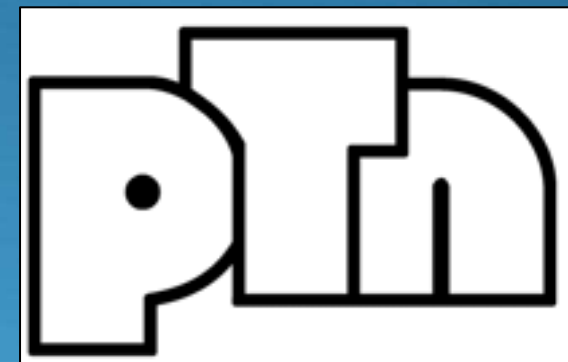


Ochrona radiologiczna a loty międzyplanetarne



**XVIII Konferencja Inspektorów Ochrony Radiologicznej 17-20.06.2015
Skorzęcin „Ochrona radiologiczna teraz i w przyszłości”**

**Wiesław Gorączko Politechnika Poznańska
Inspektor ochrony Radiologicznej, Edukator Energetyki Jądrowej, Polskie
Towarzystwo Nukleoniczne**

efekty post-radiacyjne

[mSv]

Bardzo wysokie ryzyko choroby

10.000mSv-śmierć po kilku dniach
5.000-1.500 mSv - śmierć 50% w miesiąc
2.000mSv-ostra choroba

Wzrost ryzyka zachorowania

Brak symptomów bezpośrednich

1.000mSv-5% umrze po roku
500mSv-zmiana obrazu krwi
100mSv-poziom graniczny zachorowań

Brak symptomów

Nie zarejestrowano zachorowań

20mSv/rok-limit pracowników zatrudnionych w narażeniu
9mSv/rok-załogi samolotów
2mSv/rok-średnie ziemskie tło
0,1mSv-pojedyncze zdjęcie rtg



oczy (wysokie dawki-
po miesiącu katarakta)

tarczyca (podatna na
wychwyt radiojodu)

płuca (wpływ na DNA
po skażeniu)

żołądek (wpływ na
DNA po skażeniu)

gonady (wysokie
dawki -sterylizacja)

skóra (wysokie dawki –
poparzenia i rak)

szpik kostny (wysokie
dawki – białaczka,
zaburzenia systemu
immunologicznego)

Gdy rozważa się dawki **bardzo wysokie** wprowadza się pojęcie dawki śmiertelnej (letalnej) – LD³⁰₅₀

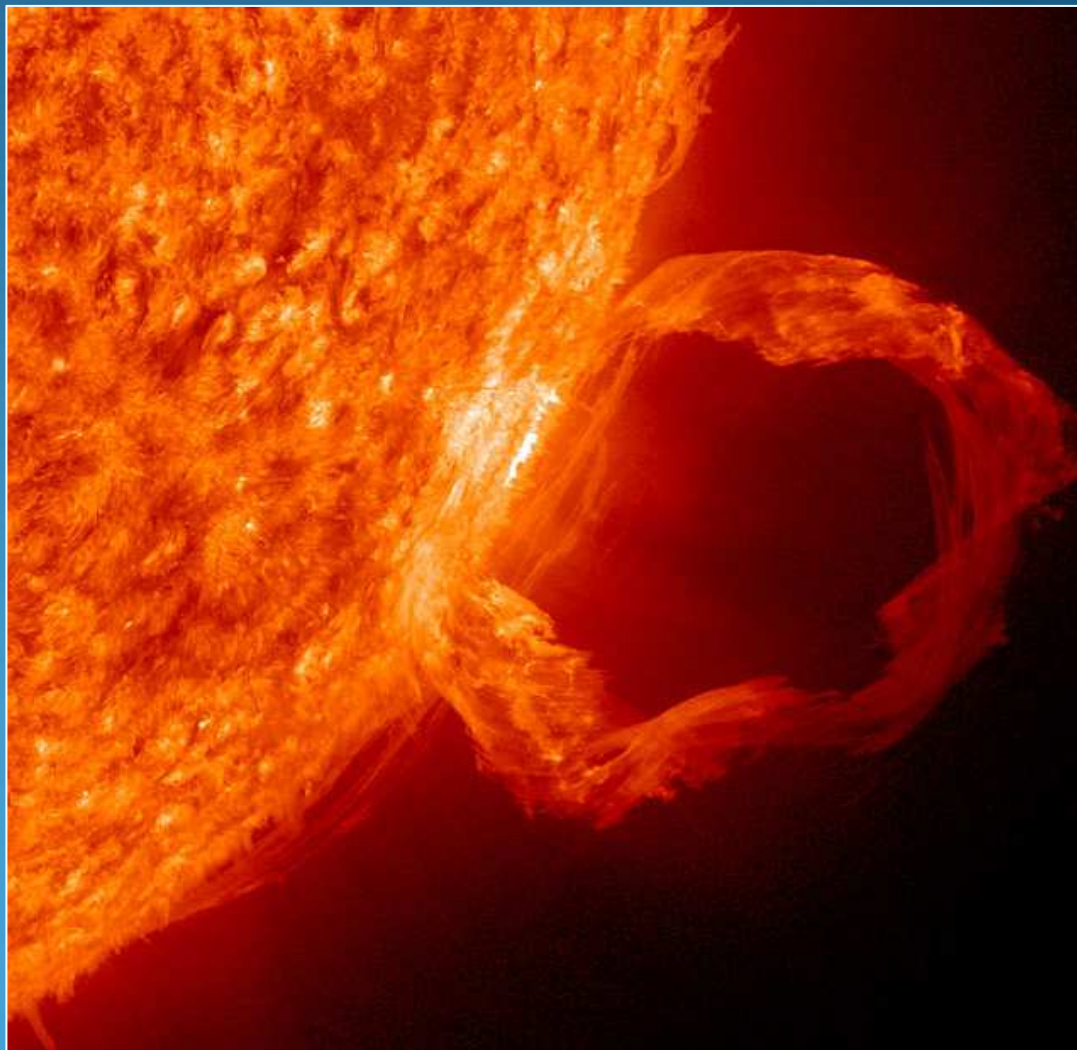
Jest to taka wielkość dawki, która powoduje zgon w ciągu 30 dni u 50% napromienionych organizmów (komórek).

| Organizm | LD ₅₀ ³⁰ [Sv] |
|-----------------|-------------------------------------|
| Wirusy | 5000 |
| Ameba | 1000 |
| Osa | 1000 |
| Wąż | 800 |
| Ślimak | 200 |
| Nietoperz | 150 |
| Kura domowa | 10 |
| Ryby | 8,5 |
| Szczur | 8 |
| Małpa | 5 |
| Człowiek | 2,5–3,0 |
| Pies | 2,6 |
| Świnia domowa | 2,2–2,7 |



Inny efekt związany z aktywnością Słońca - **wybuchy**.
Podczas największych erupcji na Słońcu moce dawki na
ISS wynosiły od **1 mSv/h** do **100 mSv/h**

Mniejsze lub większe
wybuchy są często ale
jedynie sporadycznie
(1-10/rok) towarzyszy
im wyrzut
wysokoenergetycznych
(10^9 eV) cząstek
(głównie protonów) w
kierunku Ziemi.



Największy wzrost dawki promieniowania spowodował wybuch z lutego 1956 r. Strumień protonów był niewielki (znane były wybuchy dziesięciokrotnie intensywniejsze) ale miały one bardzo wysokie energie.

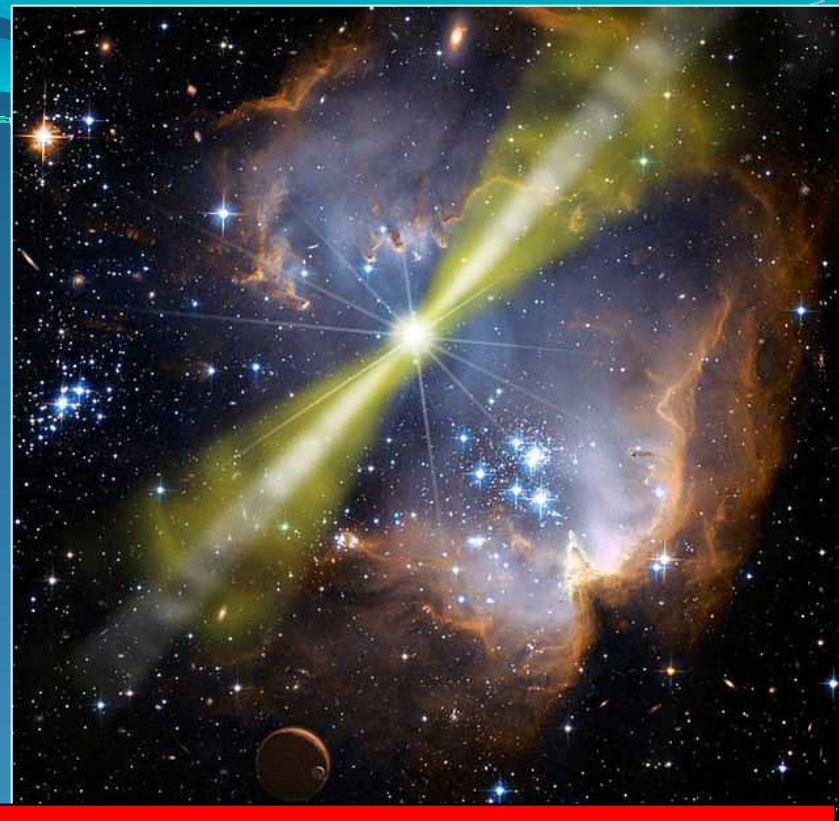
Moc dawki na 12 km wynosiła 10 mSv/h a na 20 km już około 30 mSv/h.



To ponad 100.000 razy więcej niż naturalne tło promieniowania (2,4 mSv/rok)

I jeszcze

Rozbłyski gamma pojawiają się podczas eksplozji gwiazd. Następuje przekształcenie gwiazdy w czarną dziurę lub w gwiazdę neutronową. Błyski gamma są chwilowe, ale bardzo intensywne.



W ciągu kilku sekund rozpadająca się gwiazda wyrzuca więcej energii niż Słońce przez całe swoje

**„życie”
Rozbłyski gamma są najsilniejszym źródłem promieniowania elektromagnetycznego we**

6

Wszelchświecie. Gdyby pojawiły się blisko Ziemi, bylibyśmy narażeni na śmiertelnie niebezpieczeństwo.

Astronauci - w przyszłości turyści kosmiczni - będą narażeni na dawki większe niż średnie na Ziemi, bowiem przebywać będą poza naturalnymi ziemskimi „parasolami” ochronnymi - magnetycznym i atmosferycznym.

Większość analizowanych oddziaływań zachodzi na wysokości około 25 km - na niskiej orbicie wokółziemskiej (LEO - Low Earth Orbit).

Czy loty w daleką przestrzeń kosmiczną będą bezpieczne?

Oglądamy osłabionych astronautów wracających po długim pobycie na orbicie. Często nie mają siły by stać.

To wpływ stanu nieważkości i zaburzeń gospodarki mineralnej organizmu. **Czy to cała prawda ?**

Niektórzy pracują w przestrzeni kosmicznej (EVA-extravehicular activity). **Czy to bezpieczne ?**

Otrzymują dużo wyższe dawki niż w kabinie. Skafander kosmiczny jest praktycznie „przeźroczysty” dla promieniowania.



Dzisiaj wiemy - po 115 dniowym pobycie na stacji MIR (ISS-International Space Station) astronauta otrzymali dodatkowo dawkę 150 mSv.

Jest to dawka dla której już obserwuje się **zmiany chromozomalne** (abberację chromosomów) i to stwierdzono dla uczestników załogi MIR.



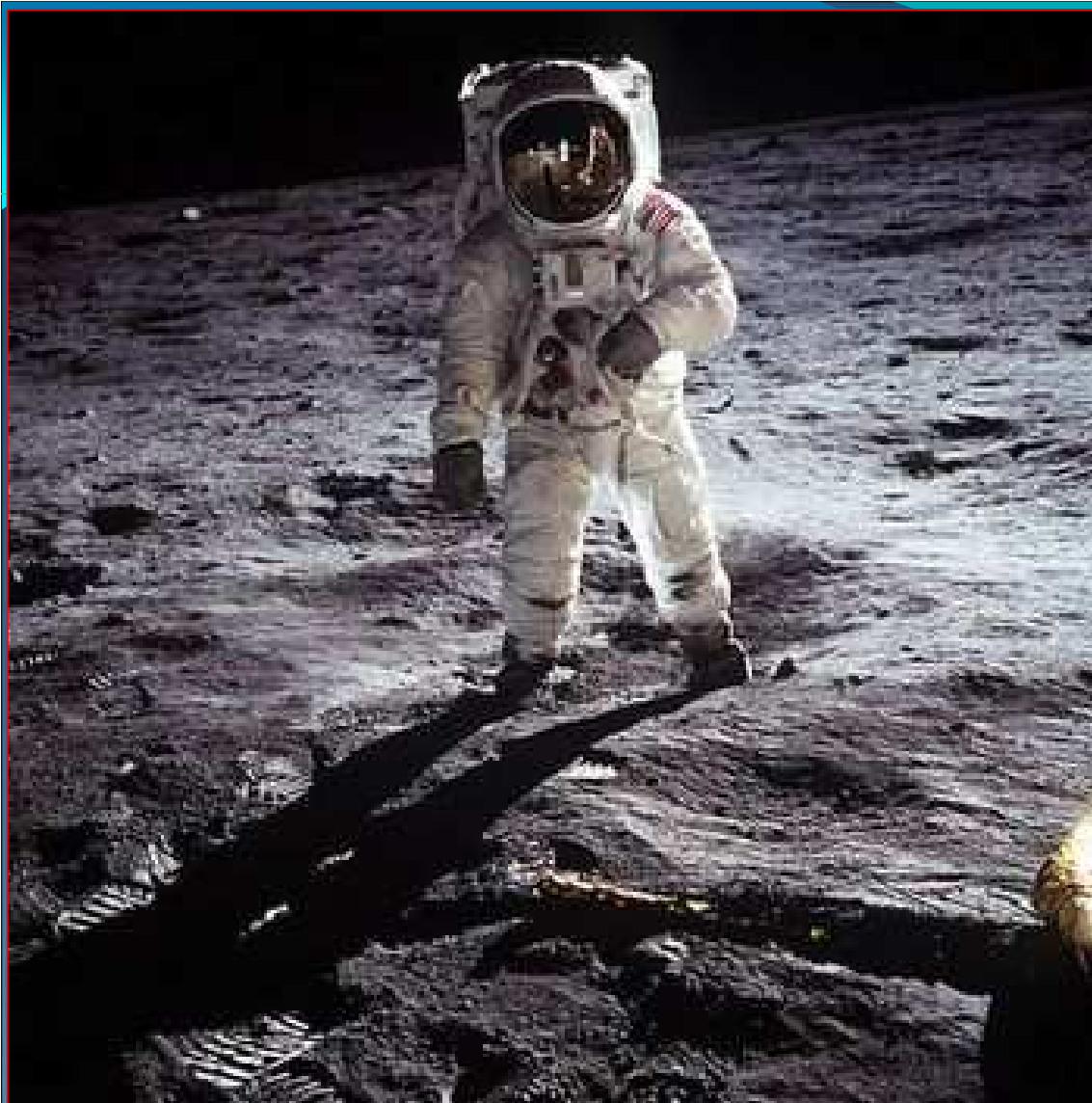
Pamiętajmy - badania na orbicie i na ISS to eksperymenty na granicy kosmosu.

W załogowej misji księżycowej Apollo 11 dozymetry na statku wykazały, że astronauta otrzymali dawkę około 12 mSv/10 dni (1,2 mSv/24h lub 430 mSv/rok).

Dużo to czy mało?

prześwietlenie rtg klatki piersiowej 0,1÷0,2 mSv
badanie izotopowe tarczycy lub serca 6÷7 mSv
badania mamograficzne - 0,7 mSv
skanning klatki piersiowej – 8 mSv
skanning całego ciała – 10 mSv

Naturalne tło promieniowania w Polsce - 2,4 mSv/rok,
co odpowiada dawce **180 razy mniejszej** niż w drodze
na Księżyc i z powrotem.



Dawka równoważna mSv/rok

| | Pracownik w narażeniu | Astronauta |
|--------------|--------------------------|-------------|
| Oczy | 150 | 900 (6x) |
| Skóra | 500 | 6.500 (13x) |
| Szpik kostny | 20 | 500 (25x) |

Dawki astronautów wydają się duże

W rzeczywistości są tylko 2-3 razy większe od tych, które od wieków otrzymują ze źródeł naturalnych mieszkańcy niektórych części Iranu, Indii, Brazylii czy Chin.

U astronautów biorących udział w programie Apollo nie zauważono żadnych negatywnych skutków zdrowotnych.

Czego możemy się spodziewać już na orbicie ?

**wzrostu prawdopodobieństwa zachorowania na raka
wzrostu ryzyka defektów genetycznych płodu dla astronautki w ciąży
wzrostu ryzyka defektów genetycznych w kolejnych pokoleniach oraz chorób tkanek i oczu (katarakta).**

Planując podróż międzyplanetarną lub jeszcze odleglejszą, zadać trzeba pytanie :
jakie jest zarażenie w odległości kilka tysięcy kilometrów od Ziemi i jeszcze dalej od niej ?

A w „czystym” kosmosie ?

Kosmos nie jest pustą przestrzenią. To obszar wypełniony pędzącymi w najróżniejszych kierunkach i z różnymi energiami cząstek i kwantów.

Głównymi procesami, które obserwujemy w przestrzeni kosmicznej są jonizacja atomów, cząsteczek i reakcje jądrowe.

By zrozumieć negatywne procesy, z którymi spotka się ludzki organizm należy przeanalizować podstawowe zjawiska – jonizację i radiolizę cząsteczek wody (stanowiących prawie 70% naszego organizmu).

Jonizacja to oderwanie elektronu od atomu (cząsteczki wody). To jest jonizacja pierwotna. Następnie zachodzą procesy wtórne, polegające na wędrówce elektronów. Powodują one po drodze powstanie stanów wzbudzonych, wolnych rodników, innych cząsteczek lub zerwanie wiązań w nich.

Radioliza to wywołanie procesów chemicznych wskutek dostarczenia do cząsteczki energii w postaci wysokoenergetycznych fotonów, cząstek naładowanych czy neutronów.

Produktami końcowymi obu zjawisk (w 90%) są uwolnione z cząsteczki atomy wodoru. Oderwane atomy wodoru łączą się w cząsteczki gazowego H₂, który opuszcza strukturę.

Proces taki obserwujemy nie tylko w strukturach organicznych ale także w polietylenie, polipropylenie, lekach, łożyskach plastikowych, kablach i smarach.



Mniej dotyczy to struktur metalicznych czy zespołów półprzewodnikowe. Dlatego – mimo kilkuletniej podróży w kosmosie – nie stwierdzono uszkodzeń podzespołów sondy Voyager.

Utrata wodoru jest nieunikniona, nieodwracalna i ostateczna. Konsekwencje dla struktur biologicznych i ważnych związków organicznych są bardzo poważne.

Oderwanie wodoru od helisy DNA powoduje jej uszkodzenie. Uszkodzenie jednej nici uruchamia procesy naprawcze. Przy zerwaniu obu nici proces naprawczy jest bardzo mało prawdopodobny.

Jakie są skutki wieloletniego lotu – długotrwałego napromienienia ?

Procesowi ciągłego odrywania wodoru towarzyszyć będzie uwolnienie także innych pierwiastków ze struktury organicznej.

Pozostanie jedynie węgiel i składniki mineralne.

Organizm biologiczny pozostanie w formie szkieletowej o ciemnej barwie – to tzw. zwęglenie radiacyjne. Stwierdzono, że „próżnia kosmiczna” sprzyja procesowi zwęglenia radiacyjnego, prowadząc do mineralizacji, bowiem i węgiel po określonym czasie także uwolni się ze struktury.

Zatem długoletnią podróż kosmiczna nie jest w stanie przetrwać żadna forma życia, nawet zliofilizowana w próżni forma przetrwalnikowa.

Nawet wirusy mają swoją graniczną dawkę LD. Stwierdzono, że bakterie w polu promieniowania „otorbiają się” (budują własną osłonę) tworząc tzw. radioduransy ale ich granice wytrzymałości na promieniowanie także są ograniczone.

Niektórzy pisarze science-fiction proponują hibernację astronautów.

Co na to radiologia ?

Po pierwszym roku podróży najprawdopodobniej nie zauważono by żadnych negatywnych zmian w organizmie. Zwolniona przemiana materii spowalniałaby post-radiacyjne efekty.

Po 5-ciu latach reanimacja byłaby już niemożliwa a po 10-ciu astronauta byłby na pewno martwy.

Ale przed startem astronauta w swoim organizmie miał sporo bakterii (bo nie był sterylizowany) zatem choć jego ciało jest martwe to drobnoustroje, bakterie i wirusy ciągle w nim żyją.

Po 10 latach w komorze hibernacyjnej znajdziemy straszny obraz szczątków astronauty. Bezkształtna i półciekła forma koloru brunatnego (wskutek odwodornienia, ucieczki związków siarki i azotu i działań drobnoustrojów) lub nawet – dla dłuższych od 10 lat podróży – czarna zwęglona radiacyjnie masa a w niej zmineralizowany szkielet astronauty.



PROBLEMY FIZJOLOGICZNE

- 1. Redystrybucja płynów ustrojowych**
- 2. Utrata płynów**
- 3. Zaburzenia elektrolitów**
- 4. Zmiany kardiologiczne**
- 5. Utrata czerwonych ciałek krwi**
- 6. Atrofia mięśni**
- 7. Osteoporoza (1-2% na miesiąc)**
- 8. Hiperkalcemia**
- 9. Zmiany systemu odpornościowego**
- 10. Dezorientacja przestrzenna**
- 11. Nudności, wymioty, bóle głowy**
- 13. Zmniejszenie chęci do pracy**
- 14. Zaburzone zmysły powonienia i smaku**

Jak chronić się przed promieniowaniem jonizującym?

Na to nie mamy wpływu – może trochę

$$D = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{k \cdot l^2}$$

Zmniejszenie czasu podróży

Osłony

Odległość

Inne metody ograniczenia ryzyka przy ekspozycji na promieniowanie kosmiczne

nowe metody napędu (skrócenie czasu wyprawy)

**ocena indywidualnej radiowrażliwość astronautów przy
wyborze załogi (etyka?)**

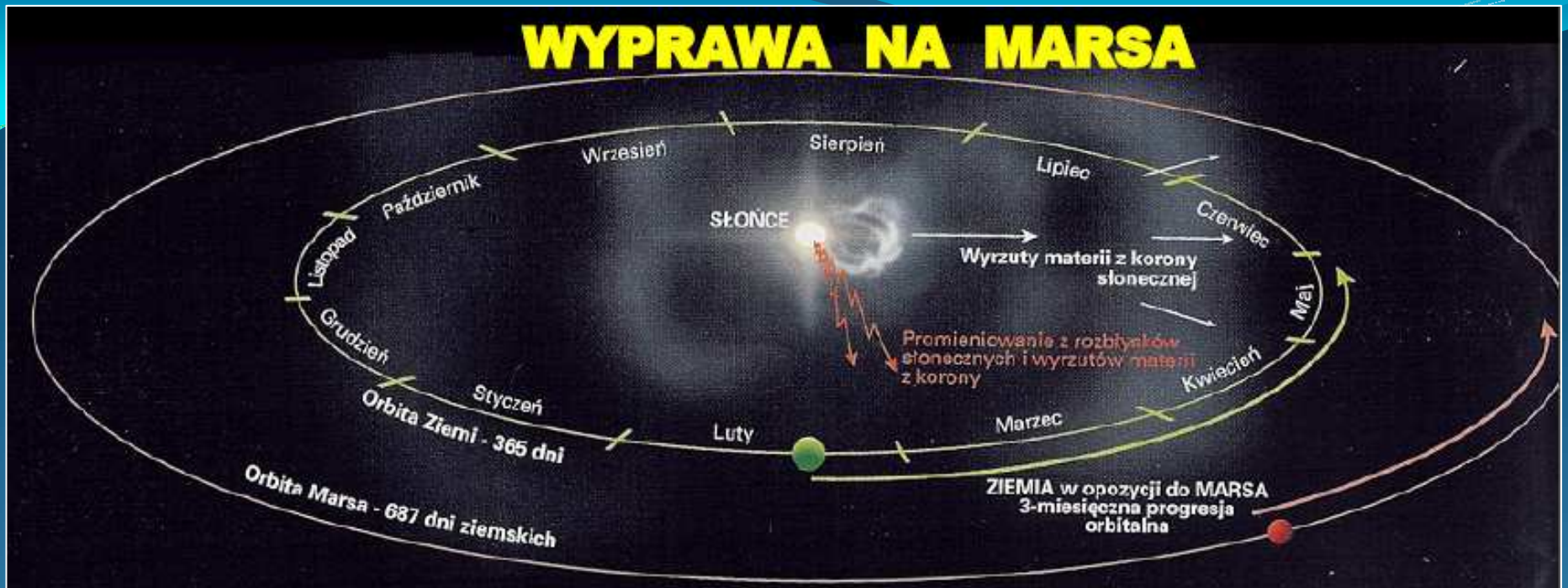
wybór okresu cyklu słonecznego (unikanie burz)

radioprotektory farmakologiczne (słaby postęp)

wyposażenia statków kosmicznych w schrony burzowe

budowa w bazach kosmicznych podziemnych schronów

WYPRAWA NA MARSZA



DZIEŃ 1
OPUSZCZENIE ZIEMI



DZIEŃ 259
PRZYBYCIE NA MARSZA



DZIEŃ 714
OPUSZCZENIE MARSZA



Pozostawanie na powierzchni przez 455 dni

DZIEŃ 972
PRZYBYCIE NA ZIEMIĘ



NATIONAL GEOGRAPHIC MAPS

Promieniowanie w drodze na Marsa

Wyprawa na Marsa, penetracja i powrót – ≥ 1000 mSv

Podróż 360 dni – 662 ± 108 mSv

Podróż 210 dni - 386 ± 63 mSv

25% to Galactic Cosmic Rays - trudne do osłony bez materiałów o dużej gęstości

Osłony w czasie podróży na Marsa

Osłona strukturalna statku przed cząstkami słonecznymi. Materiały o masie powierzchniowej 10-15 g/cm². Osłony nie będą skuteczna dla wybuchów słonecznych. W tym przypadku wcześniej astronauta będą przechodzić do specjalnych modułów i czekać. Moduł będzie umieszczony w specjalnym zbiorniku wodnym otoczonym materiałem o 40 g/cm². Szacuje się, że zdarzenie takie wystąpi 1 raz na 2 miesiące a zatem 3-4 w czasie całej wyprawy. Czas trwania do kilku dni.

Promieniowanie na Marsie

Na powierzchni Marsa jest większe natężenie promieniowania niż na Ziemi. Dawkę skuteczną szacuje się na około $30 \mu\text{Sv}/1\text{h}$ ($262 \text{ mSv}/\text{rok}$) w czasie minimum aktywności Słońca i $15 \mu\text{Sv}/1\text{h}$ w czasie maksimum aktywności Słońca. Astronaucci pracujący poza bazą przez 3 godziny w ciągu 3 dni otrzymają dodatkowo ponad $11 \text{ mSv}/\text{rok}$.

Dawka skuteczna związana **TYLKO** z pobytem to około $300 \text{ mSv}/\text{rok}$. A jeszcze trzeba – **CHYBA** – wrócić na Ziemię ?

Baza na Marsie

Musi ona osłaniać astronautów przed promieniowaniem kosmicznym – 5 m gruntu marsjańskiego jest równoznaczne atmosferze ziemskiej



?

bzdura

CZY PRZEŻYJEMY PODRÓŻ NA MARSA?

TAK

ALE

MUSIMY

Zapewnić ochronę załogi przed promieniowaniem kosmicznym poprzez:

- a) osłony stałe i magnetyczne
- b) skrócenie czasu ekspedycji - lotu
- c) prognozowanie „pogody” kosmicznej
- d) kontrola dawek indywidualnych astronautów
- e) ograniczenie dawki astronautów do 0,5 Sv w ciągu jednego roku i 4 Sv w całej karierze

Wytworzyć sztuczną grawitację dla zapobieżenia niekorzystnym wpływom fizjologicznym długotrwałego pobytu w stanie nieważkości

Ekspozycja całkowita

Cała wyprawa 1000 dni czyli 3 lata

Dawka:

- 1. Prom. galaktyczne (lot) 600 mSv/rok**
- 2. Prom. galaktyczne (pow. Marsa) 100 – 200 mSv/rok**
- 3. Składowa słoneczna ???**

Dawka sumaryczna (2 lata podróz i 1 rok pobytu) :

$$1000 \text{ mSv} + 300 \text{ mSv} = \mathbf{1300 \text{ mSv} !!}$$

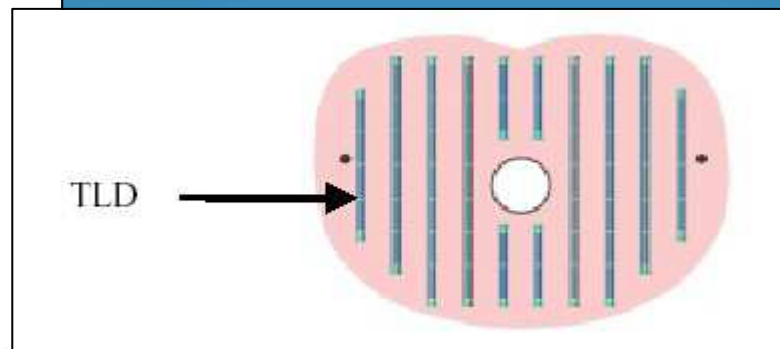
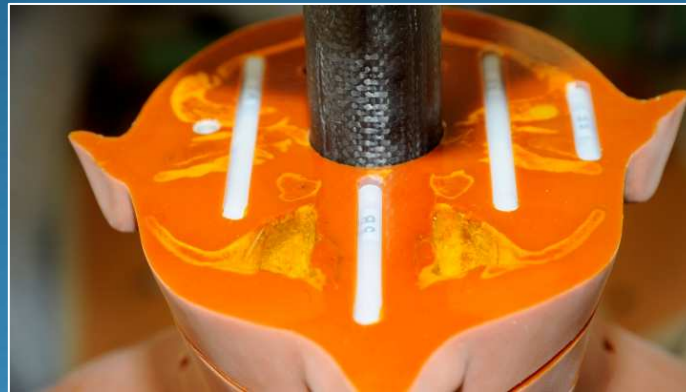
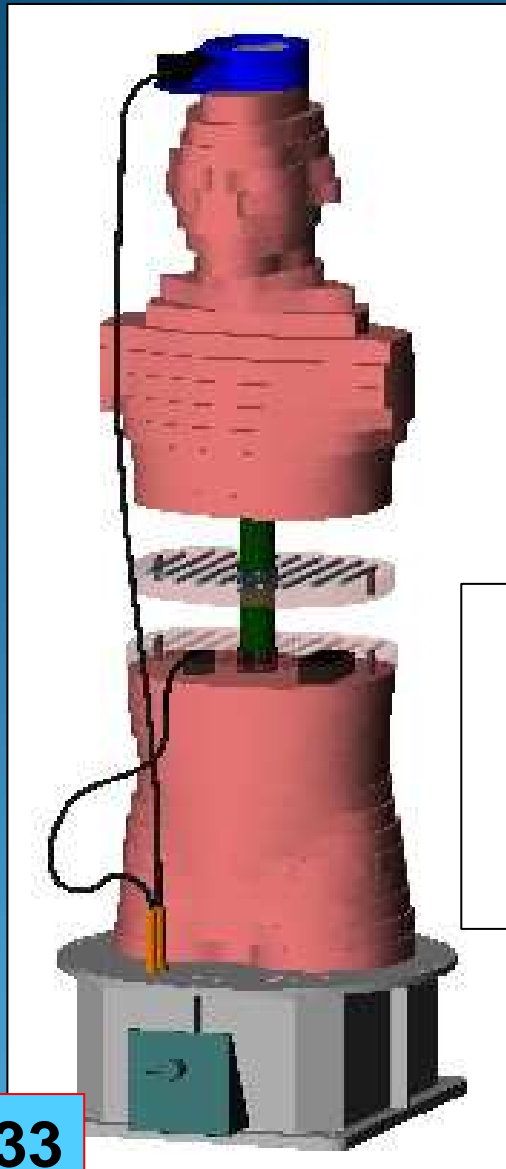
Czy przeżyjemy ?!

Pamiętajmy :

1.500 - 5.000 mSv – śmierć 50% astronautów w miesiąc

1.000 mSv - 5% załogi umrze po roku

Eksperyment Matroshka – pomiar dawek narządowych na orbicie





fantom



ponczo

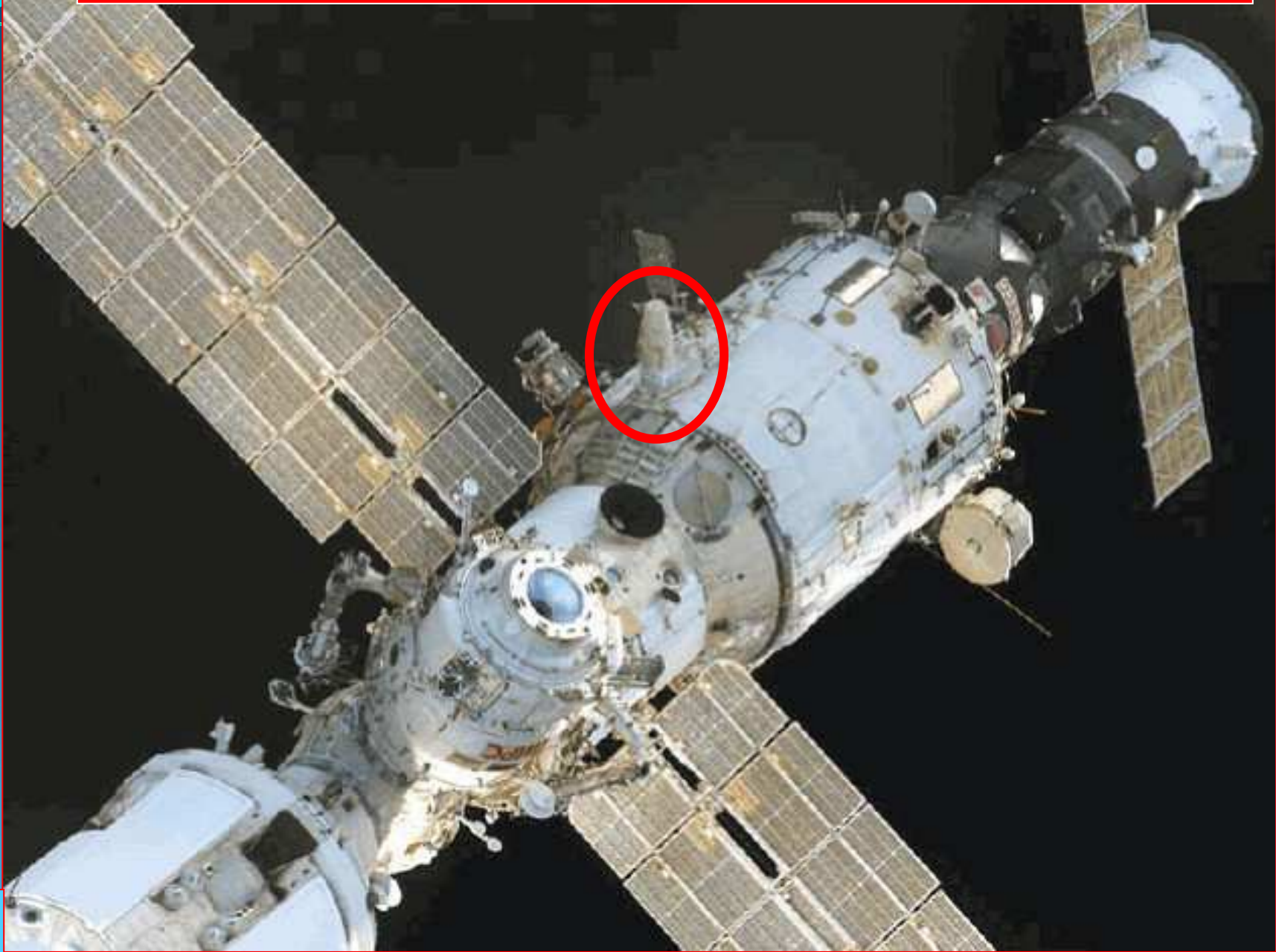


kontener



komplet

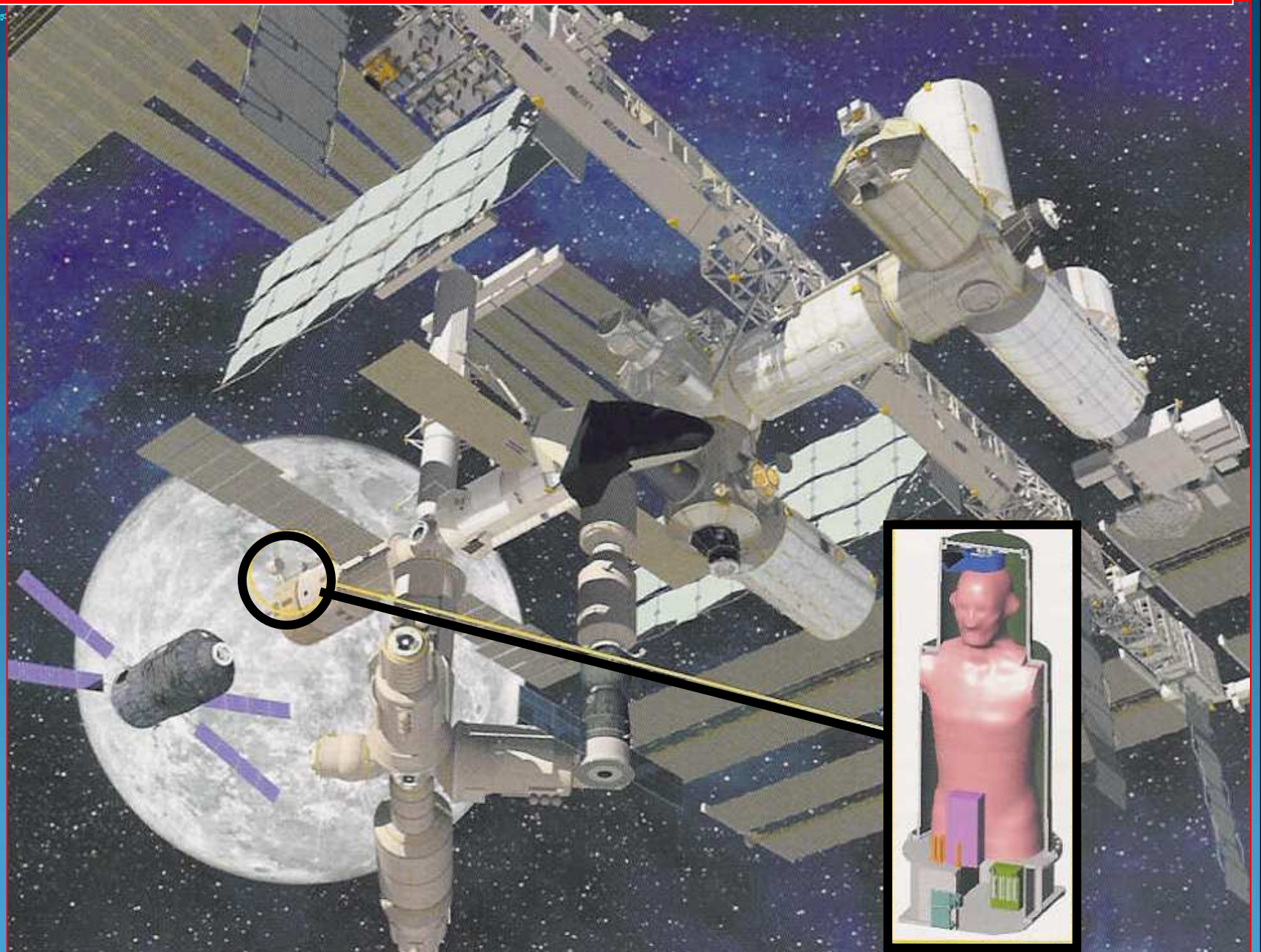
MATROSHKA na rosyjskiej stacji kosmicznej ISS



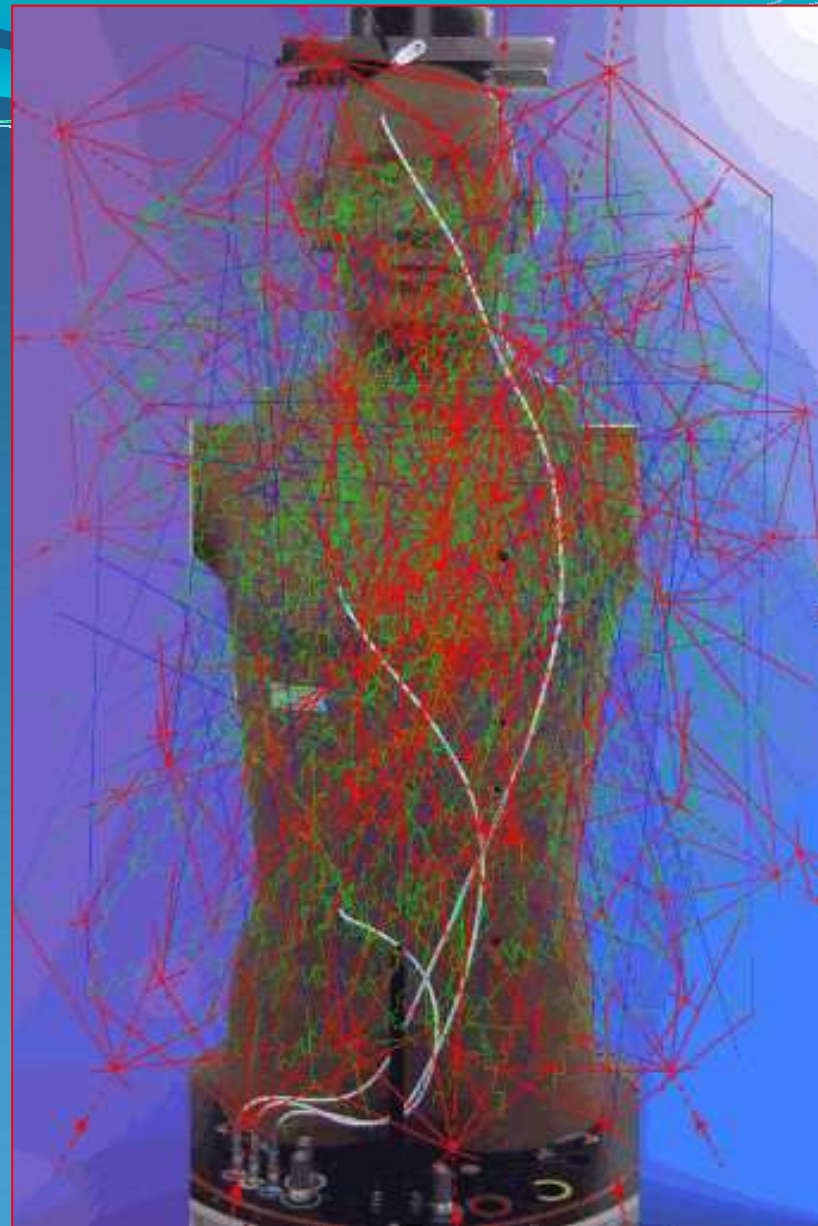
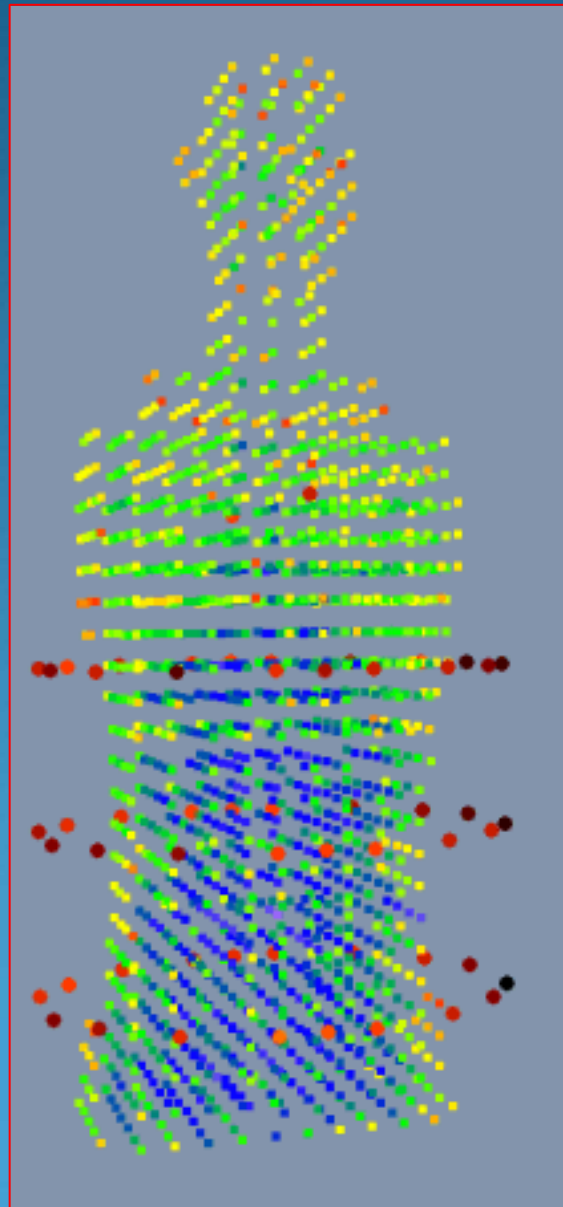
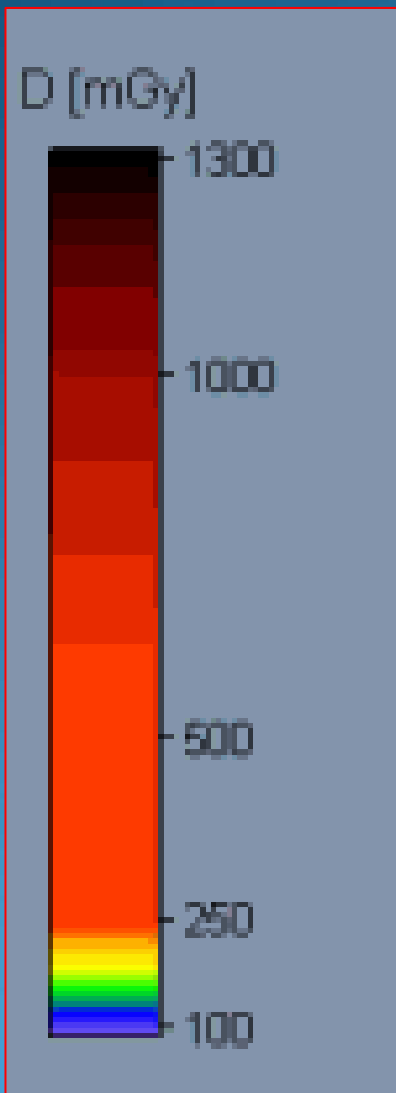
Przebieranie Matroszki

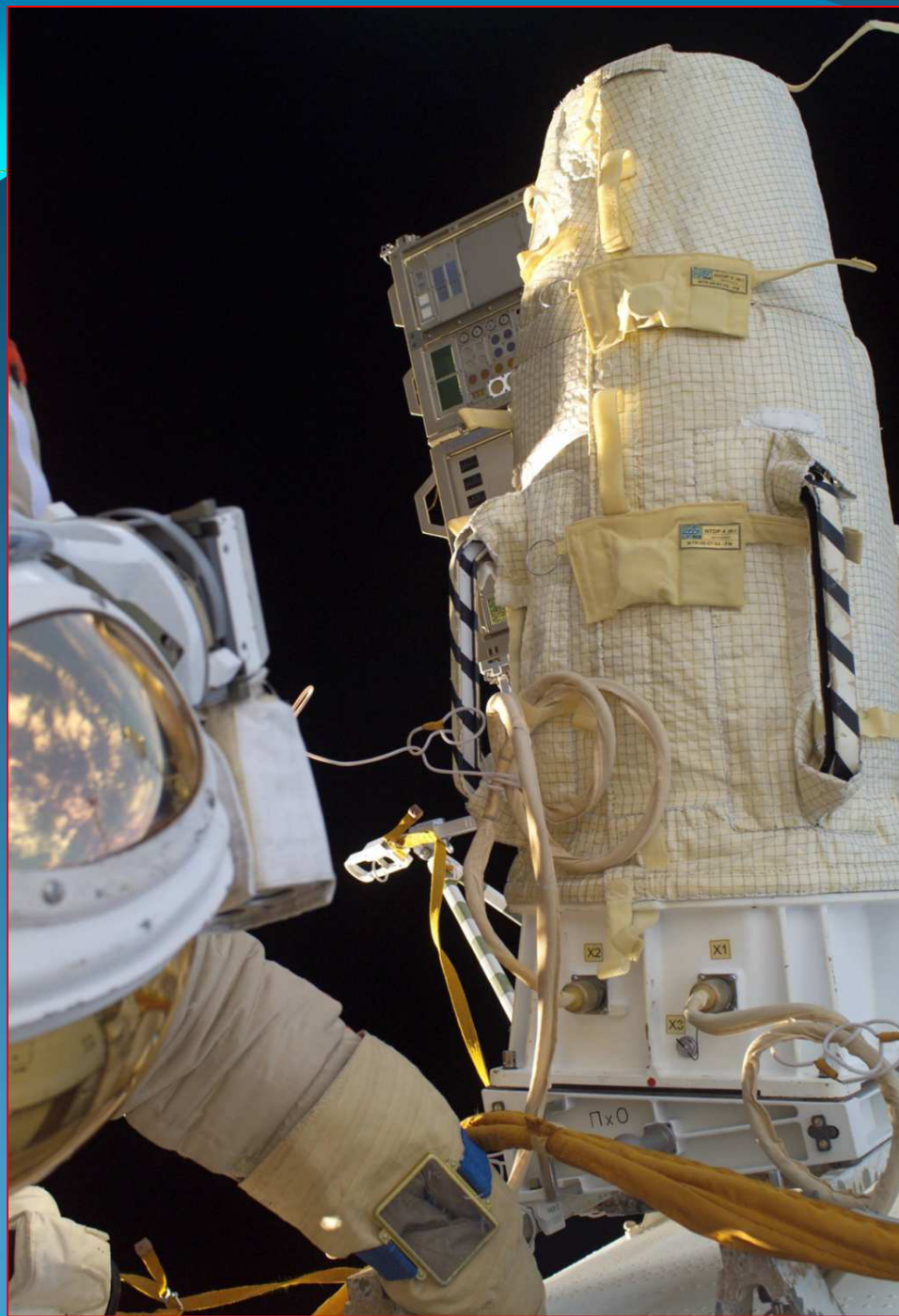


MATROSHKA na amerykańskiej stacji kosmicznej ISS



Rozkład dawek





Zmierzone dawki

**Dawki w fantomie:
110 -250 mGy**

**Na skafandrze:
do 1000 mGy**

**Czas ekspozycji:
1 rok**

Dziękuję

za uwagę