

한국의 달 및 소행성 탐사 계획

경희대학교 후마니타스 칼리지 김성수

한국의 태양계 탐사 계획

- Korea Pathfinder Lunar Orbiter
 - 한국의 첫 달궤도 탐사선
 - 2022년 여름 발사 계획
 - 탑재체: 고해상도 카메라, 과학기기 4개, 통신실험장비 1개
- NASA Commercial Lunar Payload Services
 - NASA CLPS 프로그램(2019~29)에 유일한 국제 파트너로 한국이 참여
 - 2022년부터 1년에 2~3 차례 씩 계속 달 착륙선을 보낼 예정
 - 한국에서 만든 4개의 과학기기가 2024~26년 착륙선에 포함될 예정
- Rendezvous Mission to Apophis Asteroid
 - 2004년에 발견된 수백 미터 크기의 지구 근접 소행성으로, 2029년 4월에 3만8천 km 까지 지구에 접근 (~정지궤도 고도; 0.1 x 달 공전 반경)
 - 천문연에서 2027년 발사를 목표로 예타 준비 중

Korea Pathfinder Lunar Orbiter

- KPLO 사업
 - 2016~2022년, 항우연 주관
 - 탑재체 참여기관: 천문연, 경희대, 지자연, ETRI, U. of Arizona
 - 과학탑재체
 - PolCam: 광시야 편광 카메라(천문연). 최초의 달 궤도 숲 월면 편광 탐사 표토의 입자 크기 및 월면 노출 시간(나이/He-3) 추정.
 - KMAG: 자력계(경희대). 국부 자기 이상 측정.
 - KGRS: 감마선 분광기(지자연). 표토 성분 측정.
 - ShadowCam: 극지역의 영구음영지역 관찰(UA). 반사광을 통해 얼음을 탐지.



PolCam (17x12x6.2 cm, 3.0 kg)

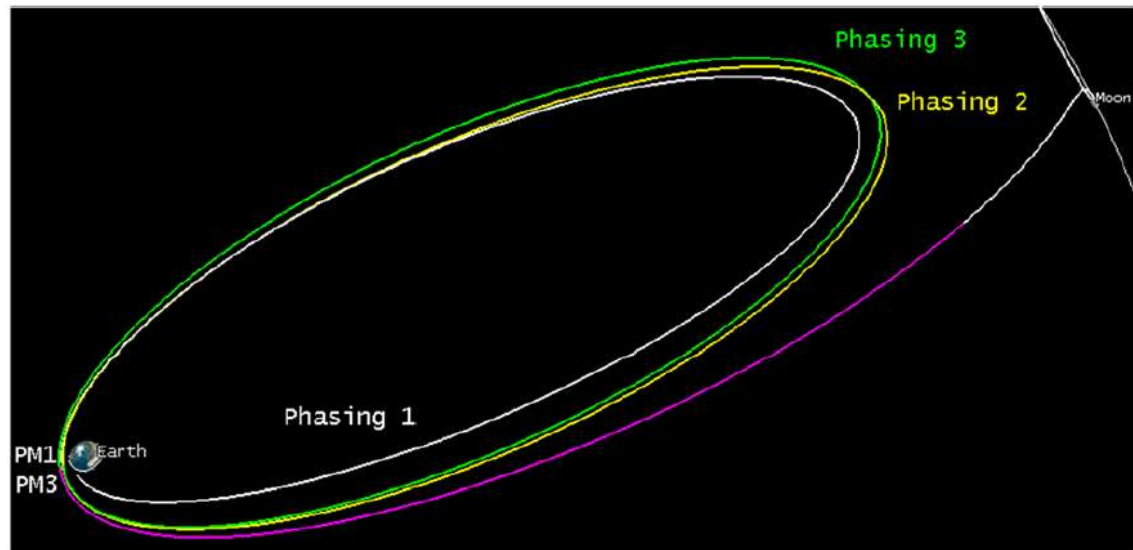


ShadowCam (118x28 \varnothing cm, 8.8 kg)

Korea Pathfinder Lunar Orbiter

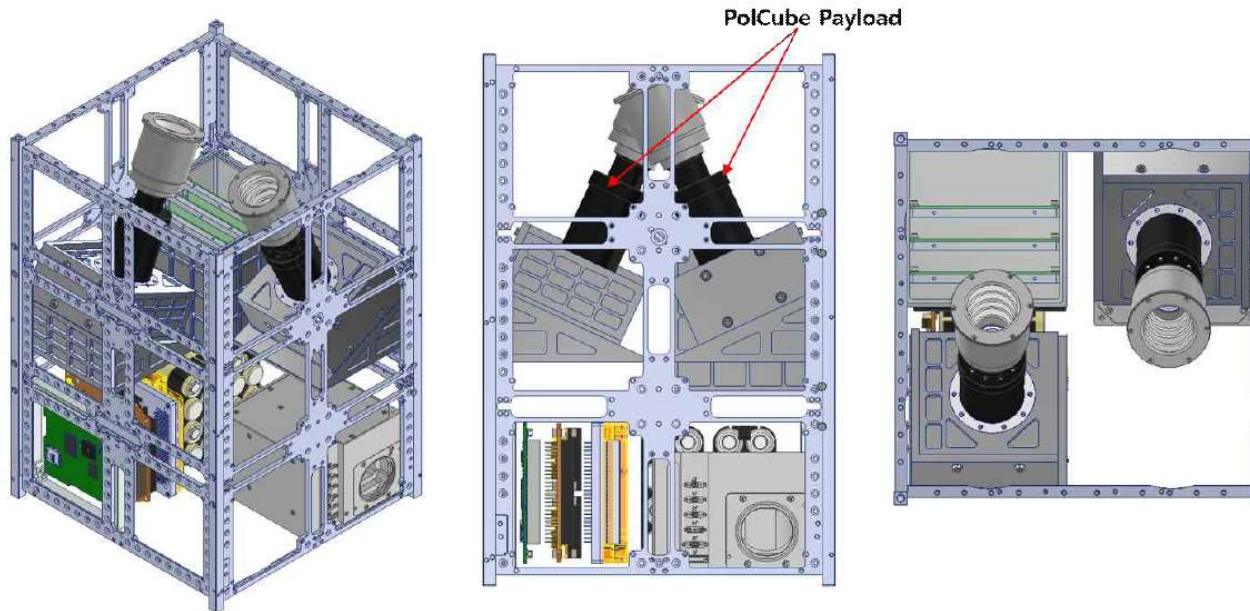
- KPLO 궤도
 - 사업 초기에는 위상 전이 궤도를 선택
 - 위상 전이는 수 차례의 "위상 동조 궤도"(phasing orbits)를 거친 후 달 저궤도로 진입하는 전이. 직접 전이보다 시간은 더 걸리지만 1) 발사 가능 시간대가 넓고, 2) 전이 중 궤도를 파악하고 수정하는데 유리.
 - 하지만 탑재체들의 중량 여유(margin)를 너무 작게 설계하고 도중에 수정도 하지 않아서, 결국 달에서의 100 km 원궤도 유지에 필요한 연료가 부족하게 됨.
 - NASA의 도움으로 저에너지 전이 방식으로 계획 변경.

Trajectory of the Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO) Earth-Moon Transfer phase (Earth-centered inertial frame). (Image from Kim & Song, 2019, JASS, 36, 293)



Korea Pathfinder Lunar Orbiter

- PolCam의 Spin-Off 프로젝트 (PolCube)
 - 행성과학, 지질학, 대기과학 계에서는 원격 편광관측이 흔히 쓰이는 관측 방법이 아님.
 - NASA LaRC 대기과학 부서의 한 팀에서 지구궤도 CubeSat 위성에 편광카메라를 장착하여 대기 중 미세먼지와 고층 수증기를 측정하는 연구를 공동 수행하자고 제안해 옴.
 - 위성/편광카메라 제작은 한국(부산시, 천문연, 나라 스페이스)이, 발사는 NASA 측이 맡아서 사업 진행 중(2019~22년).



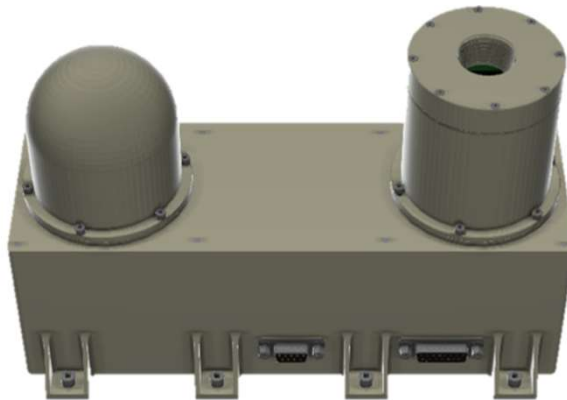
12U CubeSat에 장착된 PolCube 배치

Commercial Lunar Payload Services

- 한국 측 참여 사업 (2020~25년)
 - LUSEM: 50 keV 이상의 하전된 입자 측정(경희대, 24년 착륙 예정).
 - LVRAD: 생체 조직에 영향을 주는 입자 측정(서울대).
 - LSMAG: 붐을 이용한 자력계(경희대).
 - GrainCams: 표토의 적층 구조와 튀어 오르는 표토 입자를 관측하는 3차원 light-field 카메라(천문연).



LUSEM

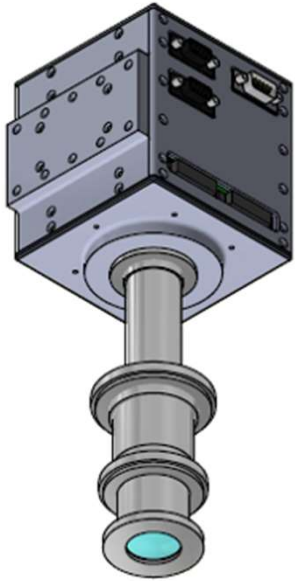


LVRAD

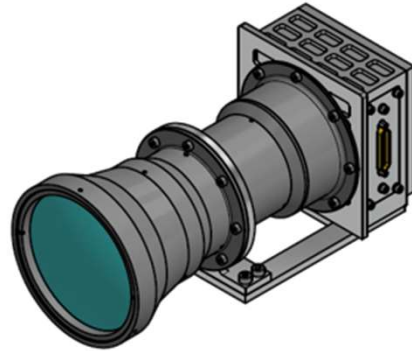


LSMAG

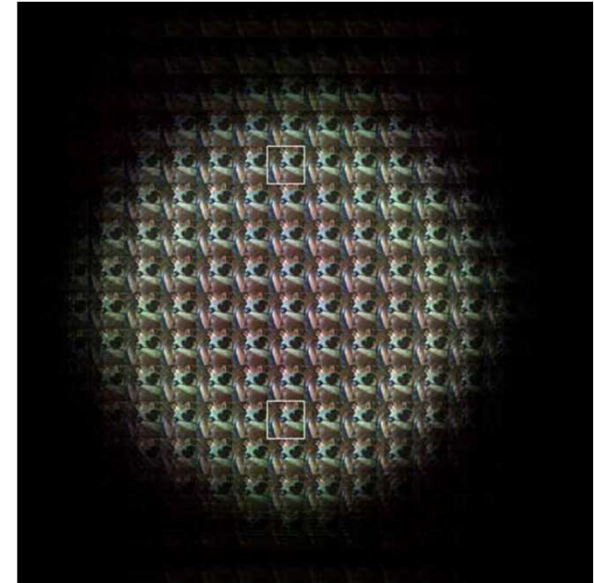
Commercial Lunar Payload Services



GrainCams (SurfCam)



GrainCams (LevCam)



Microlens array



(A1)

(A2)

(A3)



(A4)

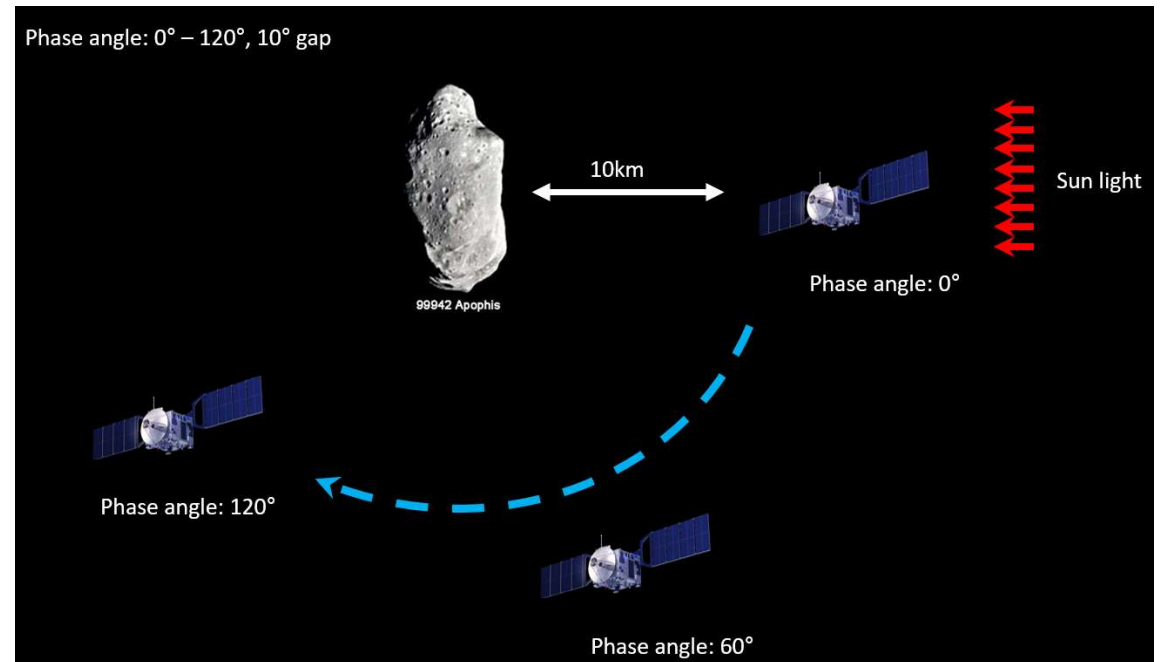
(A5)

(B)

(Ng, 2006, PhD thesis)

Rendezvous Mission to Apophis Asteroid

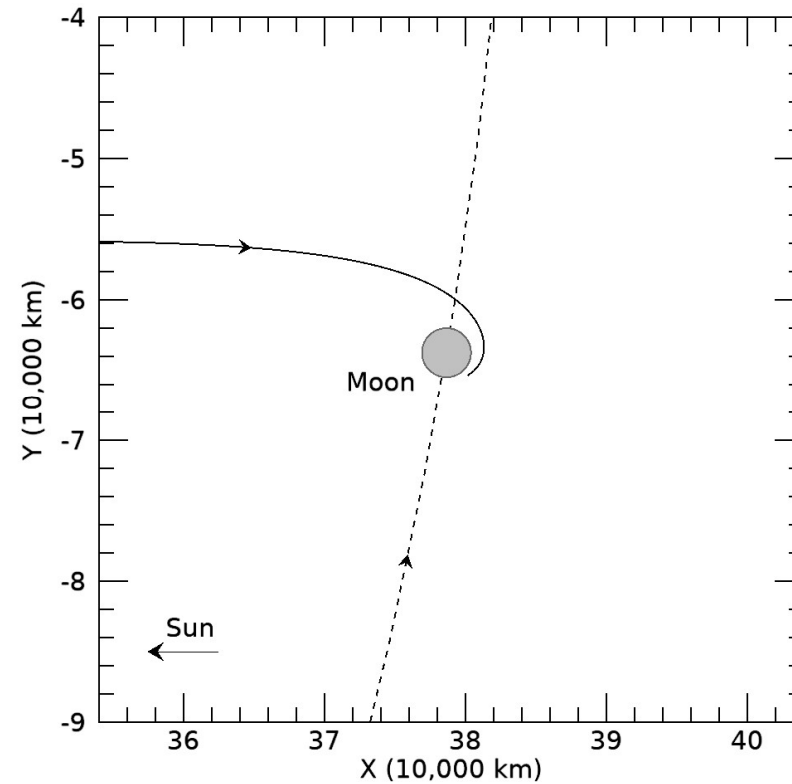
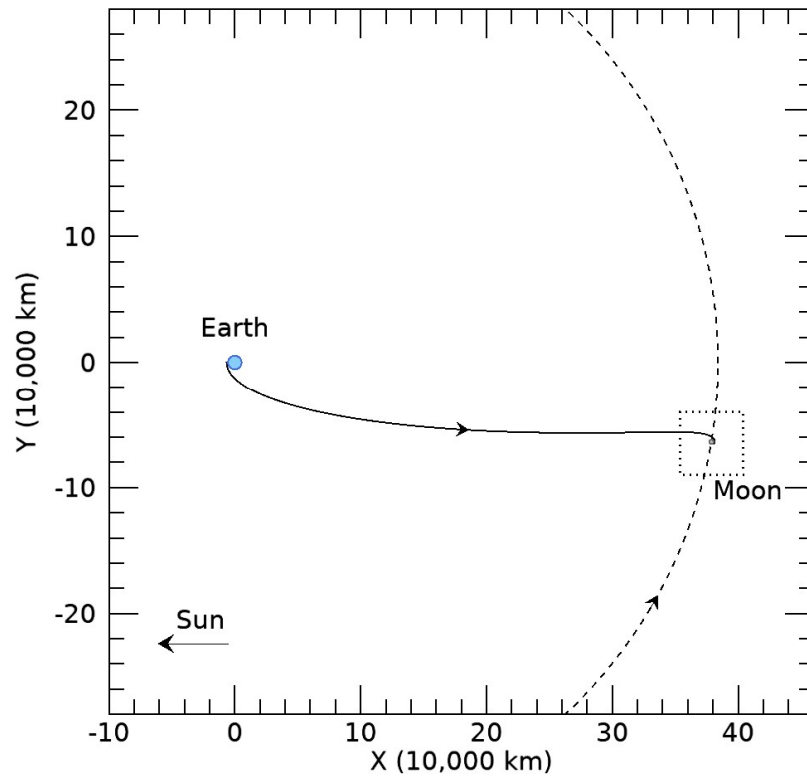
- 준비 중인 탐사 장비
 - 편광 카메라: 표면의 입자 크기 및 적층 상태 파악
(지구 접근 전후의 내부 진동 여부 파악)
 - 레이저 고도계: 거리 및 형상 측정
 - 광시야 카메라: ??
 - (분광기)



- 예정 궤도
 - 10 km 까지 접근하는 쌍곡선 궤도
 - 0~120° 위상각(태양-소행성-카메라 각) 확보
 - 한발 앞선 발사가 목표

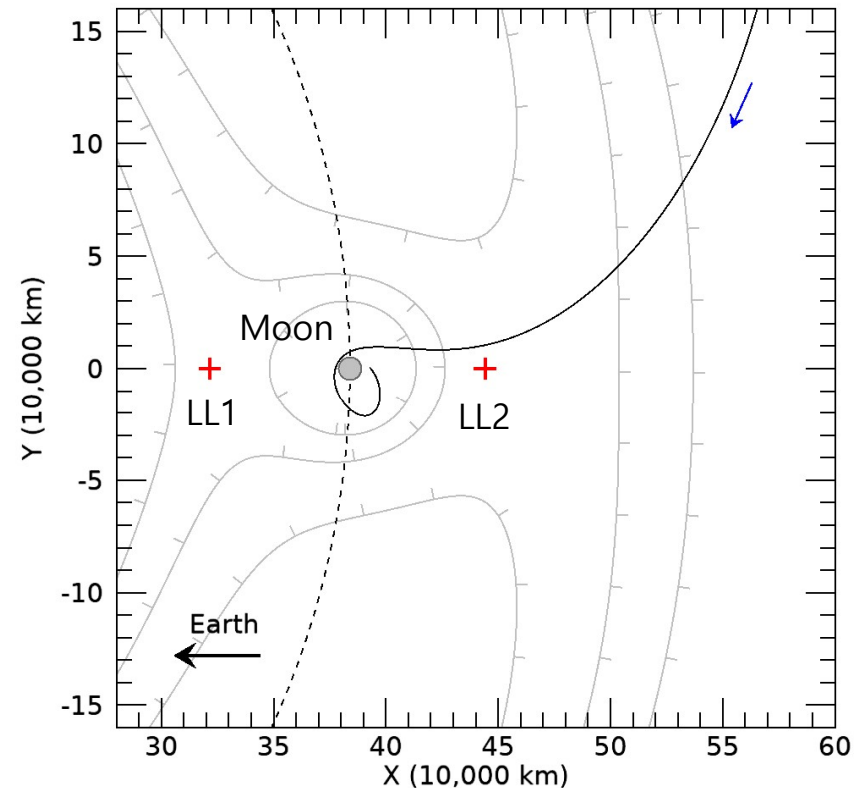
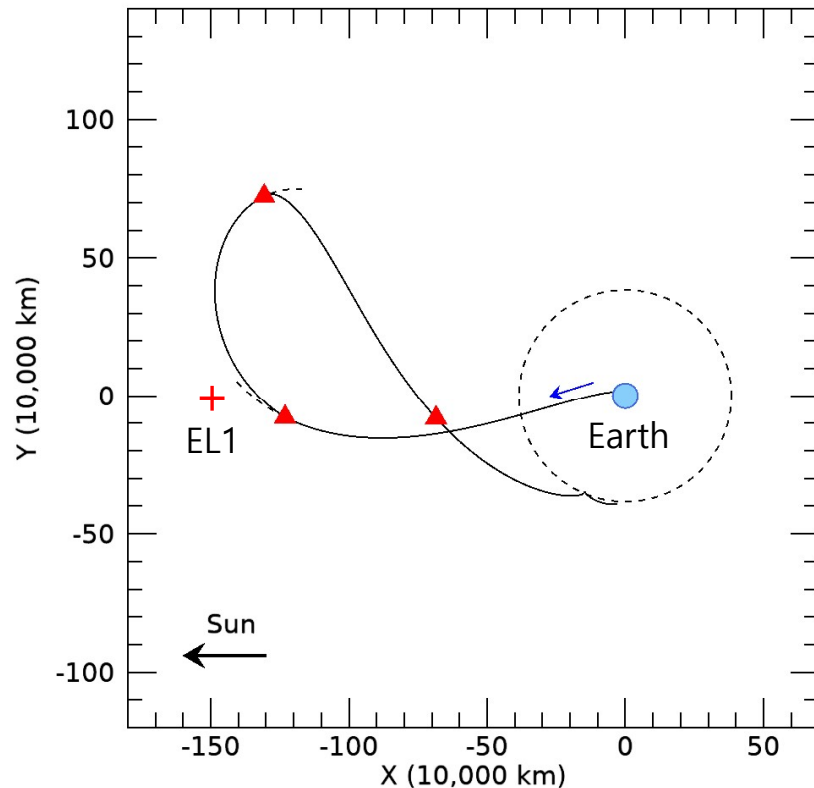
Low-Energy Transfer to the Moon

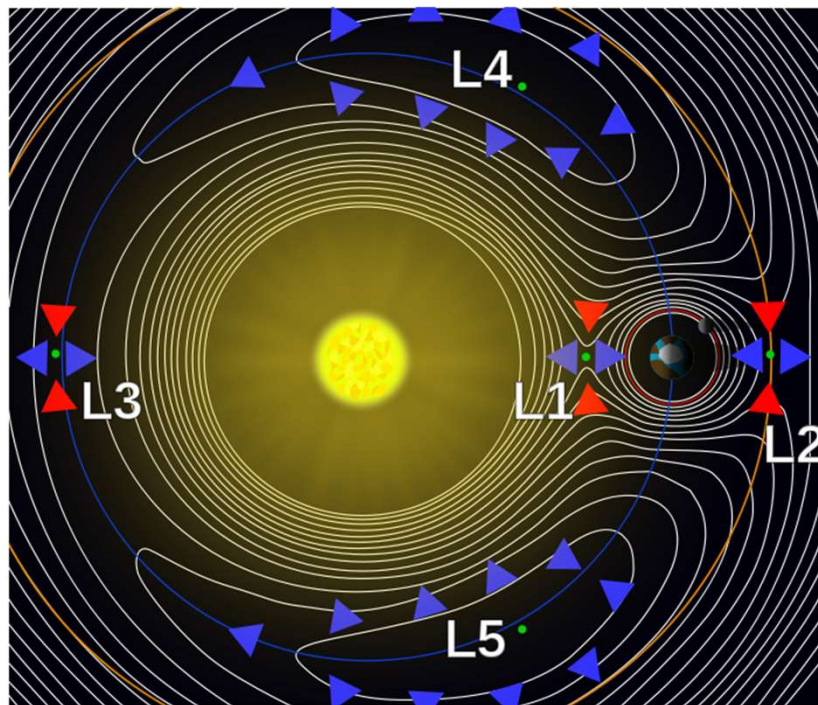
- 직접 전이



Low-Energy Transfer to the Moon

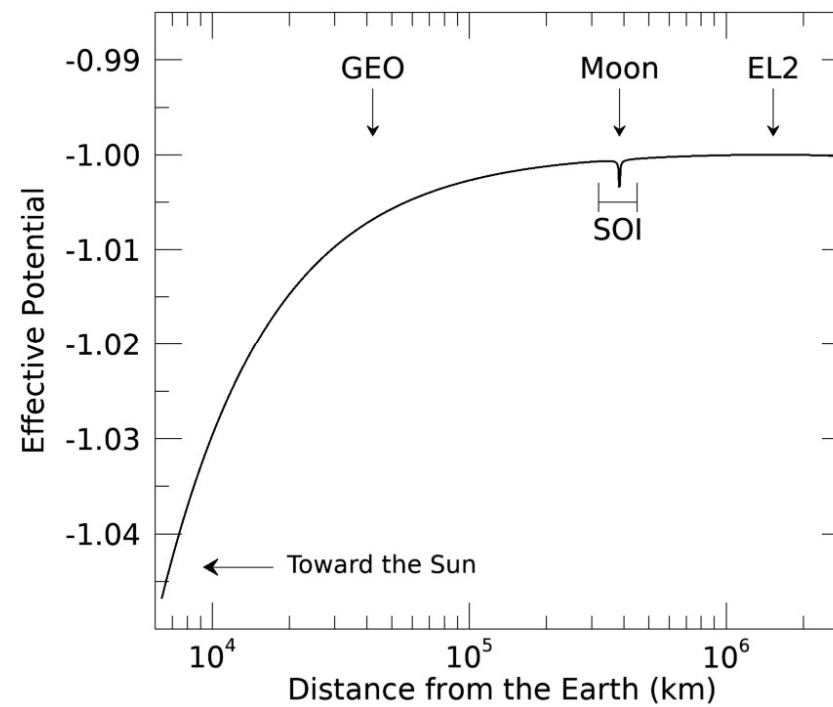
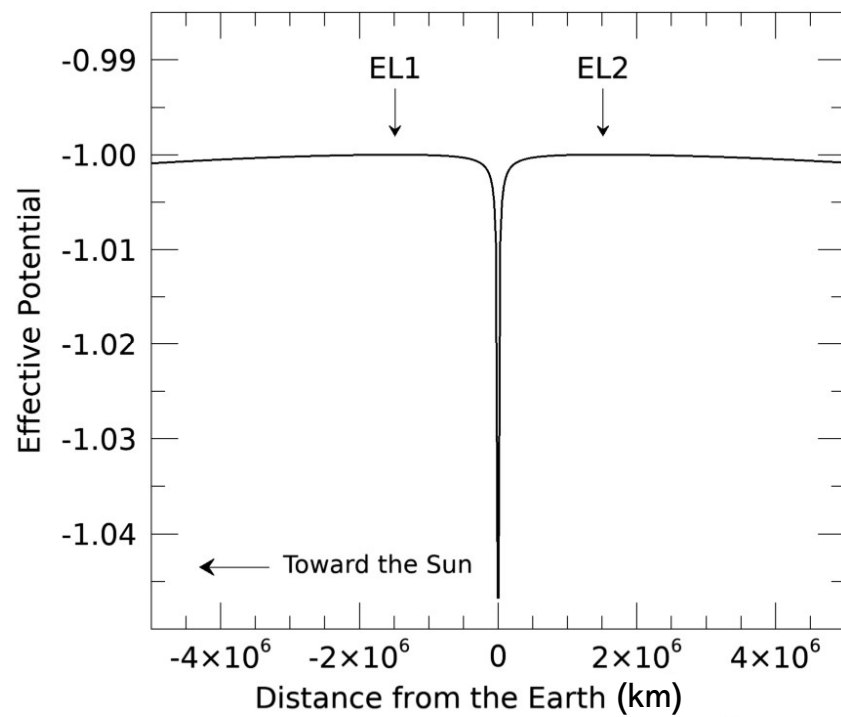
- 저에너지 전이
 - 우주선을 달로 직접 쏘는 대신 태양-지구 라그랑지점 EL_1 , EL_2 중에 하나의 근처까지 보낸 후 달로 돌아오게 하는 방법.
 - 저에너지 전이 궤도는 태양-지구-달-우주선의 4체 문제가 되며, 1) 태양 중력의 도움과 2) 매우 작은 Δv 를 통해 우주선의 근지점을 달궤도까지 올리는 것.

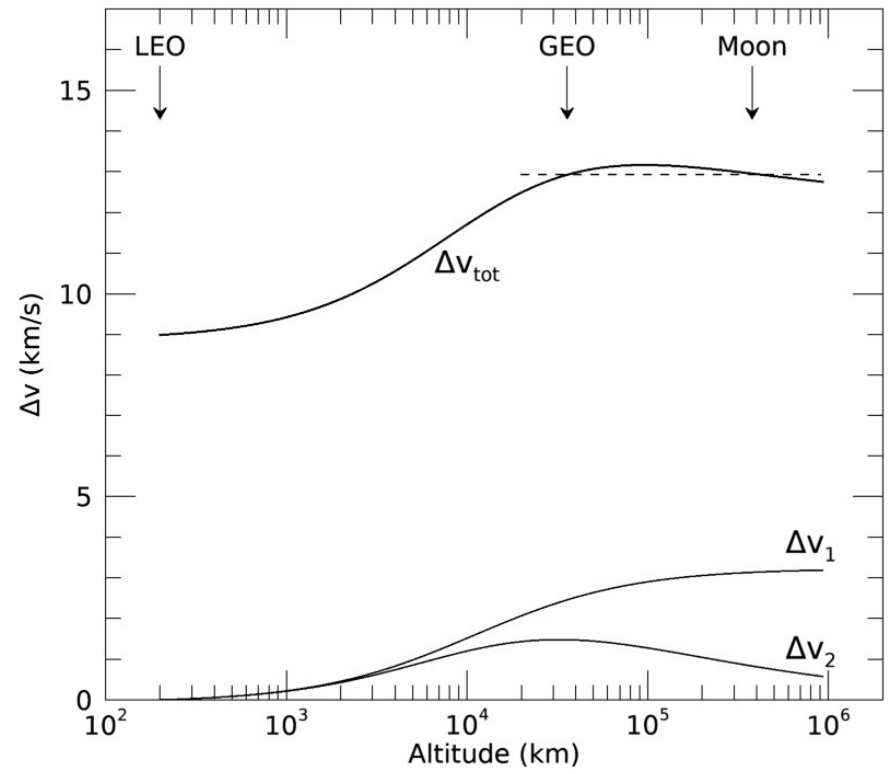
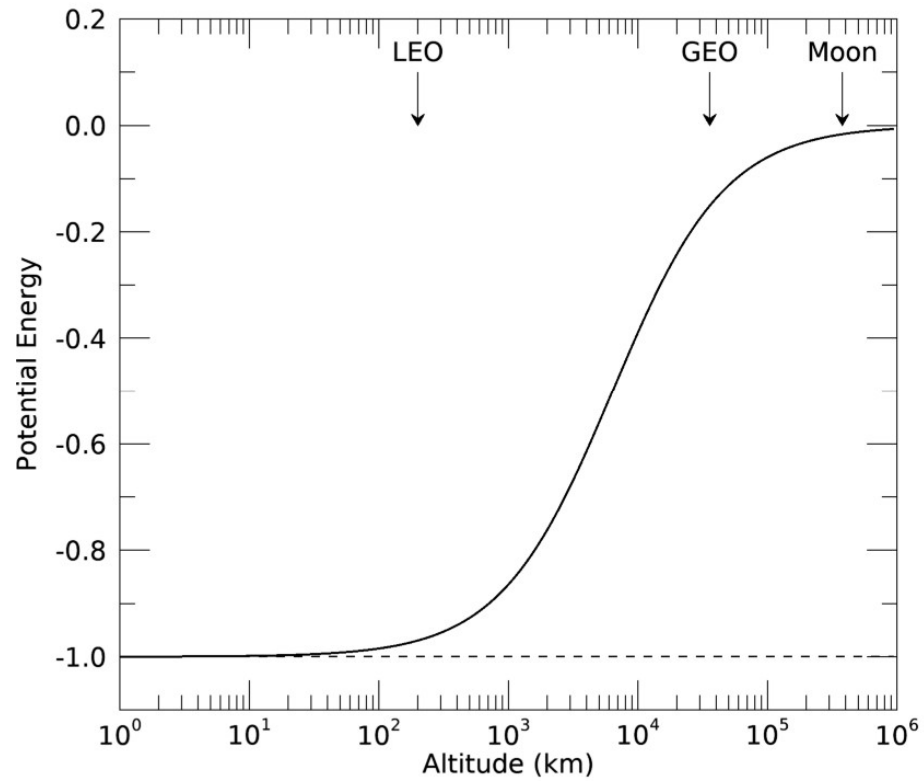




(Image from StackExchange Physics)

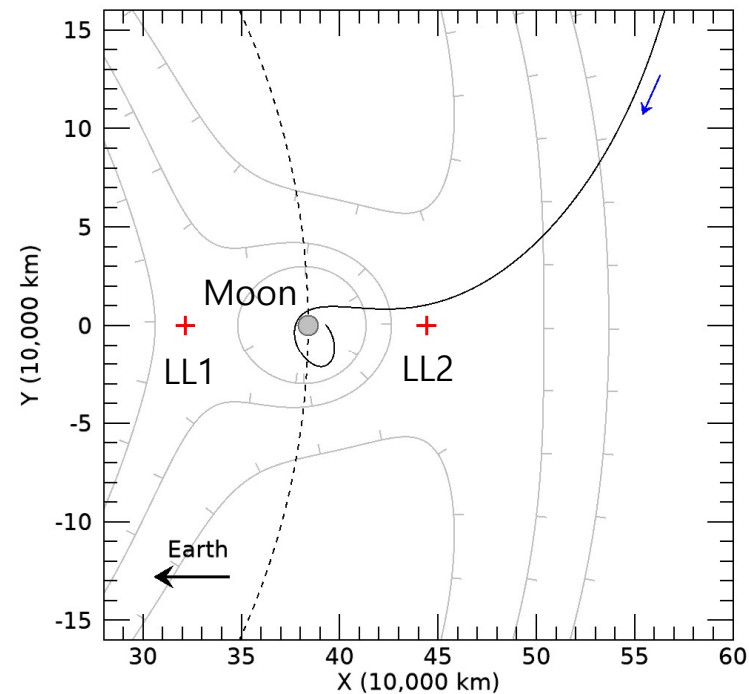
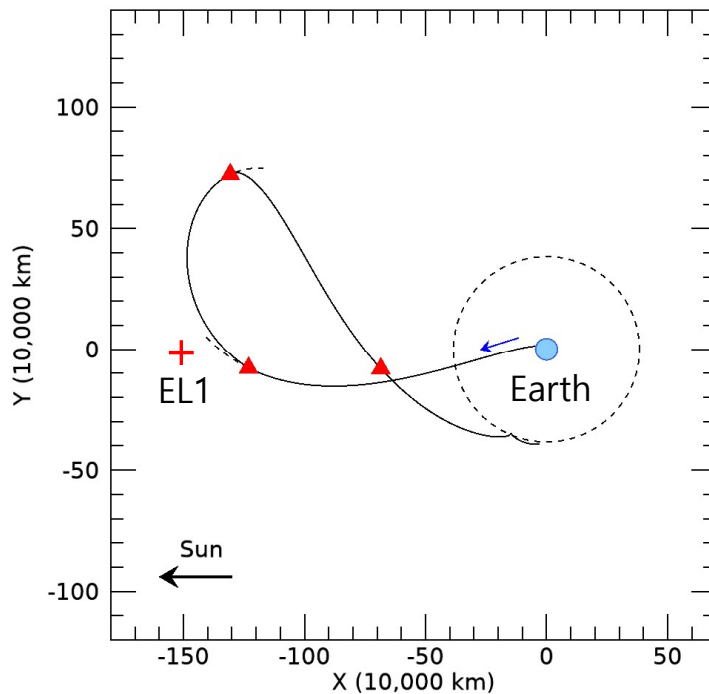
Sun-Earth Rotating Frame





Low-Energy Transfer to the Moon

- 저에너지 전이가 효율적인 이유
 1. 지구 저궤도(185~200 km)에서 전이를 시작할 때의 Δv 는 달 고도(38만 km)까지 보내는 것과 EL1/EL2 거리(150만 km)까지 보내는 것에 큰 차이가 없다.
 2. 퍼텐셜이 평탄한 곳(EL1/EL2 근처)에서 주는 작은 Δv 로 근지점의 고도를 크게 바꿀 수 있다.
 3. LL2를 통해 달로 접근할 때는 작은 Δv 로도 달 중력장에 포획될 수 있다.



Low-Energy Transfer to the Moon

- 저에너지 전이는
 - 달 까지 가는데 수개월 정도 걸린다.
 - 지구 저궤도를 떠난 후 ~25% 정도의 연료를 줄일 수 있다.
 - 1) 달까지 가져갈 수 있는 연료의 양이 넉넉하지 않은 경우(예: KPLO), 2) 복수의 우주선을 하나의 발사체에 실어 달까지 보낸 후 각기 다른 궤도를 가지게 하려는 경우(예: GRAIL), 3) 넓은 발사 가능 시간대가 필요한 경우 등에 유리하다.
 - Weak stability boundary transfer 또는 ballistic capture transfer 라고도 불린다.