungo quest'orbita. La terza legge di Keplero afferma che il quadrato del periodo di rivoluzione di qualunque pianeta è proporzionale al cubo del semiasse maggiore della sua orbita. un'equazione che rappresenta questa legge è la seguente:

$$P^2 = ka^3$$

dove k è una costante di proporzionalità

Utilizzando la Terra come esempio, possiamo misurare P in anni e "a" in unità astronomiche, così se P = 1 anno e a = 1 UA, abbiamo $P^2 = ka^3$ (k=1), $P^2 = a^3$
 Per la nostra orbita avremo:

$$P^2 = (1,26 \text{ UA})^3 = \sqrt{2,00} = 1,41 \text{ anni} = 517 \text{ giorni}$$

Il periodo completo per questa orbita di trasferimento è di 517 giorni. Il trasferimento su Marte prevede quindi di percorrere la metà dell'orbita completa, approssimativamente 259 giorni.

9. Utilizzando il moto giornaliero di Marte e della Terra, calcolare la posizione relativa ideale della Terra e di Marte al momento del lancio.



Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
Associazione di Promozione Sociale

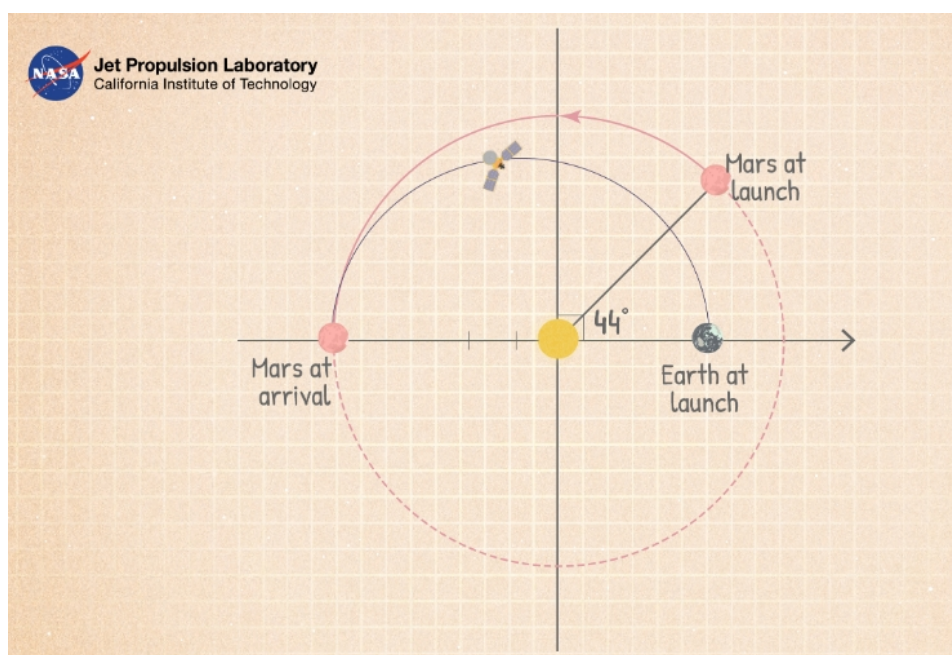
Piazza G. Miani 2 - 33047 Remanzacco (UD) – ITALY - c.f.:
80024500300 Lat. N.46° 05' 11.26" - Long. E. 13° 18' 59.85" - Stazione
Astronomica MPC 473

Sito web: www.afamweb.com

Contatti: afam.star@gmail.com - afam.edu@gmail.com

Marte completa una rivoluzione intorno al sole (360°) in 687 giorni, ciò significa che si sposta di $0,524^\circ$ al giorno ($360^\circ/687$ giorni). In 259 giorni (il tempo di trasferimento dalla Terra a Marte lungo l'orbita di Hohmann) Marte si sarà spostato di 136° ($0,524 \times 259$).

Per calcolare la posizione di Marte al momento del lancio, sottrarre la quantità del suo spostamento durante il tempo di viaggio della navicella (136°) dal punto di arrivo 180° , (quindi $180 - 136 = 44^\circ$). Considerando che il lancio dalla Terra è stato effettuato al perielio dell'orbita (il punto più vicino al Sole) e l'arrivo è all'afelio dell'orbita di Hohmann (punto più lontano del Sole) possiamo concludere che un'opportunità di lancio si verificherà quando Marte si trova di 44° più avanti sulla sua orbita rispetto alla Terra.



10. Utilizzando le longitudini planetarie eliocentriche approssimativamente quando ci sarà la prossima finestra di lancio per Marte?

Discussione

- Perché una navicella spaziale deve essere lanciata nel momento esatto della finestra di lancio? Cosa succede se si lancia in anticipo o in ritardo?
- Ricercate: qual è la lunghezza media di una finestra di lancio per arrivare su Marte?



Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
Associazione di Promozione Sociale

Piazza G. Miani 2 - 33047 Remanzacco (UD) – ITALY - c.f. :
80024500300 Lat. N.46° 05' 11.26" - Long. E. 13° 18' 59.85" - Stazione
Astronomica MPC 473

Sito web: www.afamweb.com

Contatti: afam.star@gmail.com - afam.edu@gmail.com

Estensioni

- Approssimativamente quando è stata la finestra più recente per il lancio verso Marte?
Quale paese è risultato avvantaggiato da questa finestra e ha effettuato un lancio verso Marte in quel momento? Qual'è l'attuale stato di quelle missioni?
Sono state un successo?
- Gli studenti hanno creato un foglio elettronico per sottrarre le longitudini geocentriche per la Terra e per Marte per semplificare il calcolo delle finestre di lancio?
- Rispetto a Marte in quale punto dell'orbita si trova la Terra quando la navicella ha raggiunto il pianeta rosso?