Jaderné metody pomáhají nejen při pronikání do vesmíru.

Vladimír Wagner

Ústav jaderné fyziky AVČR, 250 68 Řež, E_mail: WAGNER@UJF.CAS.CZ, WWW: hp.ujf.cas.cz/~wagner/

1. Úvod

2. Jaderně analytické metody

- **2.1 Aktivační metody (urychlovače, reaktory …)**
- **2.2 Využití v archeologii**
- **2.3 Analýza tektitů, meteoritů i měsíčních hornin**

3. Datování pomocí radionuklidů

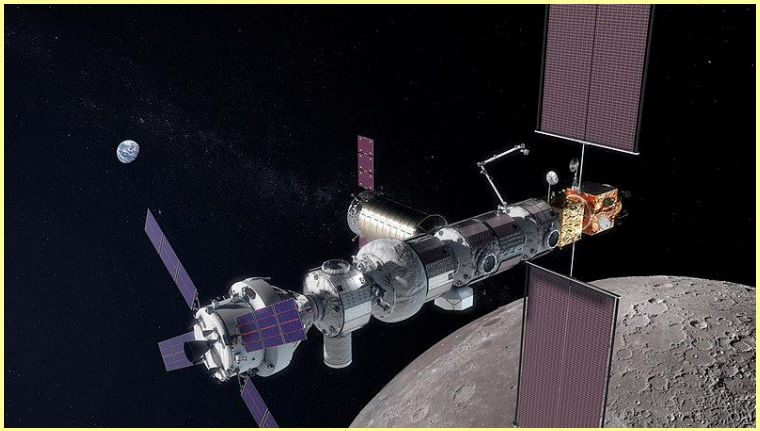
- **3.1 Využití radiouhlíkového datování**
- **3.2 Využití v archeologii**
- **3.3 Urychlovačová hmotnostní spektrometrie**

4. Ochrana před zářením ve vesmíru

- **4.1 Kosmické záření a ochrana před ním**
- **4.2 Příprava letu Artemis 1**

5. Závěr

Urychlovačový hmotový spektrometr MILEA

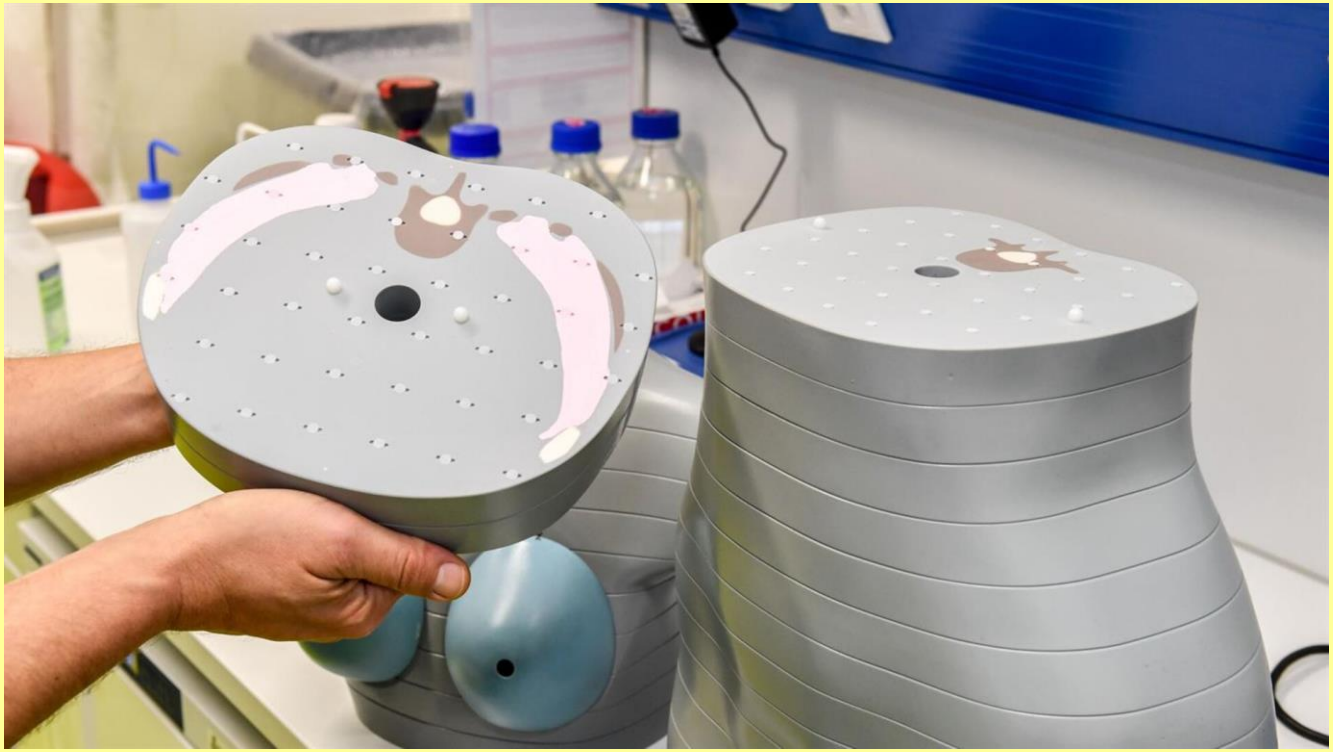


Loď Orion se stanicí Gateway

Úvod

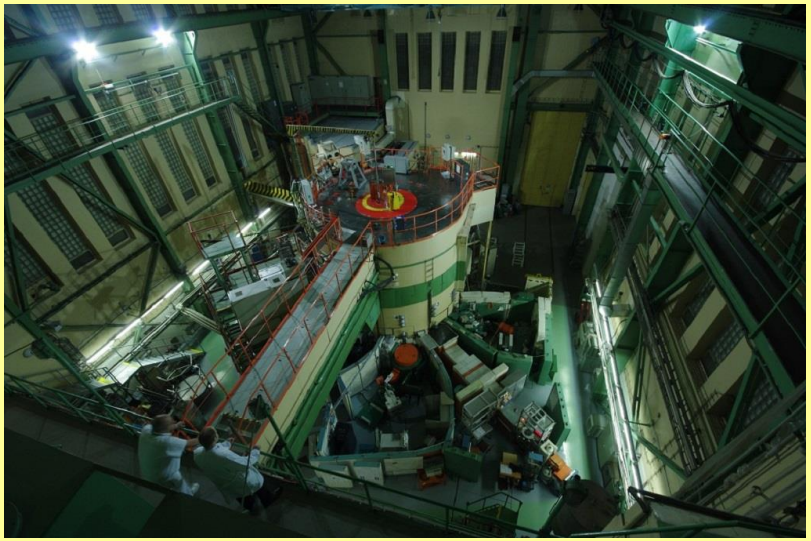
Návrat automatů a v budoucnu i lidí na Měsíc i k Marsu a dalším tělesům Sluneční soustavy:

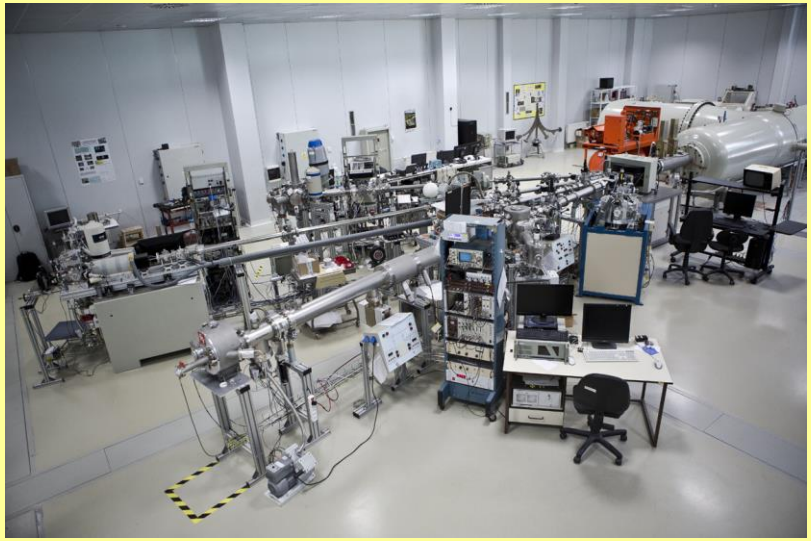
1) **Možnost získání vzorků z těchto těles, jejich analýza pomocí jaderných metod**
2) **Nutnost ochrany kosmonautů v hlubokém vesmíru před kosmickým zářením**



Příprava antropomorfního fantomu pro studium vlivu kosmického záření na kosmonauty

Široké uplatnění různých jaderných analytických metod v ÚJF





Reaktor LVR-15 Neutronová aktivační analýza

Tandetron – široká škála metod využívající ionty

Mikrotron – urychluje elektrony svazek gama

Studium obsahu dusíku – pravěký náramek
? Kůra nebo kůže ?

Čchang-e5 – dopravení vzorků z Měsíce

Start 23. listopadu 2020, přistání na Měsíci 1. prosince, start z Měsíce, start z Měsíce 3. prosince, 5. prosince spojení s orbitální částí, přistání na Zemi 14. prosince ve Vnitřním Mongolsku

!!! Získáno 1731 gramů měsíčního regolitu !!!

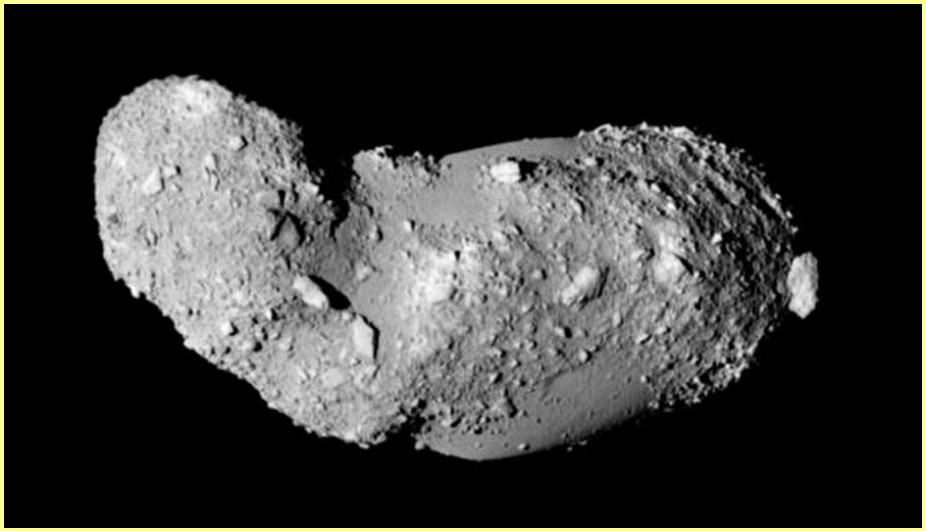
Nabídka vzorků pro analýzu v zahraničí – soutěž projektů, přísná pravidla pro ochranu a zacházení se vzorky – pokusíme se o jejich získání

Sestava celé výpravy

Přistání modulu se vzorky v Číně

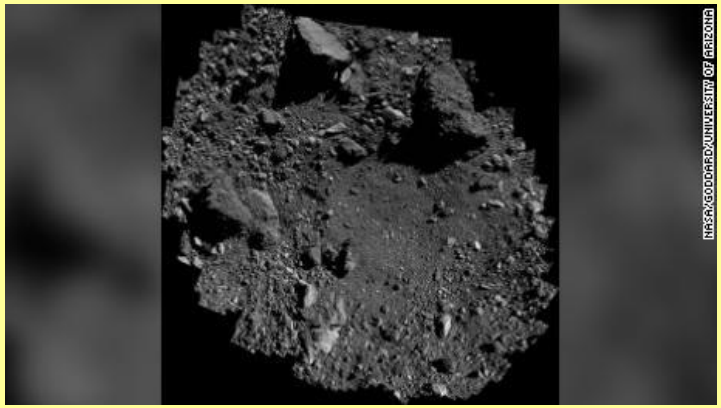
Hajabusa 2 - vzorky z planetky Ryugu

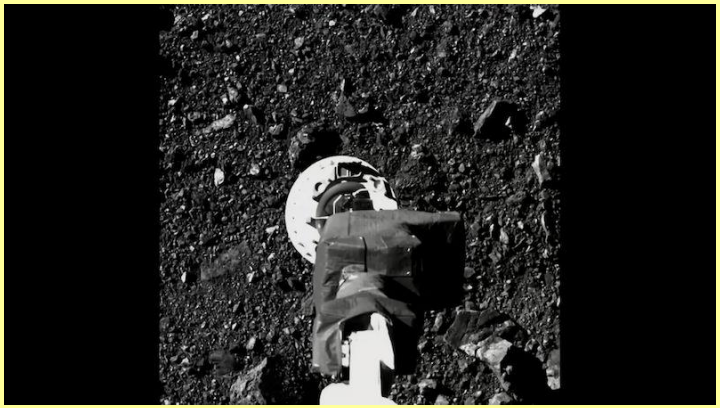
Start v prosinci 2014, cesta k planetce Ryugu, využití iontových motorů, dlouhodobý průzkum, odběr vzorků materiálů 12. listopadu 2019 start k Zemi, 6. prosince 2020 návratové pouzdro dopadlo v Austrálii, Sonda míří k jiné planetce



OSIRIS-REX – vzorky z planetky Benu

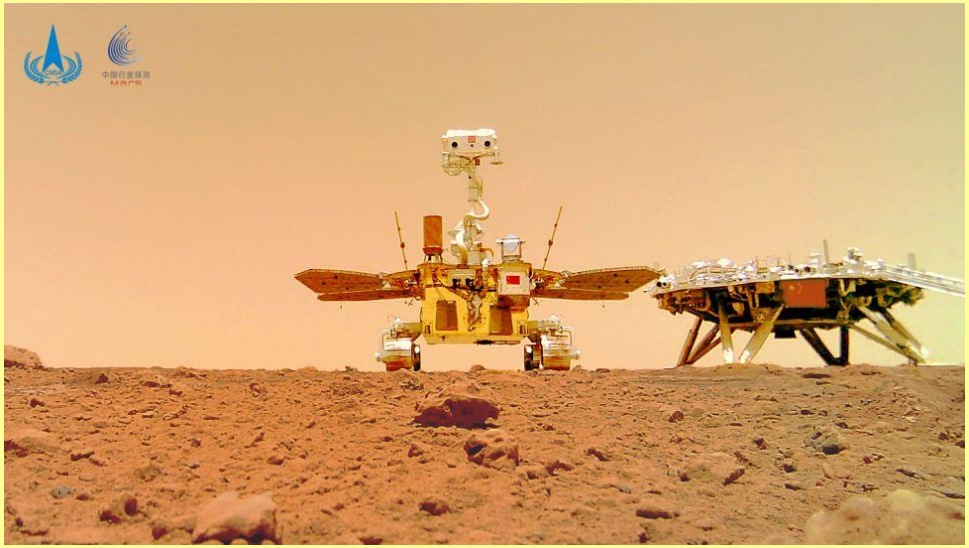
9. května 2021 – start od planetky Benu k Zemi
září 2023 – přistání pouzdra se vzorky na Zemi, sonda pak poletí dále





Příprava k odběru a samotný odběr vzorku z planetky Benu

Nová vozidla na Marsu

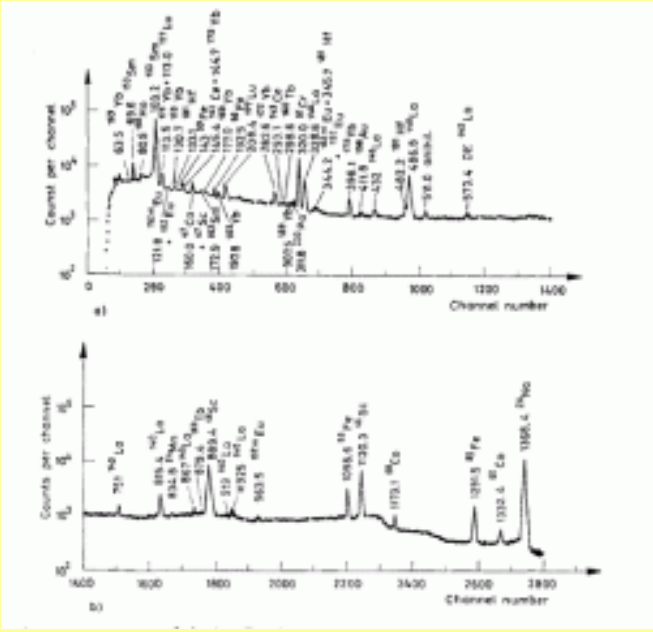


Vozidlo Perseverance sbírá zároveň vzorky pro pozdější návratový modul. Průzkum umožňuje i vrtulníček.

Čínský modul a vozítko Zhurong na selfie

Česká účast na zkoumání měsíčních hornin

Miloslav Vobecký a Vlastimil Brabec se vzorky z Apolla 11 a 12



Spektrum gama při neutronové aktivační analýze

Miloslav Vobecký podal návrh využití neutronové aktivační analýzy do soutěže programu Apollo

Červen 1970 – vzorky z Apolla 11 a 12

Bohužel bez pokračování (politika)

Vzorky z programu Luna (16, 20, 24) a všech misí Apolla (ze SSSR)

Miloslav Vobecký, Jaroslav Frána, Antonín Maštalka, Zdeněk Řanda,

Pouzdro z Luny 24

drobné úlomky hornin z regolitu

Zkoumání meteoritů nejen s rodokmenem a tektitů

Česko – velká tradice ve zkoumání meteoritů i těch s rodokmenem
Zkoumání tektitů (nejen vltavínů)

Využití jaderných metod pro analýzu stopových obsahů prvků

Meteorit Příbram – 7. dubna 1959

Meteorit Morávka – 6. května 2000

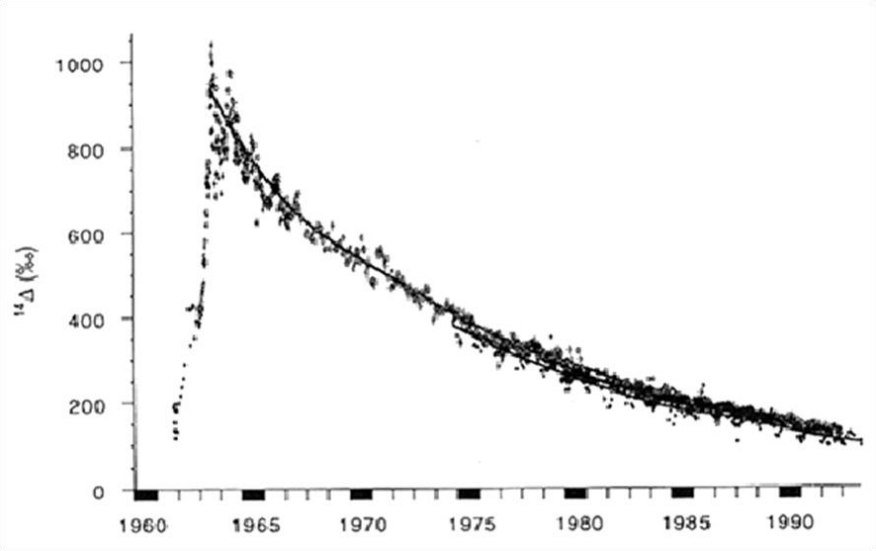
Datování pomocí radionuklidů

Nejznámější je využití radiouhlíku ^{14}C ($T_{1/2}$ = 5730 let)
Další například beryllium ^{10}Be ($T_{1/2}$ = 1,5 milionů let)

Radiouhlíkové datování:

1) **Měření rozpadů radioaktivního uhlíku, využití kapalných scintilátorů**
2) **Počítání jednotlivých atomů – urychlovačová hmotová spektrometrie AMS**

Společná laboratoř pro radiouhlíkové datování (ODZ ÚJF), projekt RAMSES



Bombový pík v obsahu radioaktivního uhlíku ^{14}C

Výstavba budovy pro AMS

Pravěké kresby v Kateřinské jeskyni

Určení stáří různých kreseb na 6200 a 7000 let pomocí radiouhlíkové metody

Datování Libereckého kodexu

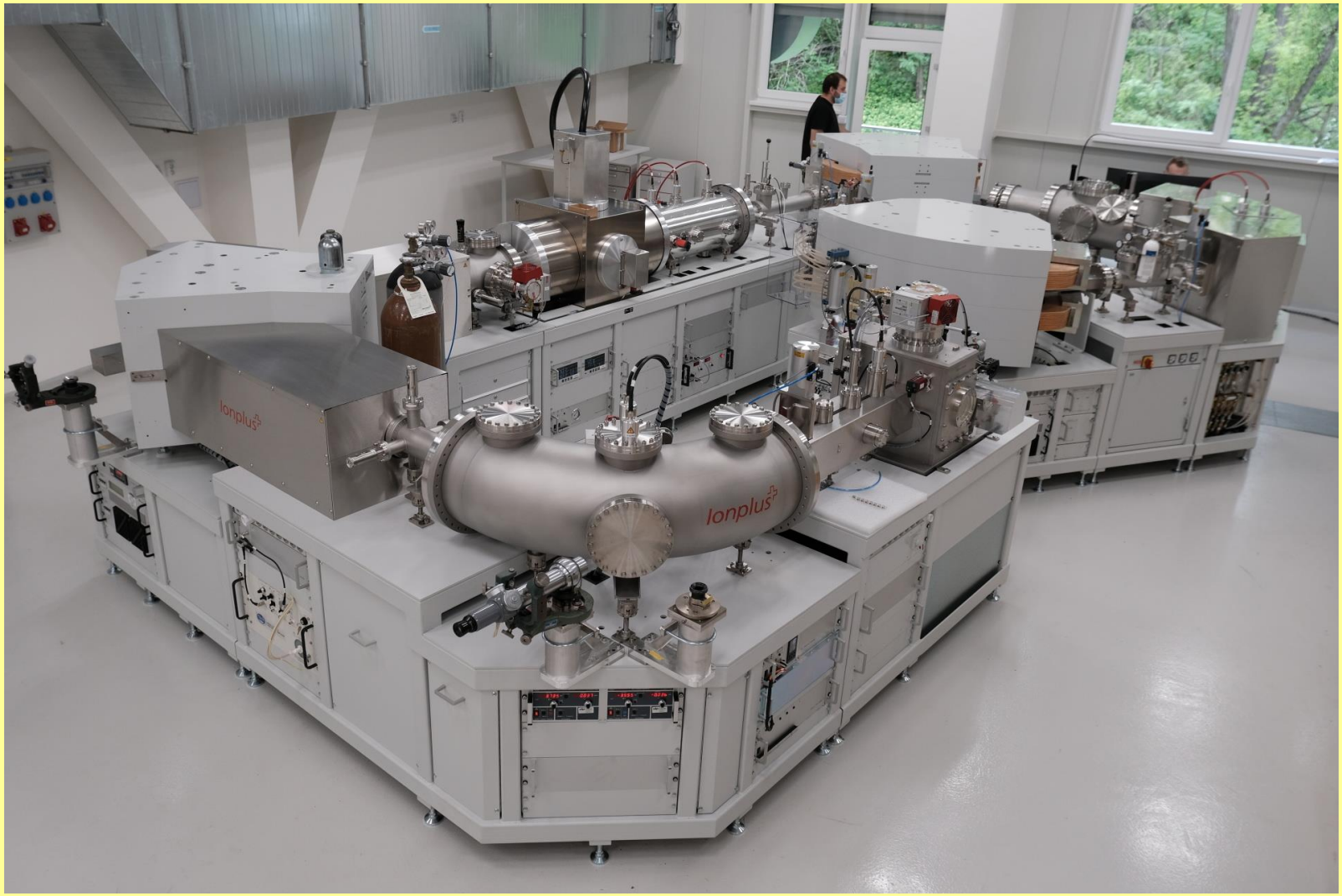
Milevský relikviář – datace dřeva

Nález v kostele sv. Jilji v Milevsku – rok 2020
Artefakt považovaný za kus hřebu s ukřižování Krista

Analýza dvou dřevěných schrán:
Modřínová – 1290 - 1394
Dubová – 338 – 416

Možná v budoucnu i analýza železa hřebu (dřevěné uhlí)

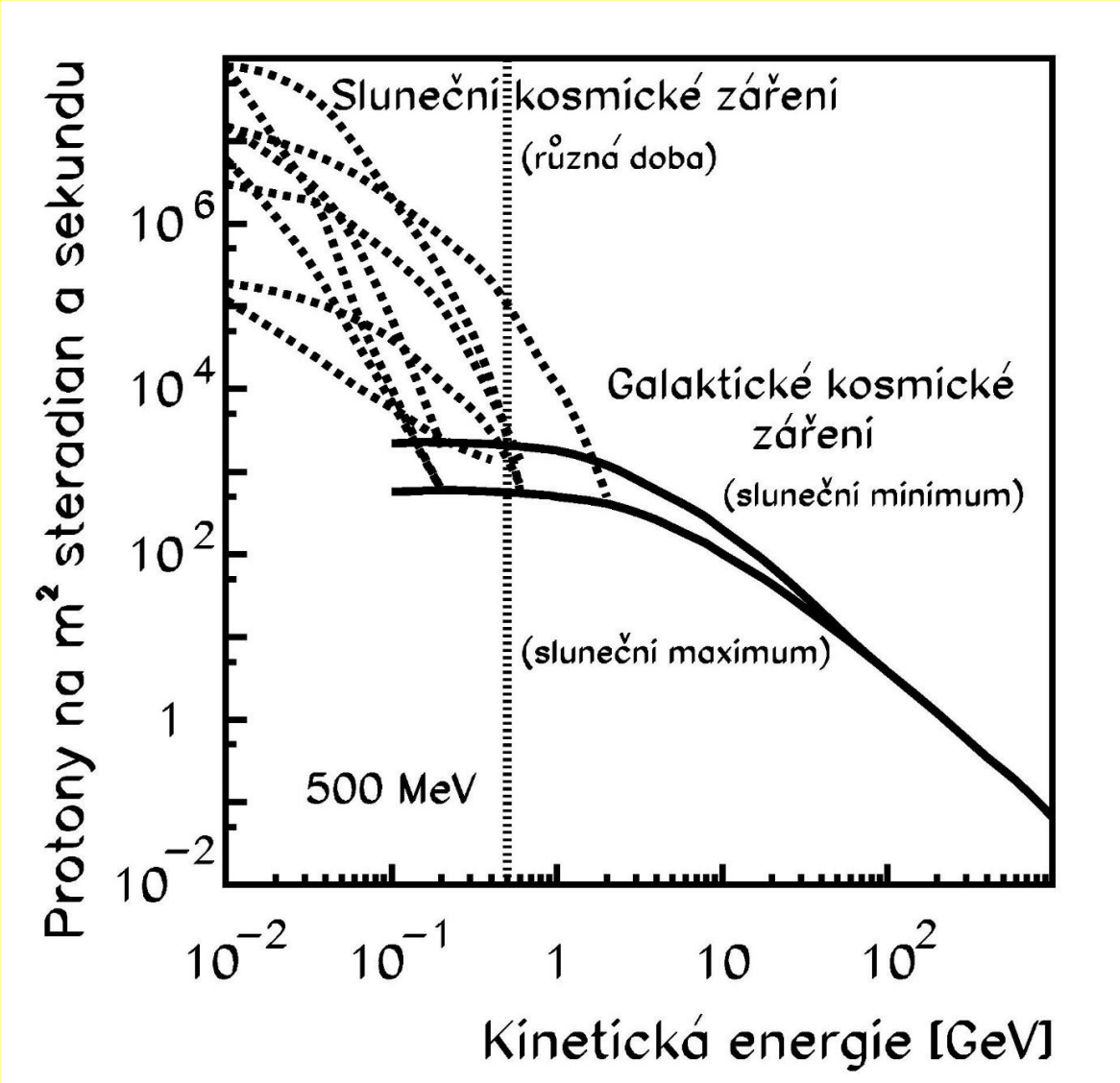
Urychlovačová hmotová spektrometrie



Nový urychlovač v ÚJF – hmotový spektrometr AMS typu Milea

Instalace AMS Milea v ÚJF Řež

Kosmické záření a ochrana před ním



Záření ve vesmíru

Země: 1 mSv/rok, 2,5 mSv/rok až 20 mSv/rok i více

Vesmírný prostor:

Malý sklon dráhy	17 mSv/rok
Velký sklon dráhy	144 mSv/rok
Hluboký vesmír	500 mSv/rok

Sluneční silně závislé na sluneční aktivitě – erupce může způsobit až smrtící dávku

Výška ISS ~400 km 1 mS/den → 360 mSv/rok

(zvýšení rizika rakoviny o 0,1 násobek zvýšení u silného kuřáka)

Stanice ISS – chráněná zemským magnetickým polem

Cesta na Mars

Cesta tam	6 měsíců	0,3 Sv
Pobyt na Marsu	18 měsíců	0,4 Sv
Cesta zpět	6 měsíců	0,3 Sv

Bezpečnostní limit (celkový): 1 Sv (podle věku a pohlav.)
Roční limit je 0,5 Sv.

Zvýšení rizika úmrtí na rakovinu o 3 %

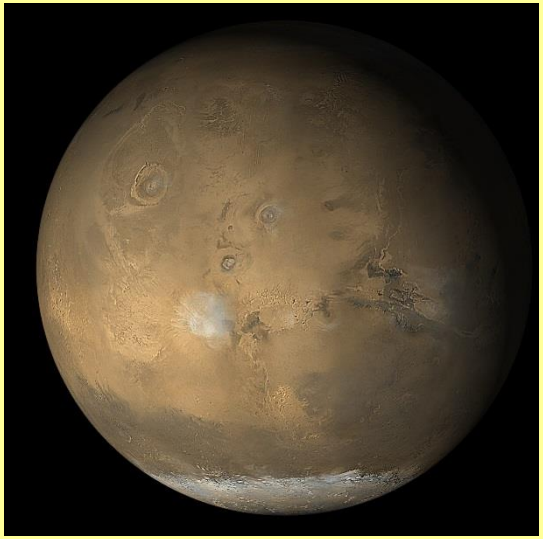
povrch planet – ze spodu stínění planetou

povrch Marsu – ochrana atmosférou

povrch Měsíce – horší situace

Interakce kosmického záření s materiálem → produkce neutronů

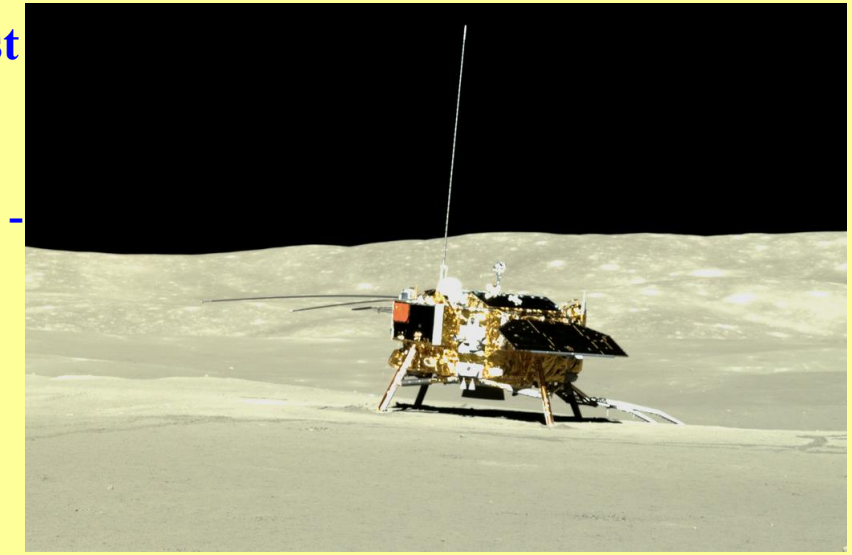
Představa základny na Masu



Mars – ochrana atmosférou a samotnou planetou

Specifika situace na Měsíci

Nepřítomnost magnetického pole, nepřítomnost atmosféry
Povrch bombardovaný kosmickým zářením – jaderné reakce, produkce částic i radioaktivity - neutrony

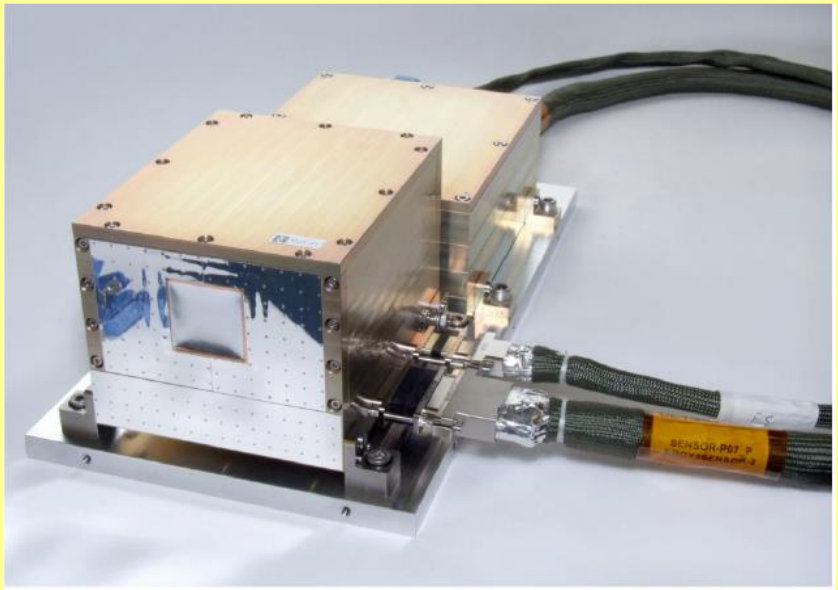


Měření dávkového příkonu přistávacím modulem Chang E4 na odvrácené straně Měsíce – leden 2019

LND (Lunar Lander Neutron and Dosimetry

První měření (leden a únor 2019):

Dávkový příkon 1369 µGy/den = 57 µGy/hod → roční dávka 500 mGy

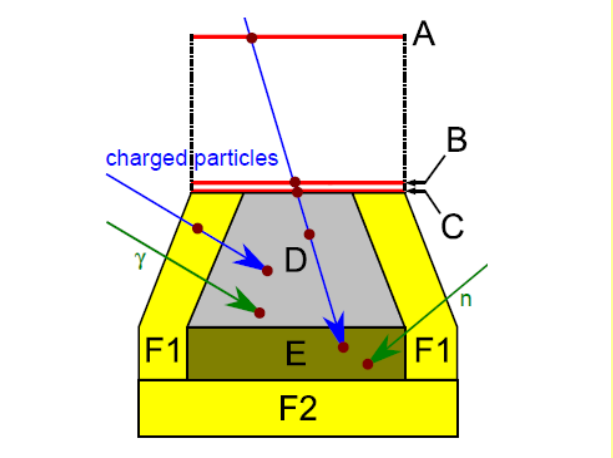


Pozor – jde o ionty a neutrony , efektivní dávka je až násobná

Velká potřeba doplnit měření a průběh dávky na podmínkách (hlavně sluneční činnosti)

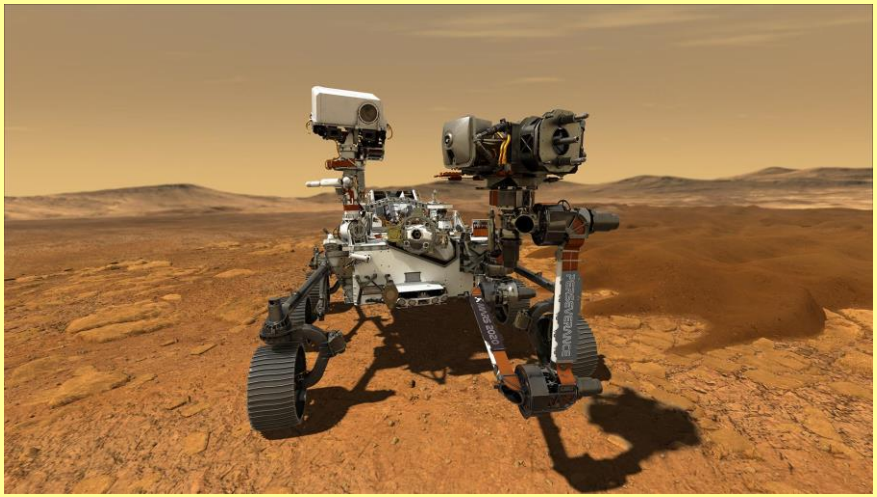
Sledování radiačního počasí na Marsu

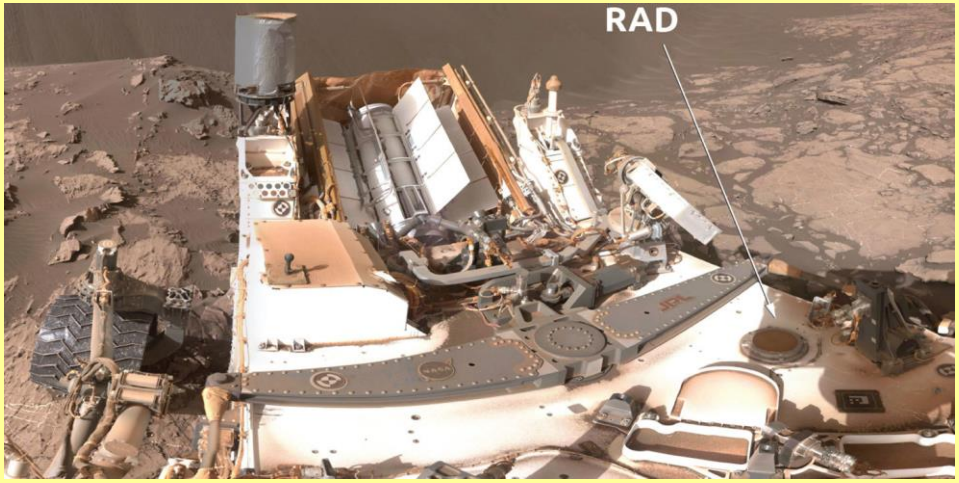
Obě vozidla Curiosity i Perseverance mají meteorologickou stanici i měření radiace
Současné měření počasí je velmi důležité
Vliv atmosféry na radiaci je jeden z klíčových



Systém RAD z Curiosity: tři křemíkové detektory (A,B,C),
scintilátor CsI (D),
plastikový scintilátor (E)
plastiky v antikoincidenci (F)

Nabité částice (modře), neutrální (zeleně)



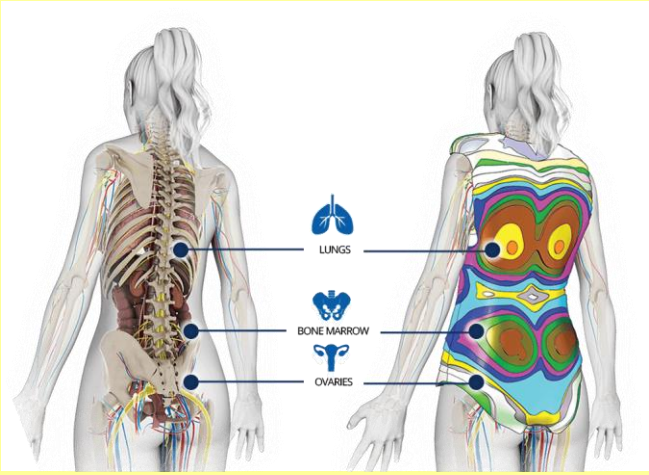


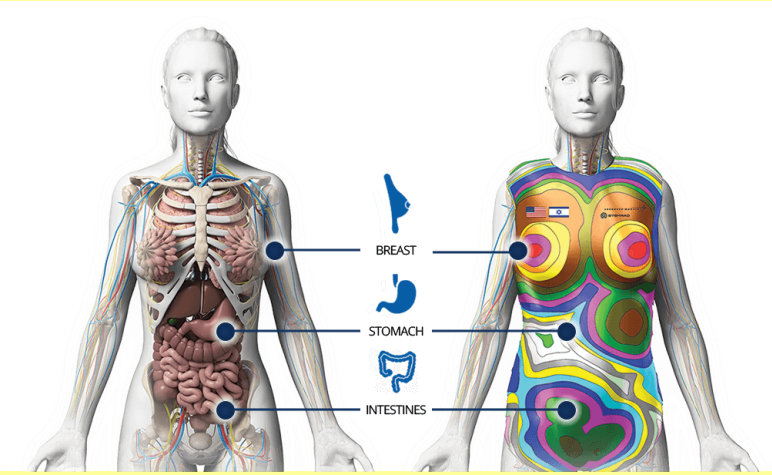
Preservance a Curiosity sledují radiační situaci

Selfie Curiosity s označením umístění RAD

Speciální oděvy, speciální chráněné úkryty

AstroRad – vesta chránící před vesmírnou radiací (vesmírnými protony protony) – polyetylen
start-up StemRad (financováno Israel Space Agency)





Určeno pro posádky lodí Orion při letu ve vzdálenějším vesmíru (k Měsíci, planetkám, Marsu …

Oblečení v době vyššího rizika, při pobytu mimo chráněný prostor

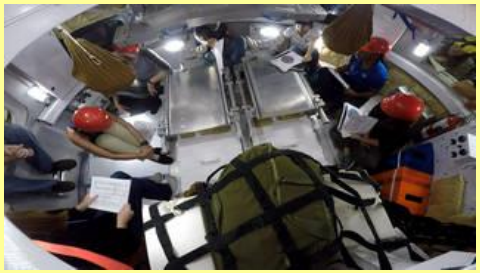
Prioritně ženy – větší citlivost a riziko z radiace
Ergonomické testy na ISS od listopadu 2019

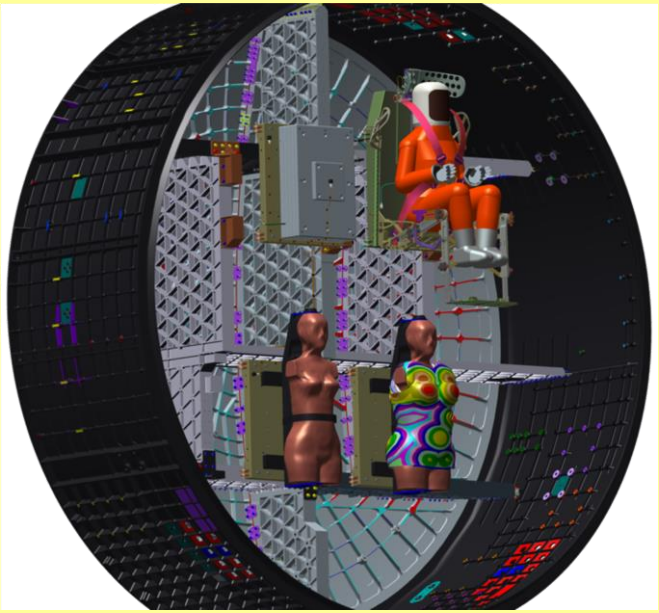
Vesty AstroRad byly testovány i na ISS

Chráněný prostor na lodi Orion – ve spodní části je vytvořen úkryt obklopený zásobami a uskladněným zařízením, který stíní prostor od kosmického záření (zásoby vody, utěrky, věci z plastů …

Prostor blízko tepelného štítu ve spodní části lodi

Artemis 1 – bezpilotní – přelom 2021/22 – zapojení ODZ

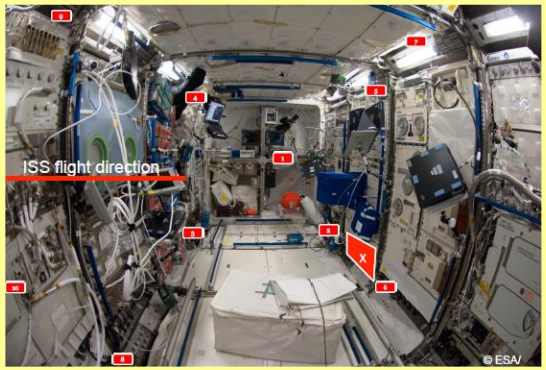


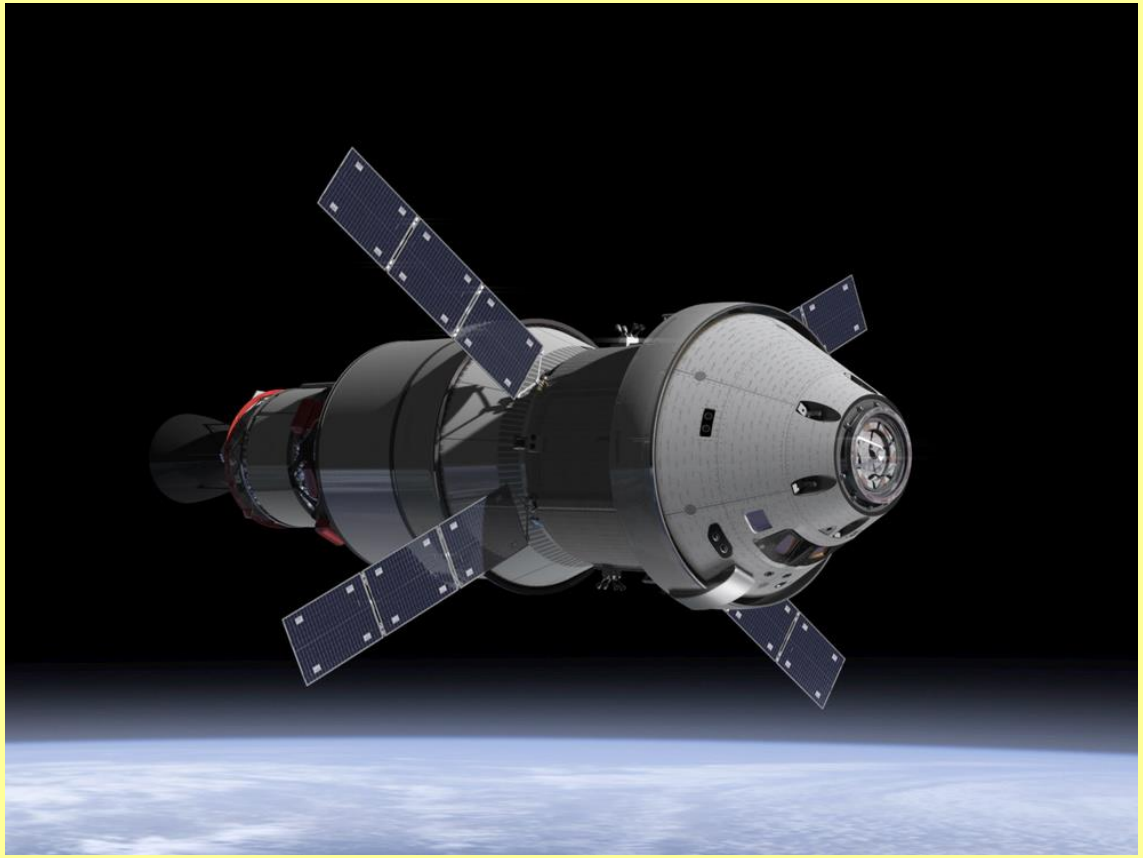


Dva ženské fantomy, 5600 sensorů, jeden s AstroRad vestou a jeden bez ní

Výzkum ÚJF AV ČR spojený s ISS i budoucí lodí Orion

Dozimetrická zařízení, člověku podobné dozimetrické fantomy, testy stínění a rozložení radiační dávky
Zařízení na ISS a družice BION-M1
Připraveno také pro první nepilotovanou cestu vesmírné lodi Orion k Měsíci v roce 2021 - 22





Závěr

1) V současné době se připravuje návrat člověka k Měsíci (lety mimo ochranu zemské magnetosféry)
2) Automaty dopravily vzorky z Měsíce i asteroidů Ryugu a brzy i Beno
3) Možnost využití jaderných analytických metod pro analýzu těchto vzorků
4) Ústav jaderné fyziky AV ČR může poskytnout širokou škálu metod a zkušenosti z analýzy vzorků z Měsíce v minulosti, meteoritů a tektitů
5) Nově se připravuje k využívání urychlovačový hmotnostní spektrometr Milea
6) Oddělení dozimetrie záření ÚJF je zapojeno do dozimetrického sledování podmínek na ISS a budoucích letů projektu Artemis

Podařilo se určit stáří dřeva z Milevského relikviáře

Kabina Orion pro let Artemis 1