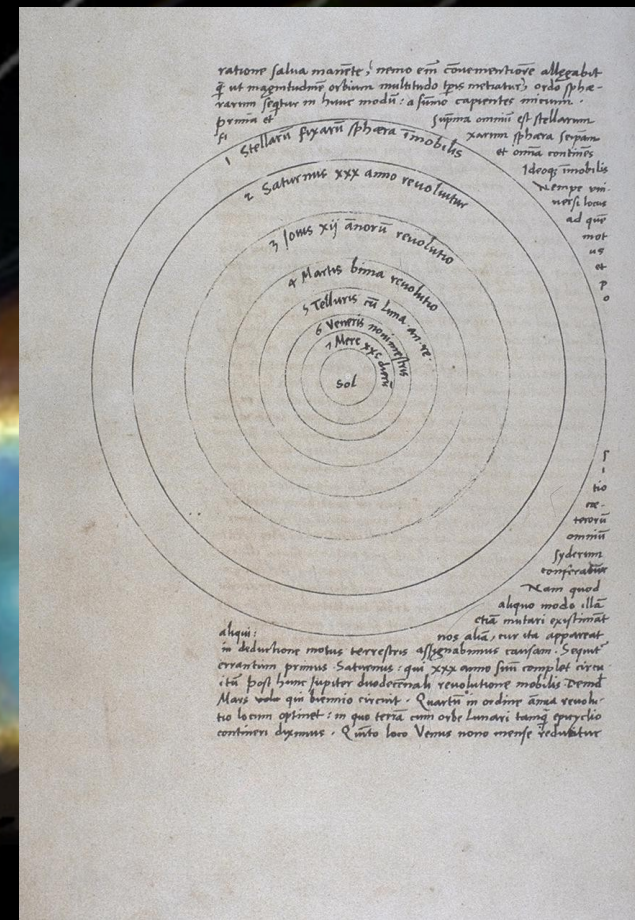
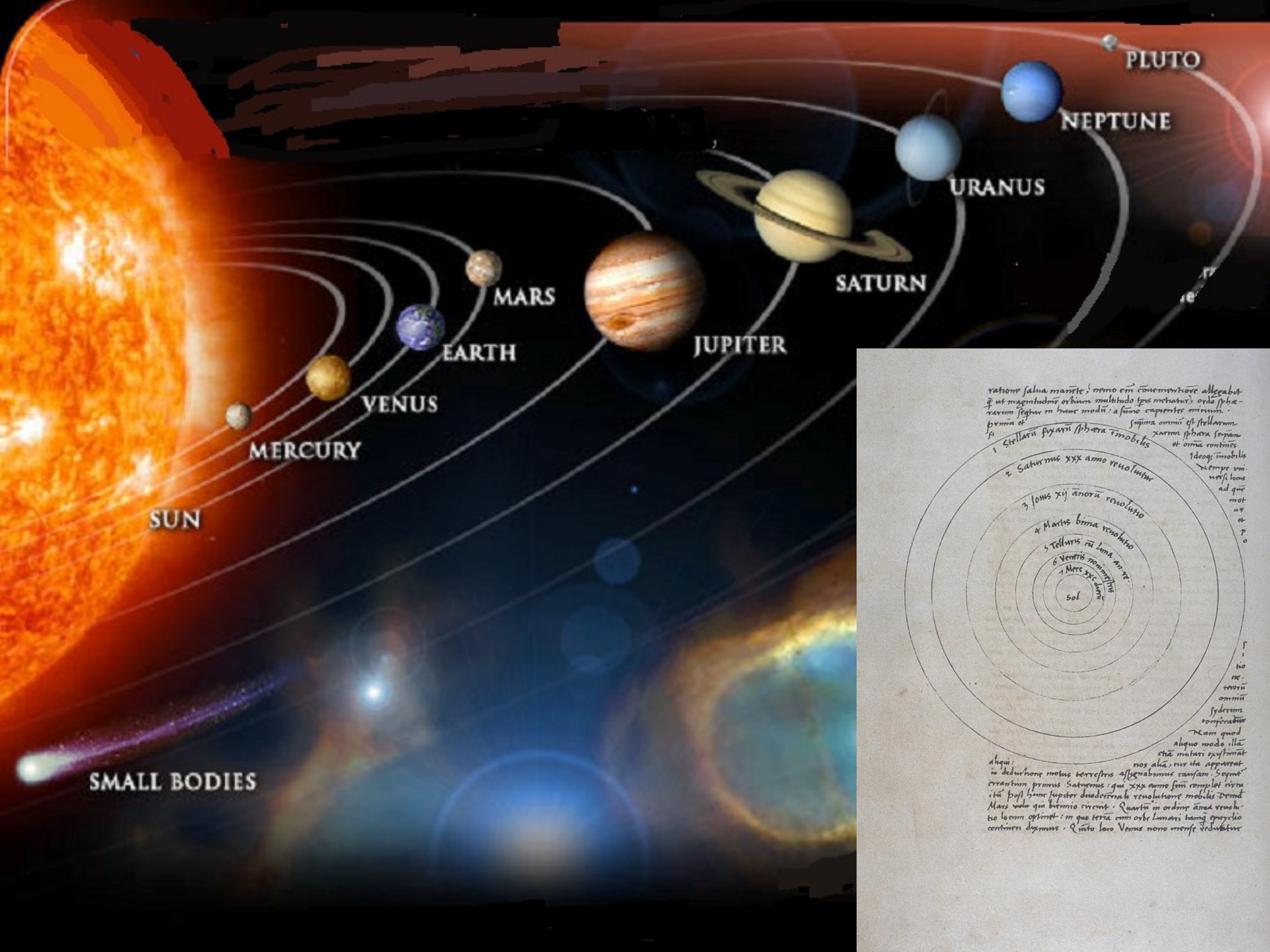


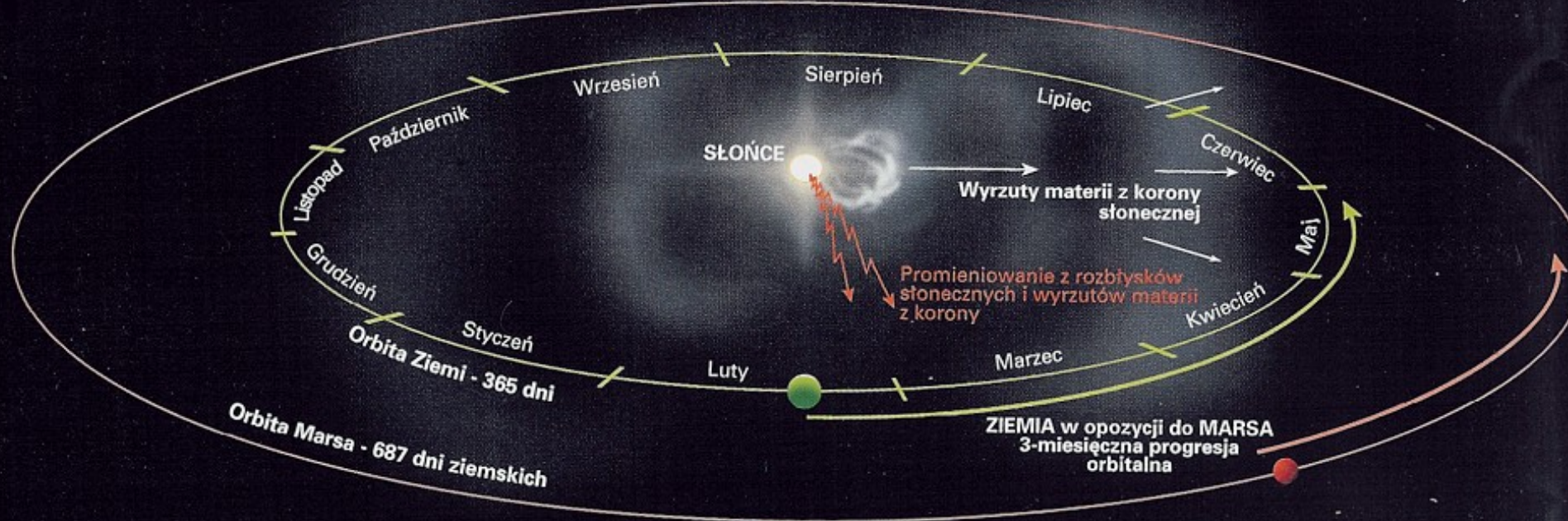
Radiologiczne aspekty załogowej wyprawy na Marsa



- **Czy promieniowanie kosmiczne może zagrozić załodze?**
- **Jak szacujemy narażenie?**



WYPRAWA NA MARSZA



DZIEŃ 1
OPUSZCZENIE ZIEMI



DZIEŃ 259
PRZYBYCIE NA MARSZA



DZIEŃ 714
OPUSZCZENIE MARSA

Pozostawanie
na powierzchni
przez 455 dni



DZIEŃ 972
PRZYBYCIE NA ZIEMIĘ

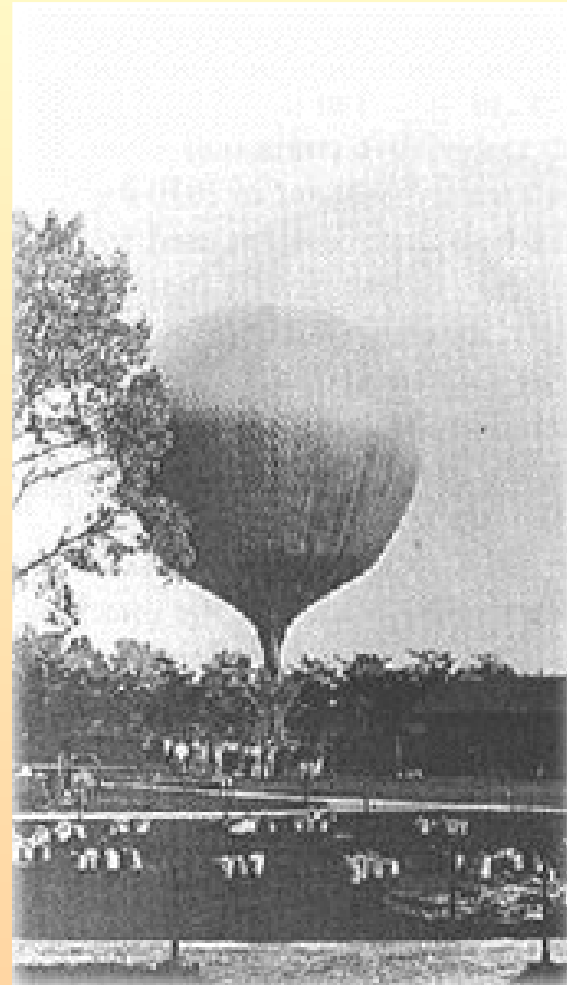


NATIONAL GEOGRAPHIC MAPS

Promieniowanie kosmiczne

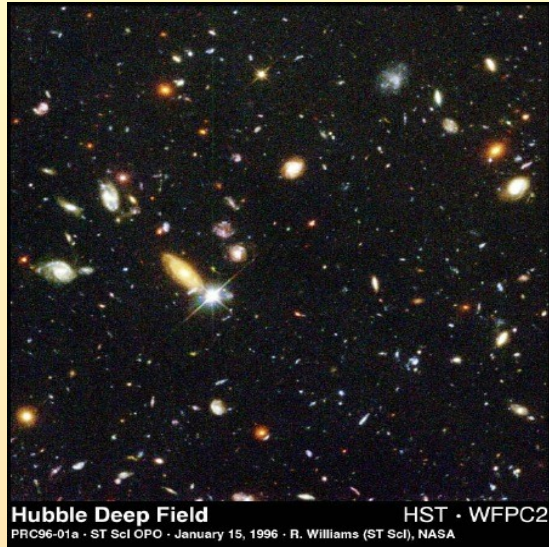


Odkrycie: V. Hess, 1912
Nagroda Nobla 1936



Pułap 5360 m

Skład promieniowania kosmicznego



SKŁADOWA GALAKTYCZA

kierunek: izotropowy energia
maks. do 10^{20} eV

Protony	97 %
He	2 %
Inne	1 %



SKŁADOWA SŁONECZNA

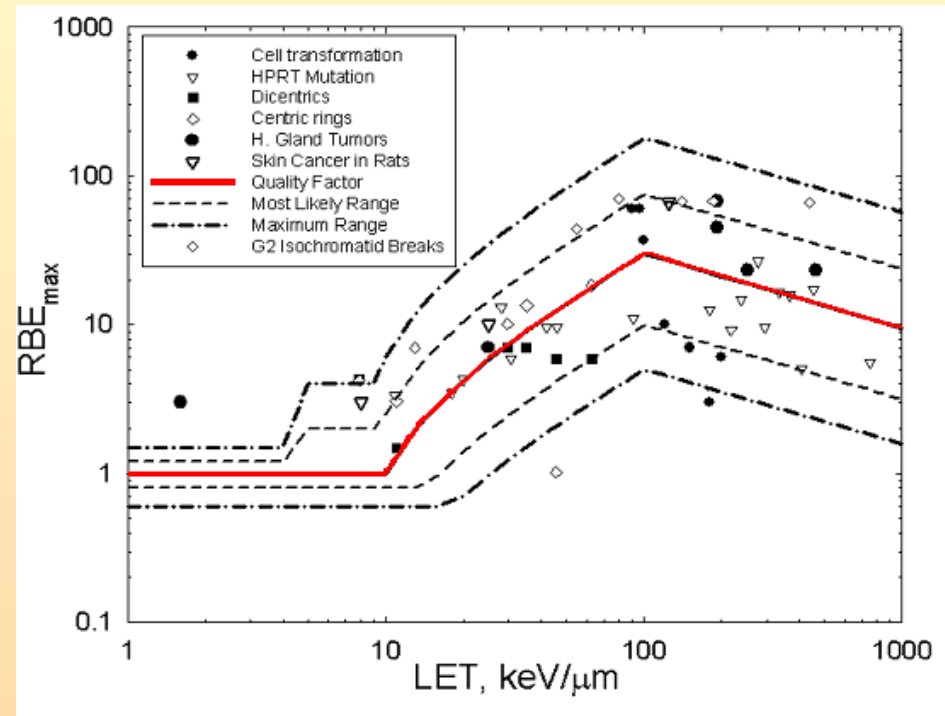
„prawie” równoległa wiązka
protonów, znacznie niższe
energije (1-1000 MeV)

Ochrona przed promieniowaniem - wartości dawek i dawki graniczne

$$D = \frac{dE}{dm}$$

$$\frac{J}{kg} = 1 \text{ grej [Gy]}$$

$$H = D Q \quad \text{siwert [Sv]}$$



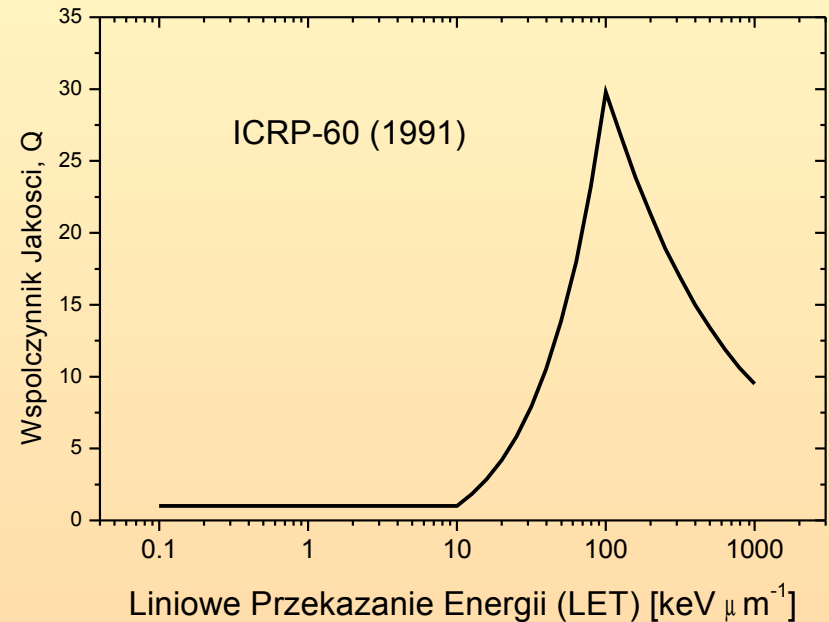
- tło naturalne w Polsce 2.4 mSv/rok

- dawka graniczna dla zatrudnionych 20 mSv/rok

Ochrona przed promieniowaniem - wartości dawek i dawki graniczne

$$D = \frac{dE}{dm} \quad \frac{J}{kg} = 1 \text{ grej [Gy]}$$

$$H = D Q \quad \text{siwert [Sv]}$$



- tło naturalne w Polsce 2.4 mSv/rok
- dawka graniczna dla zatrudnionych 20 mSv/rok

Skutki działania dawek promieniowania jonizującego na organizm człowieka

DETERMINISTYCZNE:

(napromienienie jednorazowe)

- zgon
- choroba popromienna

DAWKA

[mSv]

> 2500-3000

> 1000

STOCHASTYCZNE

- choroba nowotworowa
- zmiany genetyczne

RYZYSKO

0.05 / 1000 mSv

0.01 / 1000 mSv

Podczas największych erupcji na Słońcu możliwe zwiększenie mocy dawki na stacji kosmicznej do 1 mSv/h–100 mSv/h

Poziomy ekspozycji dla pojedynczej ekspozycji

skutki deterministyczne

Obserwowane zmiany w obrazie krwi	500 mSv
Wymioty	1000 mSv
Zgon (LD50)	1500 mSv
Zgon (przy zastosowaniu leczenia)	3000-5000 mSv

Względna promienioczułość narządów wyznaczona na podstawie wyników epidemio- logicznych z Hiroshimy i Nagasaki



Dawka 1000 mSv -> ryzyko
zgonu 5%

NARZĄD	Względny udział w uszczerbku dla zdrowia	Wagowe czynniki narządowe, w_T (1990)
Gonady	0.203	0.20
Szpik kostny	0.143	0.12
Okreźnica	0.141	0.12
Płuca	0.111	0.12
Żołądek	0.139	0.12
Pęcherz moczowy	0.040	0.05
Gruzoły piersiowe	0.050	0.05
Wątroba	0.022	0.05
Przelyk	0.034	0.05
Tarczycyca	0.021	0.05
Skóra	0.006	0.01
Kości	0.009	0.01
Pozostałe	0.081	0.05

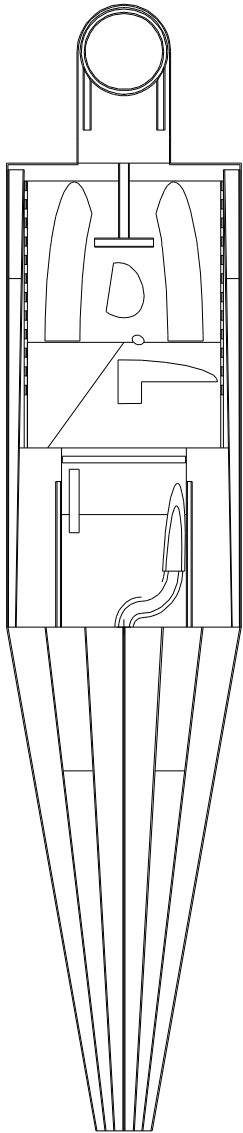
DAWKA EFEKTYWNA, E

Jest miarą ryzyka zgonu z powodu nowotworu

$$E = \sum_T w_T \sum_R D_{T,R} w_R$$

w_T - wagowe współczynniki narządowe (tkankowe)

w_R - wagowe współczynniki jakości promieniowania



REDUKCJA DAWKI PROMIENIOWANIA KOSMICZNEGO NA POWIERZCHNI ZIEMI

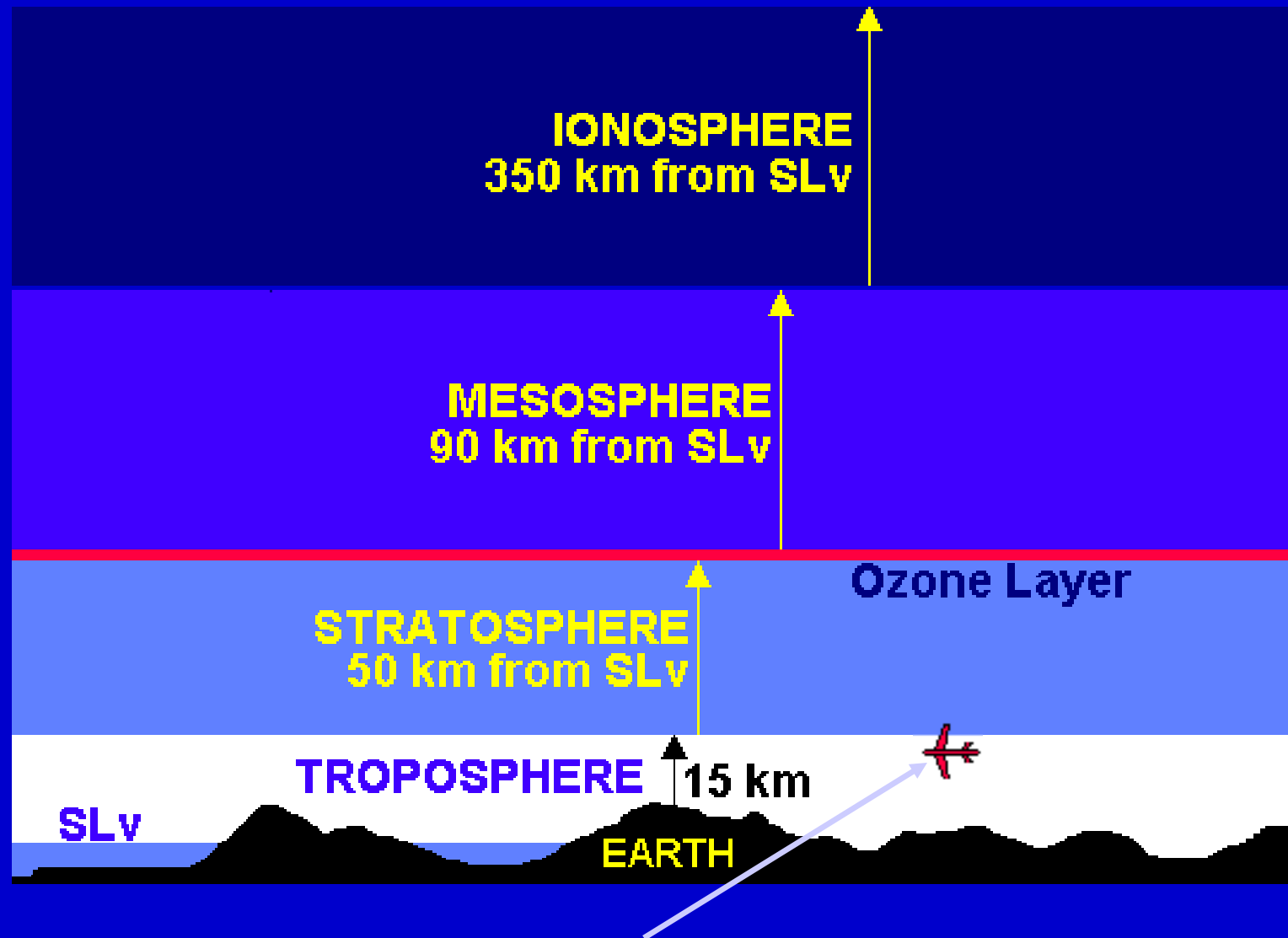
-warstwa atmosfery

Miejsce	Wysokość n.p.m. [m]	Moc dawki [$\mu\text{Sv/h}$]
Szczecin	0	0.038
Kraków	200	0.041
Bukowina Tatrzańska	1000	0.058
Kasprowy Wierch	1987	0.095
Mt. Everest	8848	1.47
K2	8611	1.56

-pole magnetyczne Ziemi



Struktura atmosfery



Typowa wysokość lotu samolotu pasażerskiego: 9 - 14 km

Moc dawki promieniowania kosmicznego na pokładzie samolotów

Typowa moc dawki: 0.005-0.009 mSv/h i.e. 100 razy więcej niż na poziomie morza



dr P. Bilski



dr T. Horwacik

Wyniki:

- Piloci na trasach Polska – USA otrzymują 6 mSv po około 800 godzinach lotu

- wszyscy piloci otrzymują dawki powyżej 1 mSv

Badania narażenia personelu latającego LOT na promieniowanie kosmiczne (2000-2002)



Dawki na pojedynczy lot (μSv)

Chicago – Warszawa	27.4	59.2
New York – Kraków	26.3	55.2
Bangkok – Warszawa	26.7	36.9
Hurghada – Warszawa	9.5	12.5
Paryż – Warszawa	6.6	10.4
Kraków – Warszawa	0.16	0.80

Narażenie na promieniowanie podczas lotu na MARSA

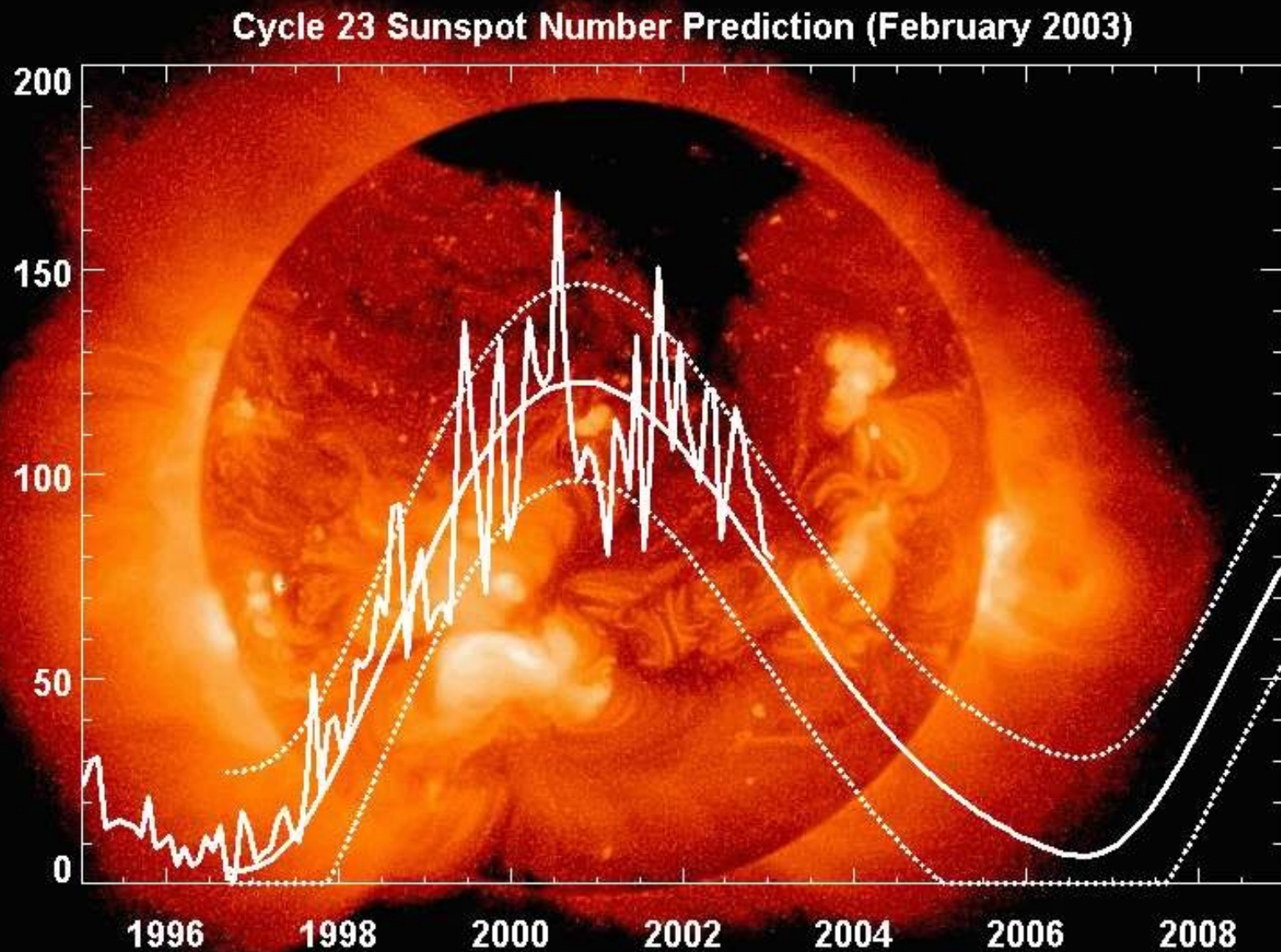
Założenia NASA:

- wykluczyć możliwość skutków deterministycznych
- ograniczyć ryzyko nowotworu do 4%

Dawka:

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

„WYBUCHY” NA SŁOŃCU



„WYBUCHY” NA SŁOŃCU

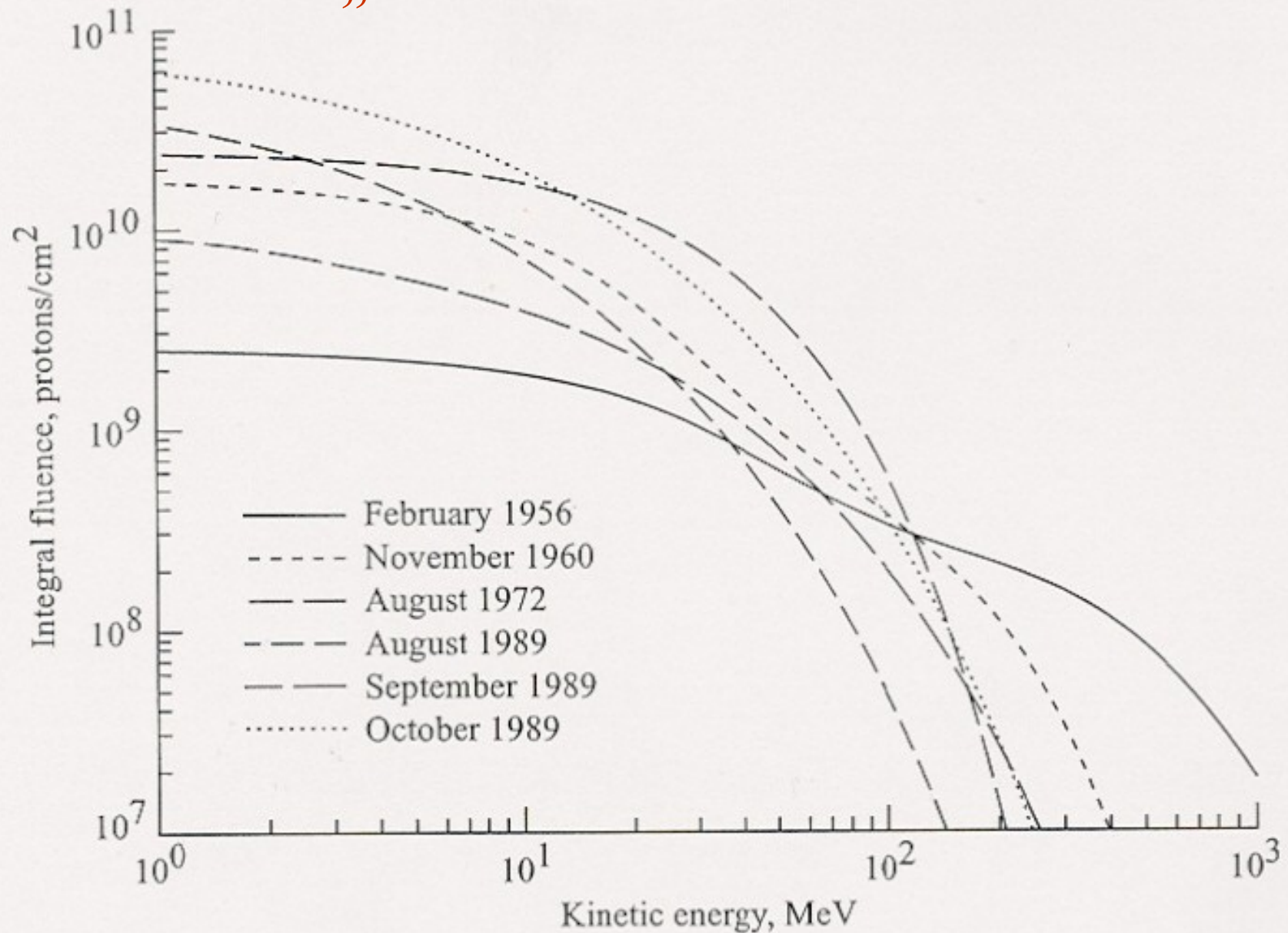


Figure 3. Large solar proton event integral fluence spectra at 1 au.

Zmiana strumienia protonów na orbicie okołoziemskiej sierpień 1972

W ciągu 14 godzin nastąpił
ponad 100-krotny wzrost moc
dawki

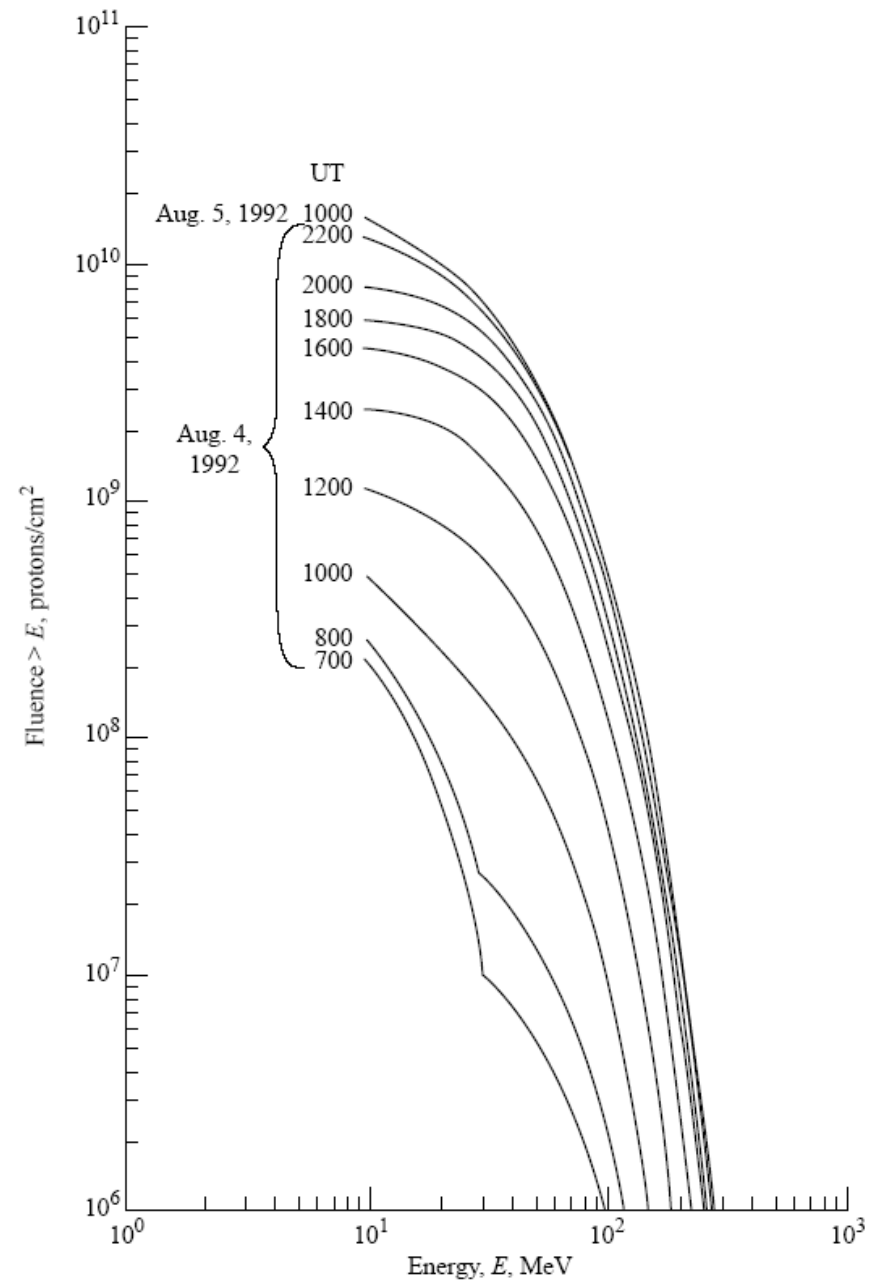


Figure 1. Fluence from August 1972 solar event as function of time and energy.

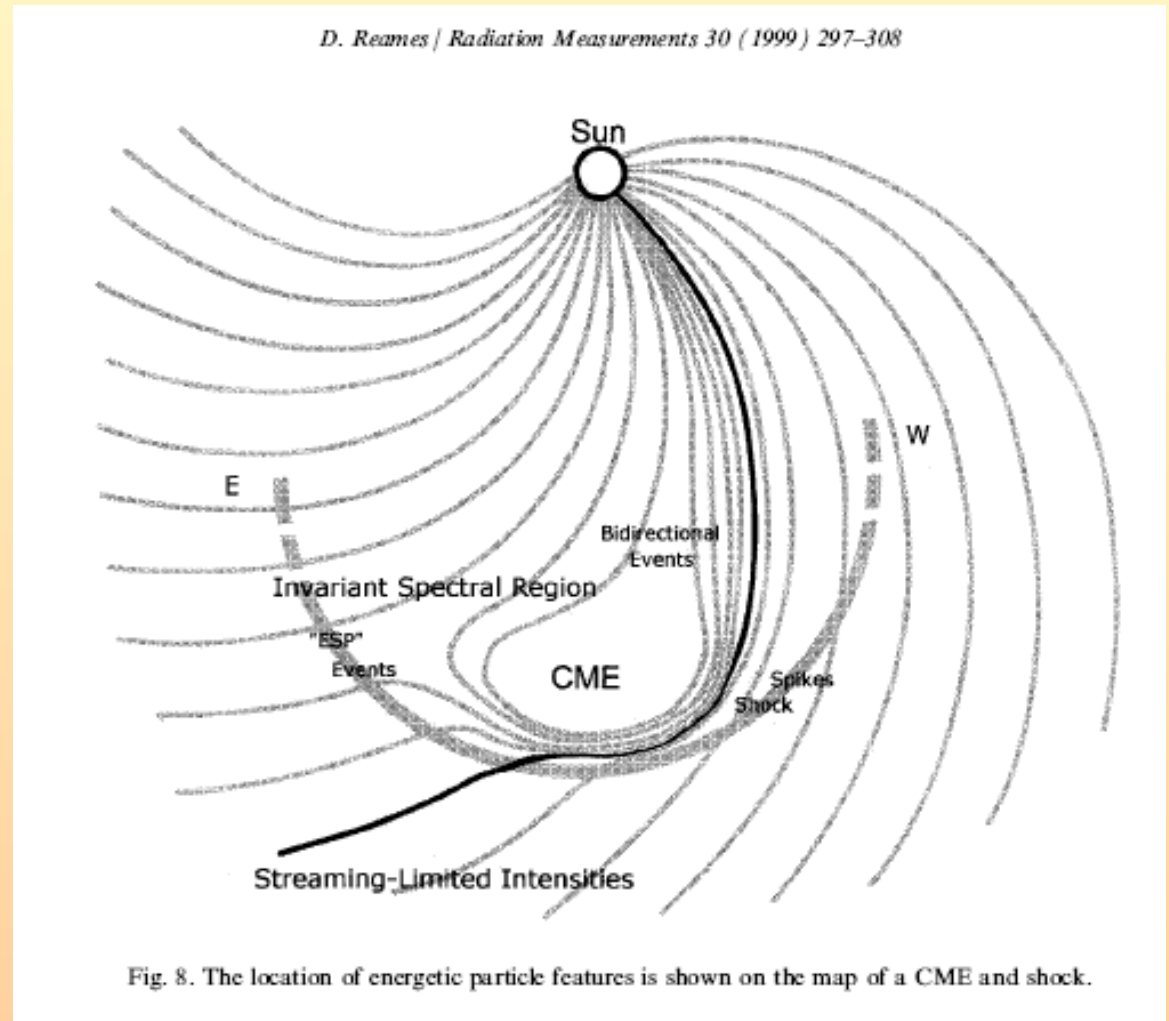
Czy będzie czas aby się schować?

-rozbłyski słoneczne
oraz wyrzuty materii z
korony -> małe dawki

-największe
intensywności w wyniku
transportu cząstek
przez „fale
uderzeniową”

-czas dotarcia czoła
fali na odległość
Ziemi ok. 12 h

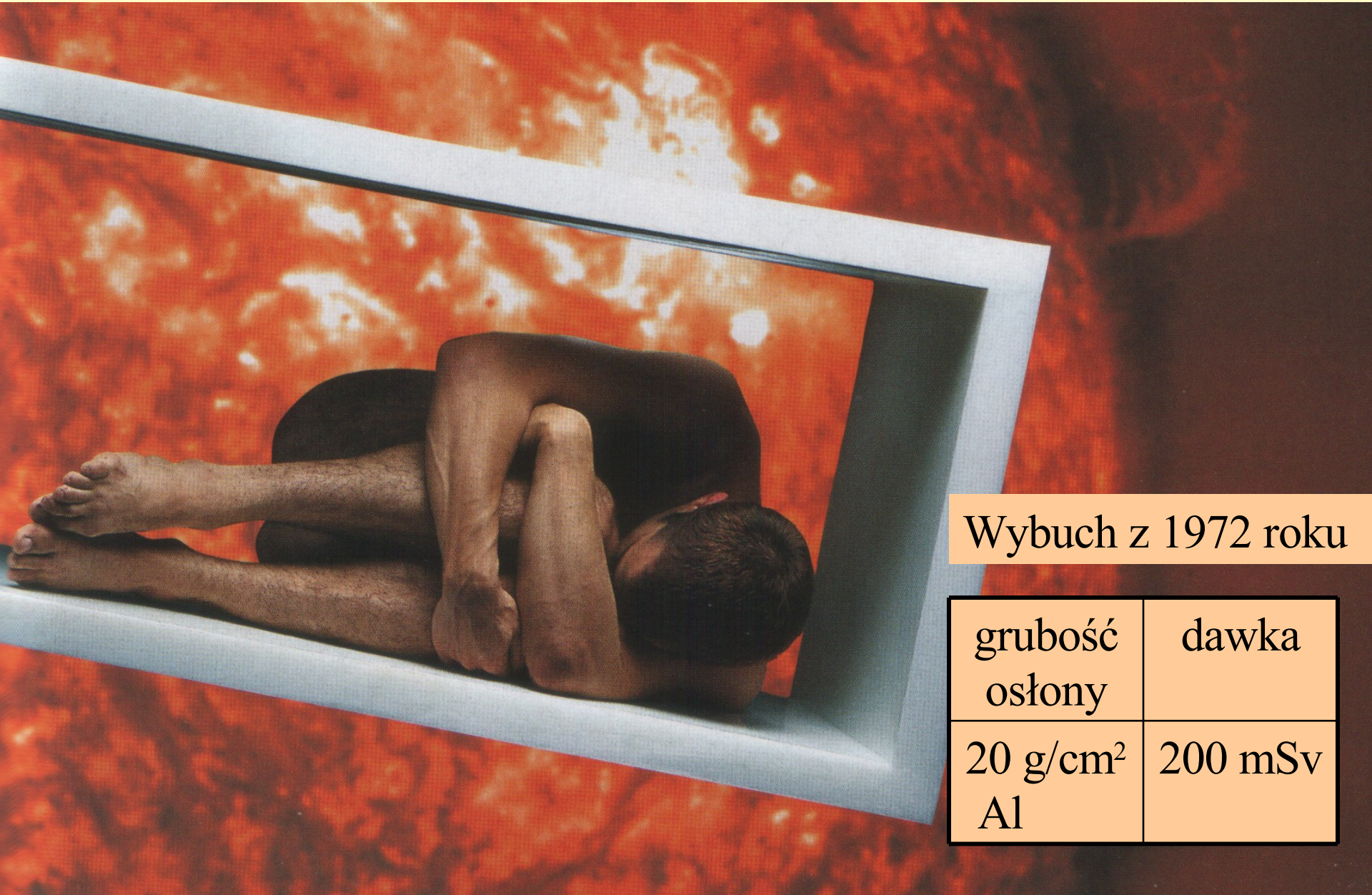
-bezpieczniej lecieć
na Marsa niż na
Wenus!



Jak chronić się przed promieniowaniem jonizującym?

1. Osłony
2. Odległość
3. Zmniejszenie czasu przebywania w polu

SCHRONY BURZOWE

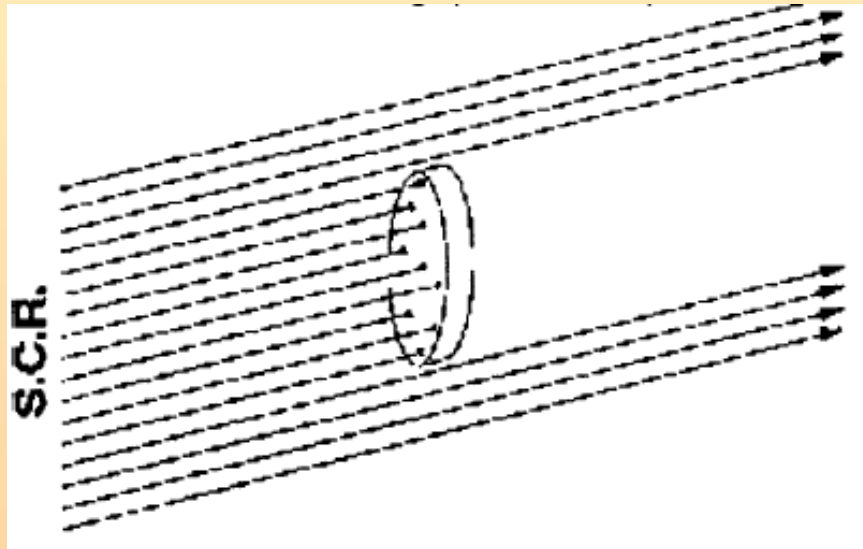


Wybuch z 1972 roku

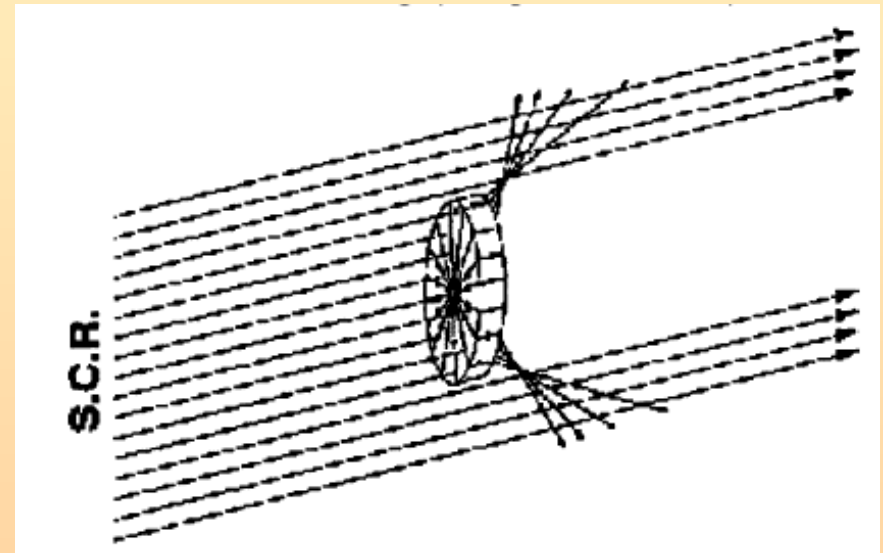
grubość osłony	dawka
20 g/cm ² Al	200 mSv

Metody polepszenia osłoności załogi

Osłony stałe z pierwiastków o niskim Z (schrony burzowe)

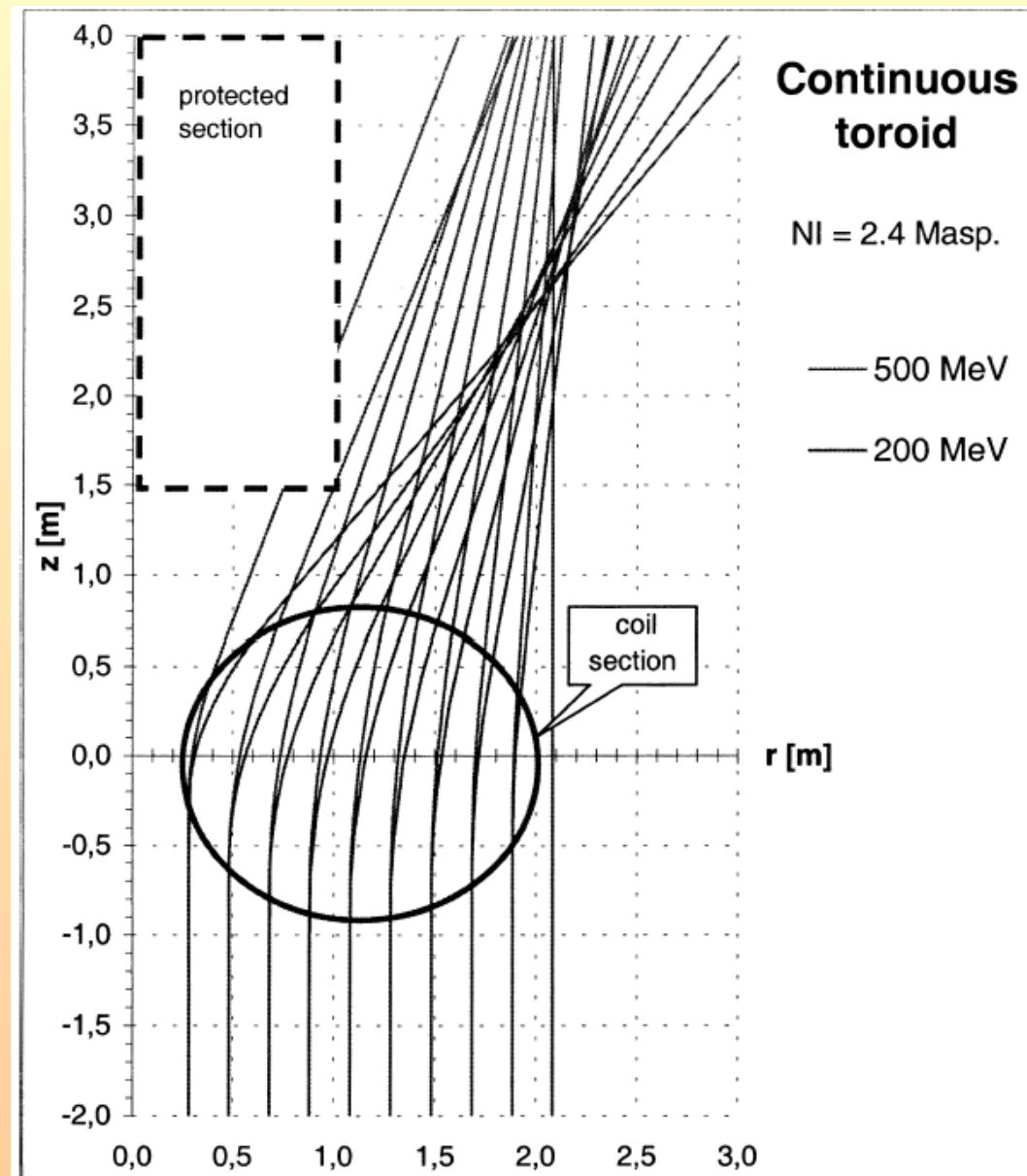


Osłony magnetyczne



OSŁONY MAGNETYCZNE

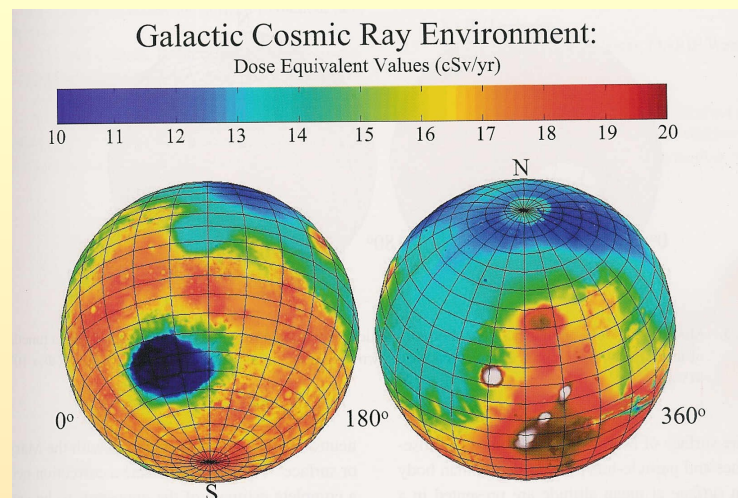
- Lżejsze od osłon stałych (100 krotnie dla energii protonów rzędu 1 GeV)
- Skuteczność ograniczona rozkładem kątowym wiatru słonecznego
- Zmniejszenie masy możliwe przy rozwoju technologii nadprzewodników wysoko-temperaturowych



Metody ograniczenia ryzyka przy ekspozycji na promieniowanie kosmiczne

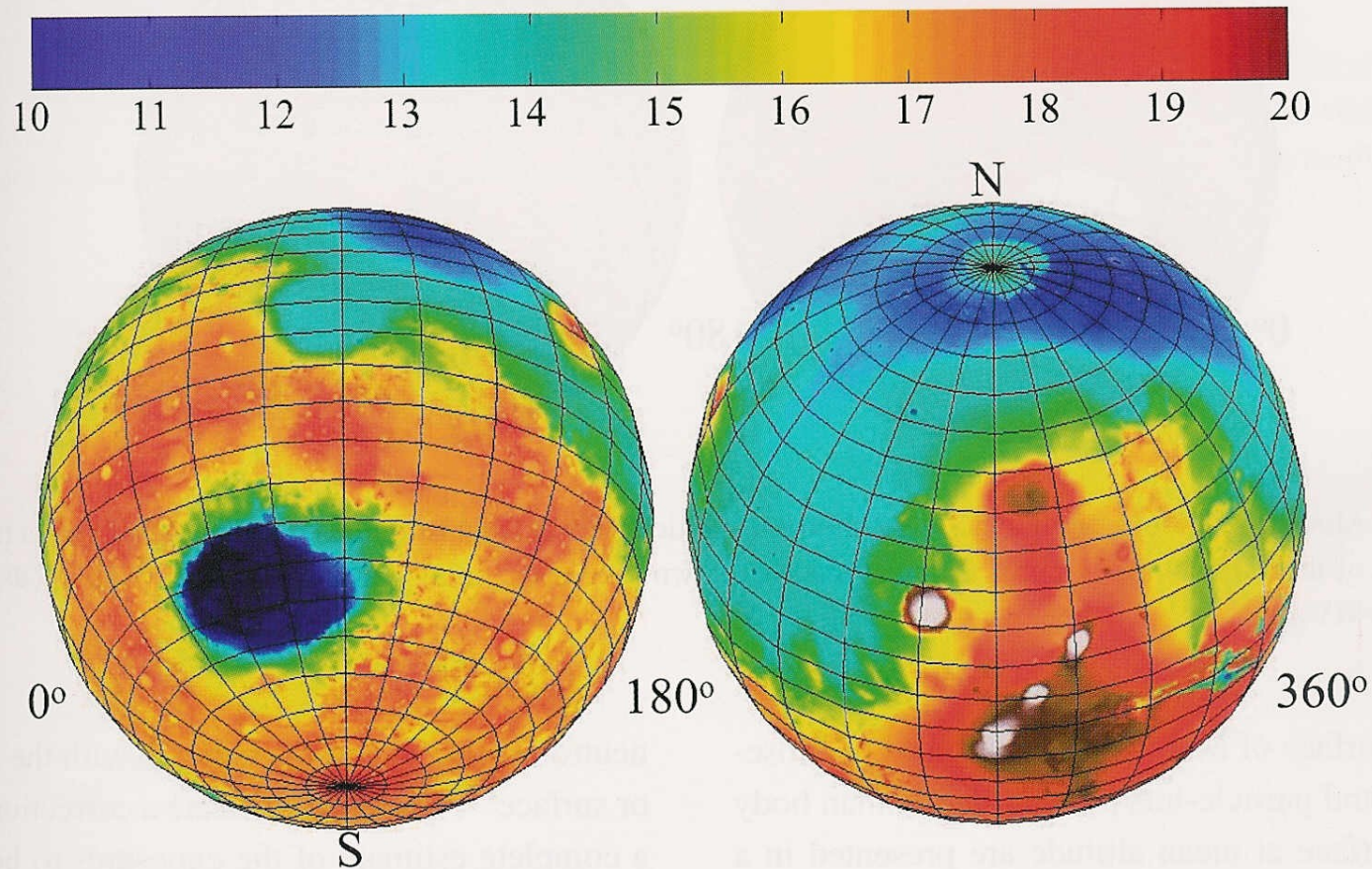
- Osłony stałe i magnetyczne
- Nowe metody napędu (skrócenie czasu wyprawy)
- Selekcja załogi (etyka?)
- Radioprotektory farmakologiczne (na razie słaby postęp)
- Wybór okresu cyklu słonecznego

**Po wylądowaniu
moc dawki zależeć
będzie od względnej
wysokości t.j. od
grubości warstwy
atmosfery CO₂**



Galactic Cosmic Ray Environment:

Dose Equivalent Values (cSv/yr)



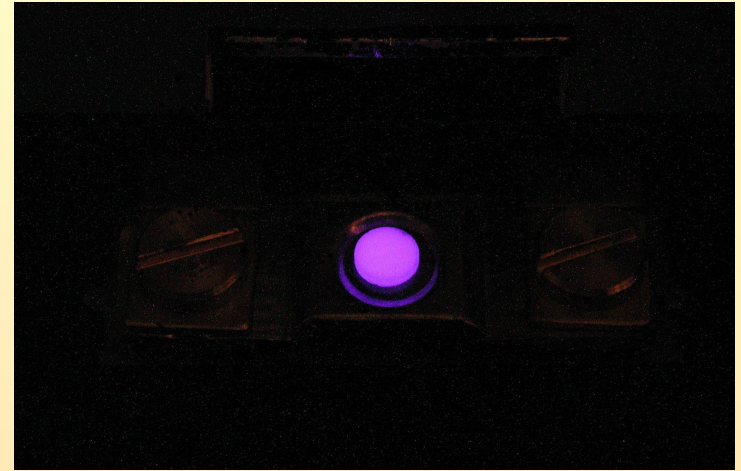
DAWKI W ODKRYTEJ PRZESTRZENI KOSMICZNEJ



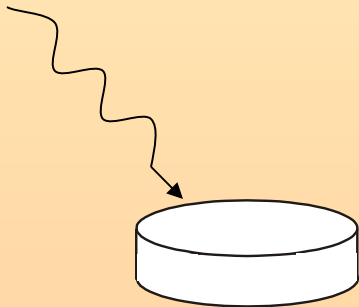
dr P. Bilski



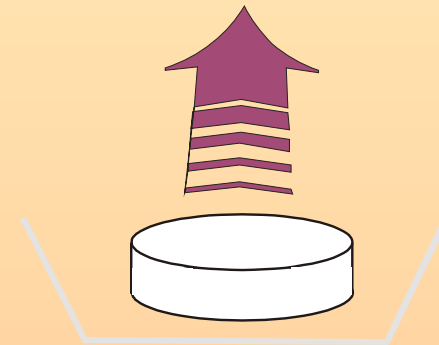
Pomiar dawek metodą termoluminescencyjną



Fotopowielacz



Jonizacja i
pułapkowanie
elektronów i dziur

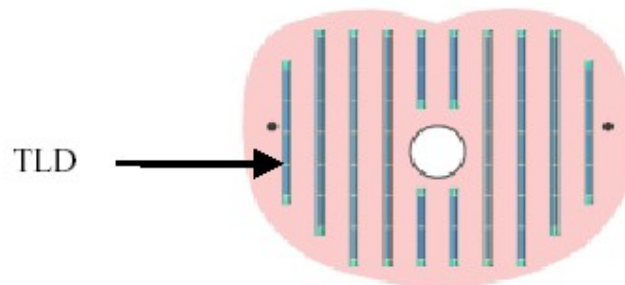
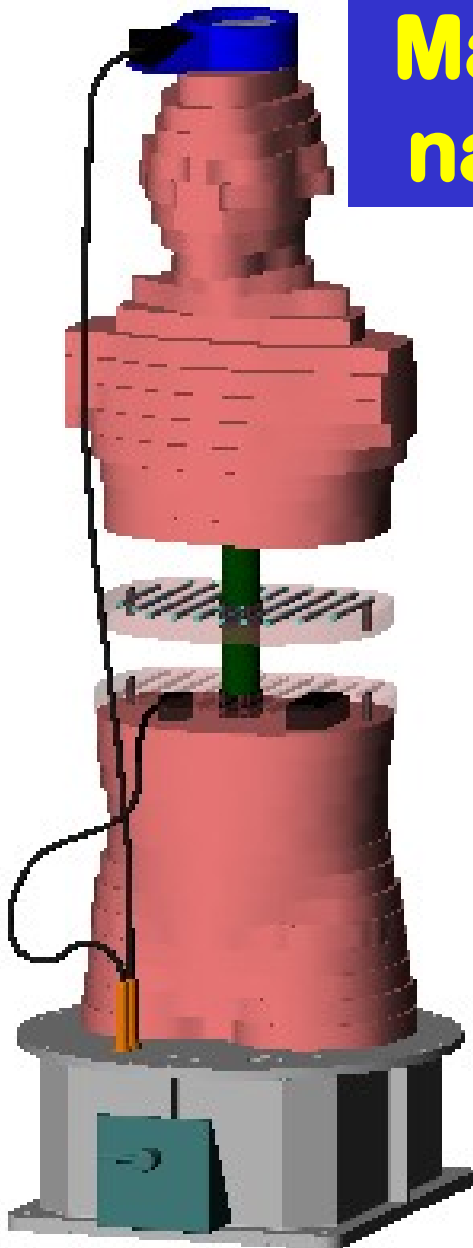


Po podgrzaniu – rekombinacja z emisją
światła



**1 000 000 detektorów TLD z IFJ Kraków jest
stosowana w 30 krajach świata**

Eksperyment Matroshka czyli dawki narządowe na orbicie



**3500 TLD z IFJ PAN
w fantomie na orbicie**



MATROSHKA -1

phantom



+ 'poncho'



+ kontener



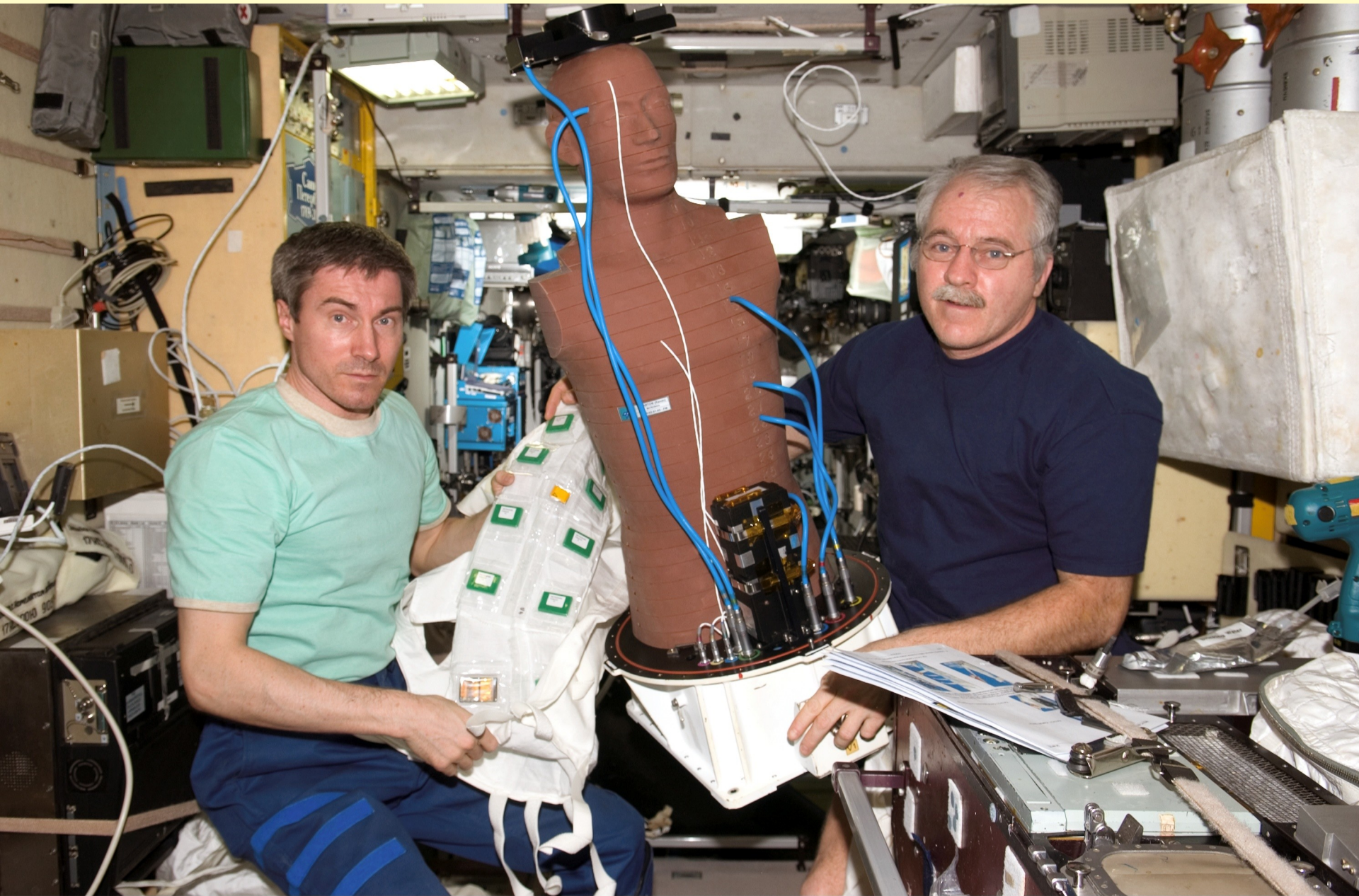
+ MLI



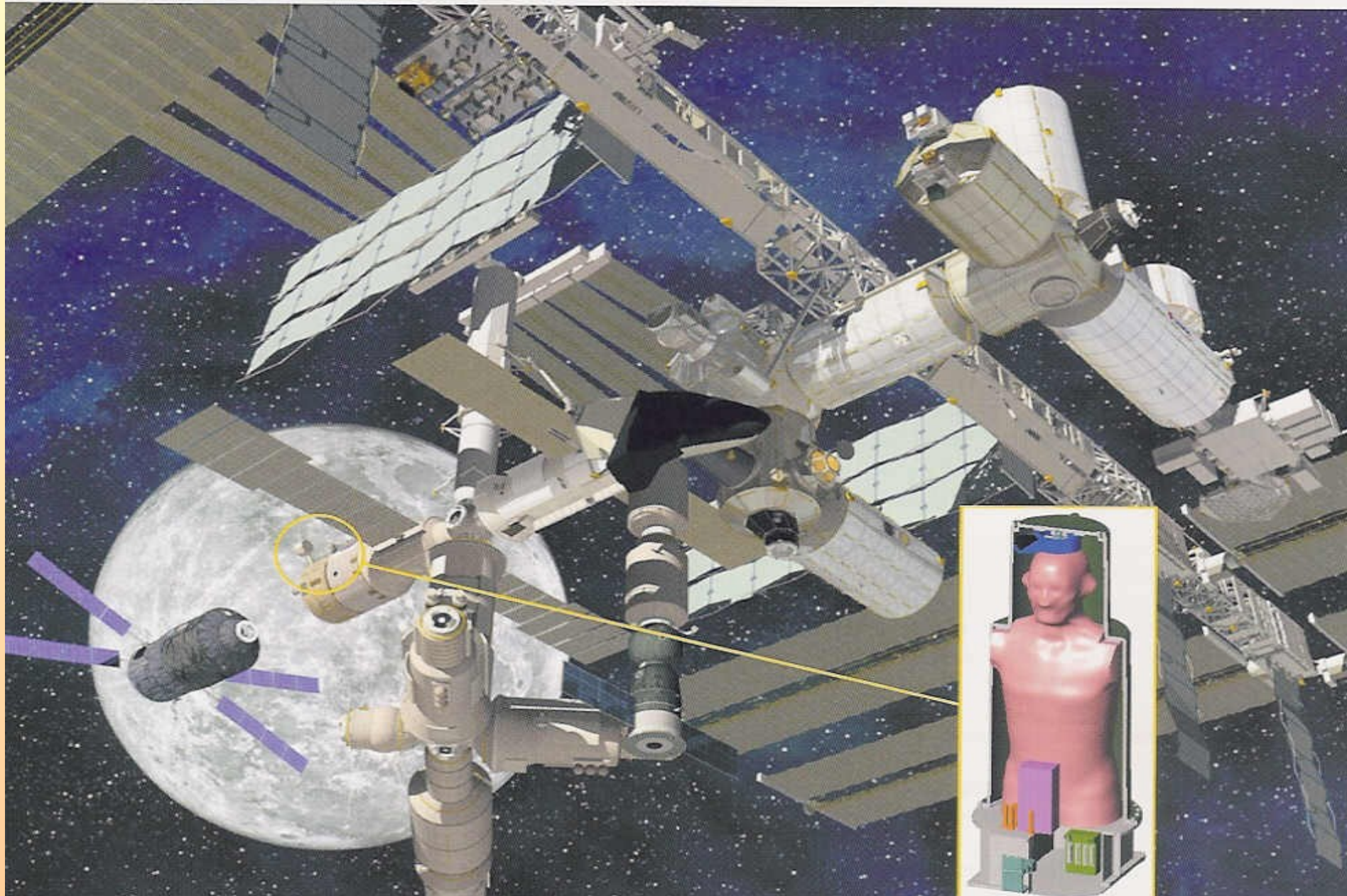
MATROSHKA NA MIĘDZYNARODOWEJ STACJI KOSMICZNEJ, ISS



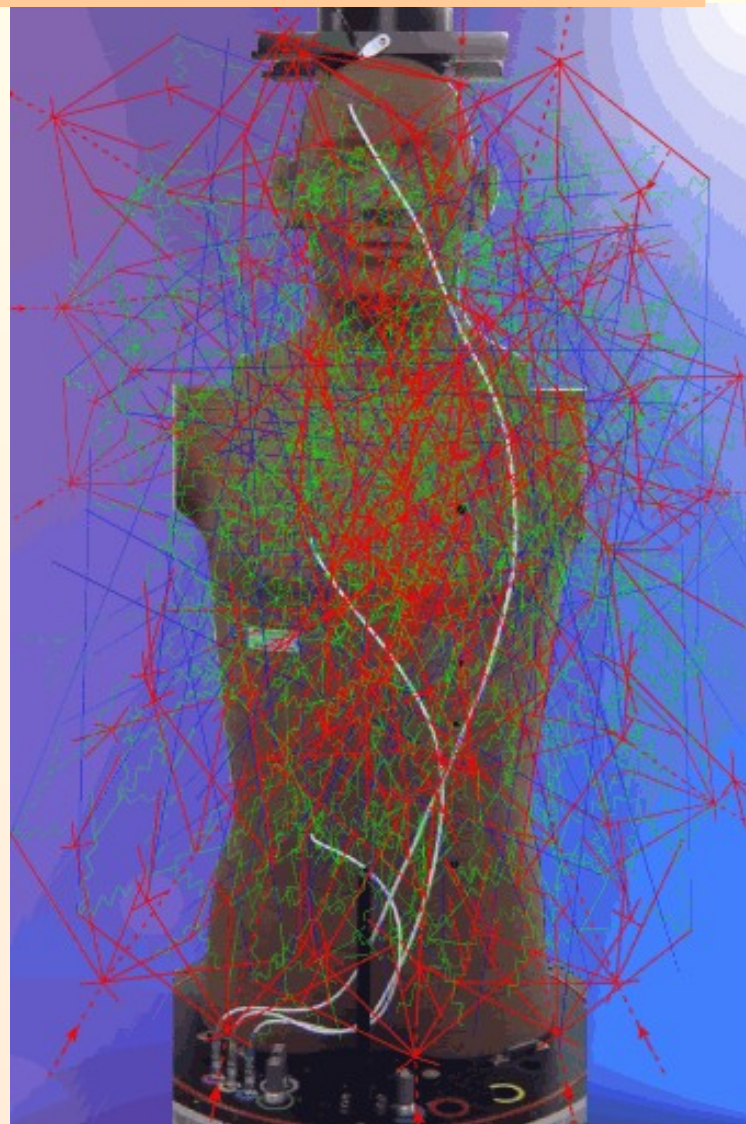
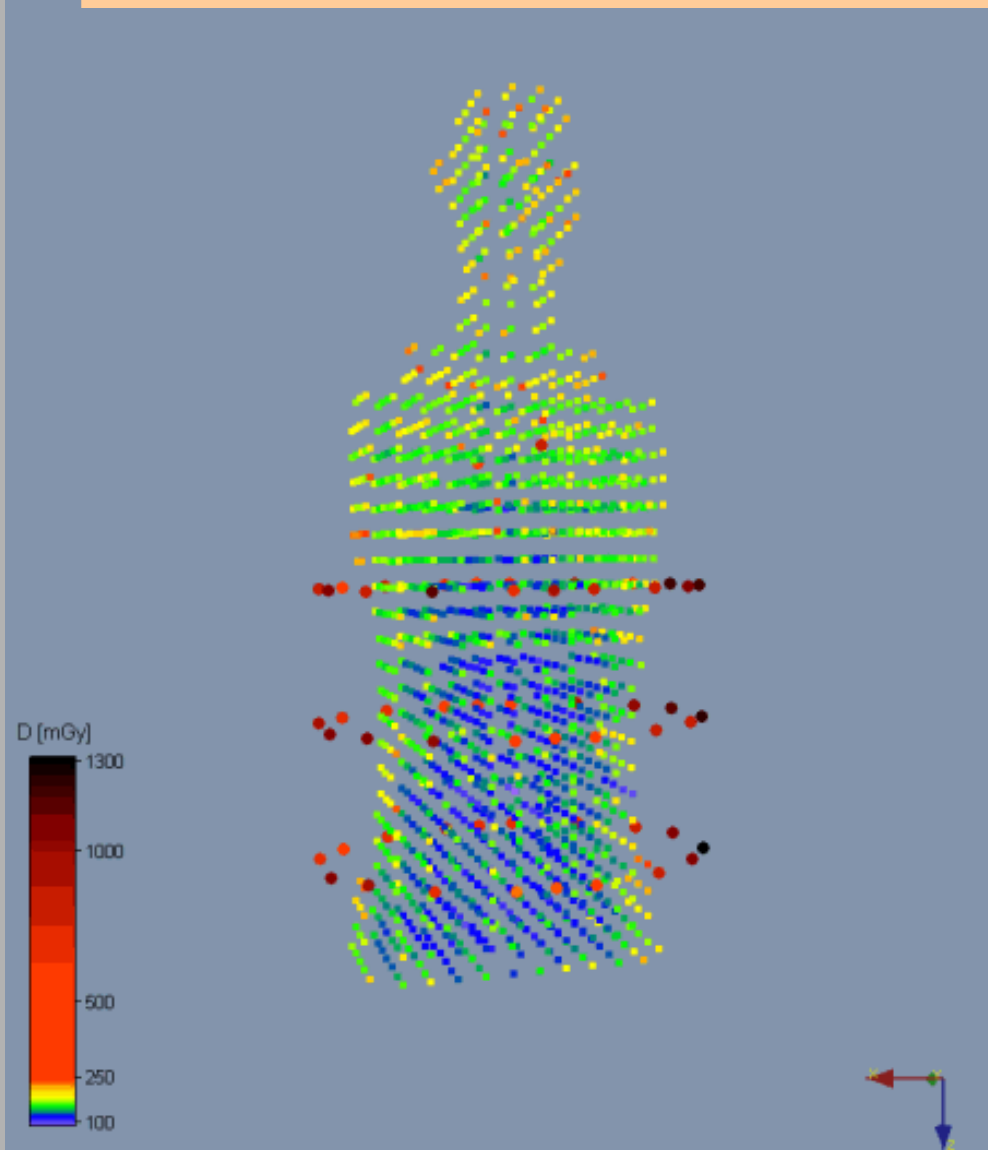
Przebieranie Matroszki

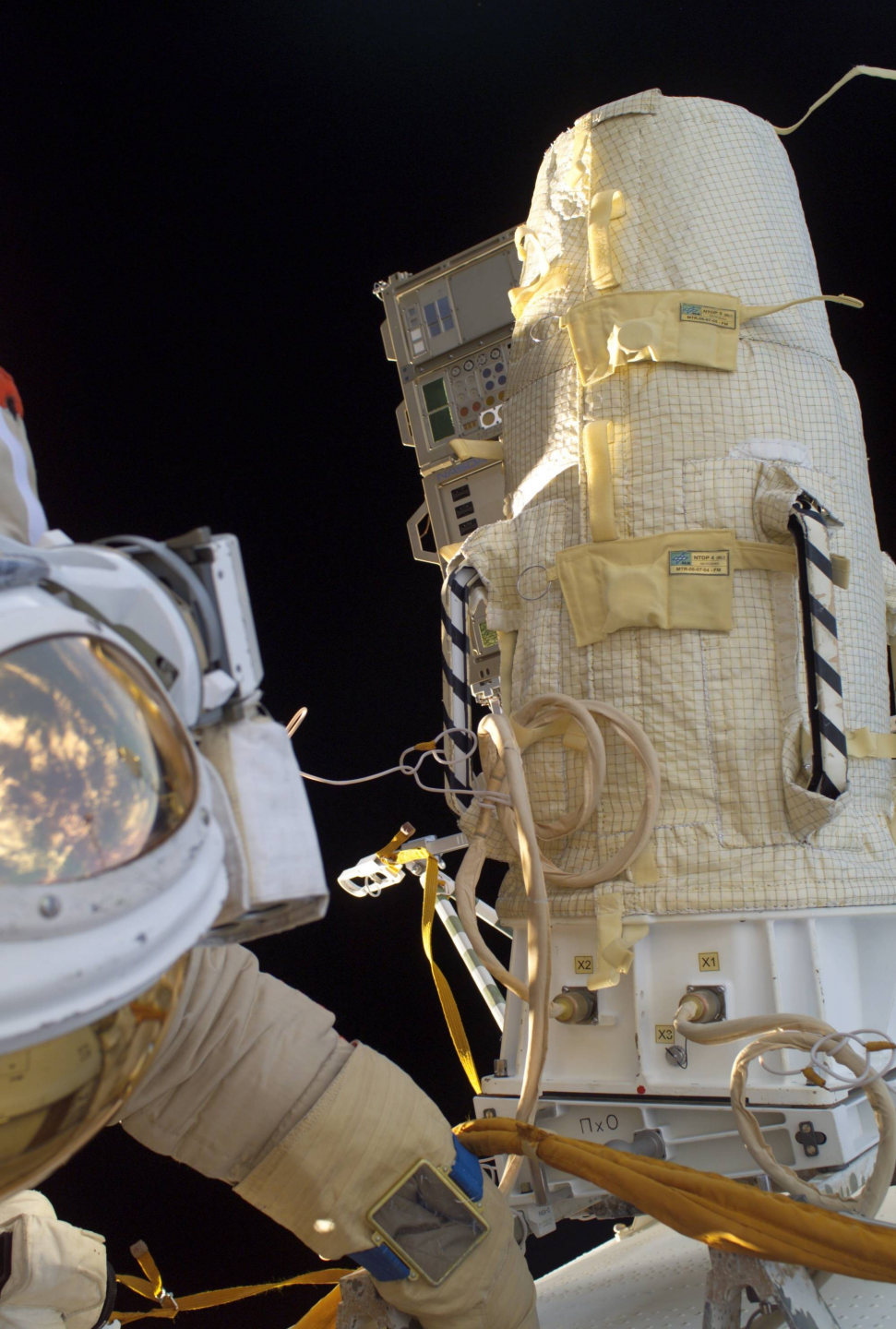


MATROSHKA NA MIĘDZYNARODOWEJ STACJI KOSMICZNEJ, ISS



Rozkład dawek





Zmierzone dawki (1 seria)

Czas ekspozycji:
1 rok

Dawki w fantomie:
110 -250 mGy

W skafandrze:
do 1000 mGy

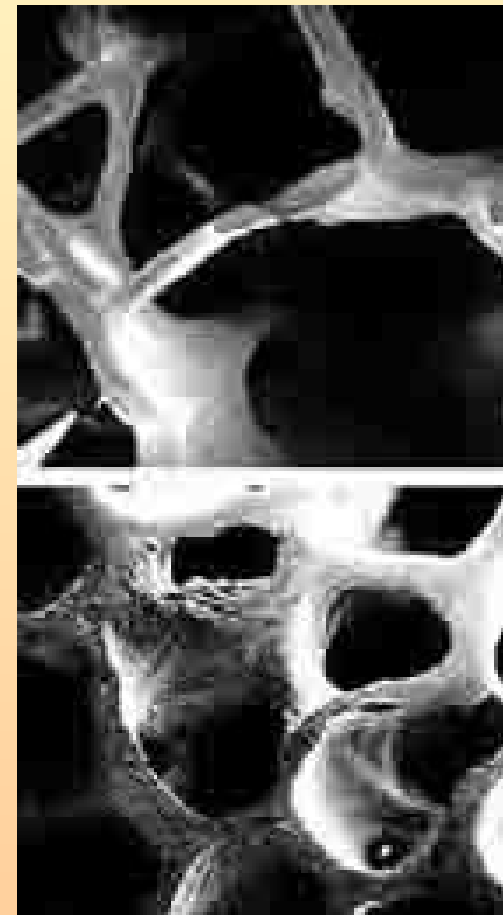
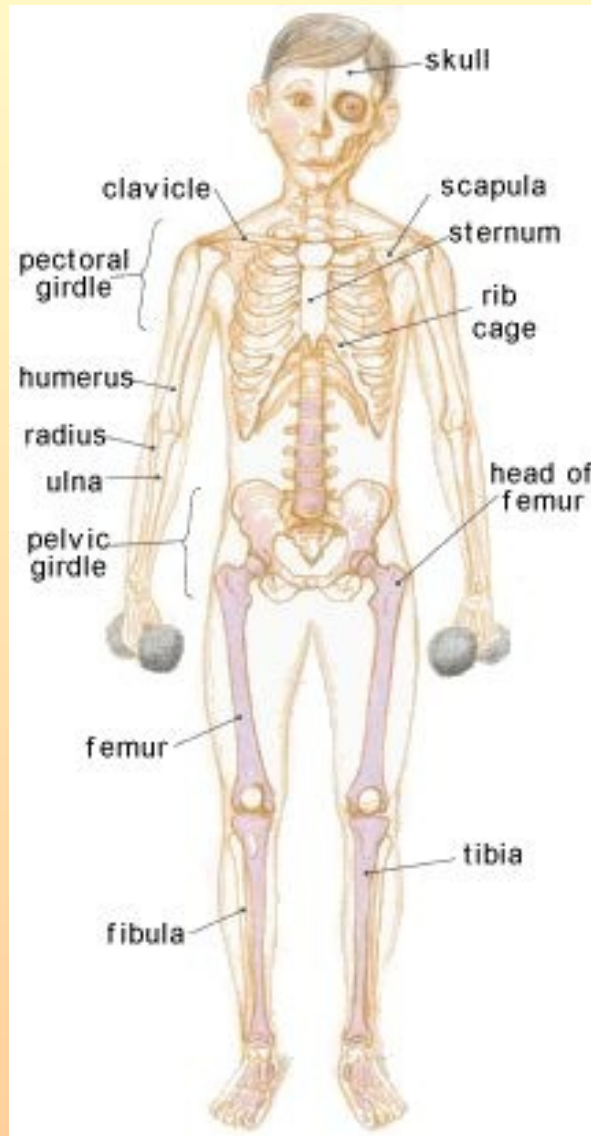
PROBLEMY FIZJOLOGICZNE W NIEWAŻKOŚCI

1. Redystrybucja płynów ustrojowych
2. Utrata płynów
3. Zaburzenia elektrolitów
4. Zmiany kardiologiczne
5. Utrata czerwonych ciałek krwi
6. Atrofia mięśni
- 7. Osteoporoza**
8. Hiperkalcemia
9. Zmiany systemu odpornościowego
10. Dezorientacja przestrzenna
11. Symptomy adaptacyjne: nudności
wymioty, bóle głowy
13. Zmniejszenie chęci do pracy
14. Zaburzony zmysły powonienia i
smaku

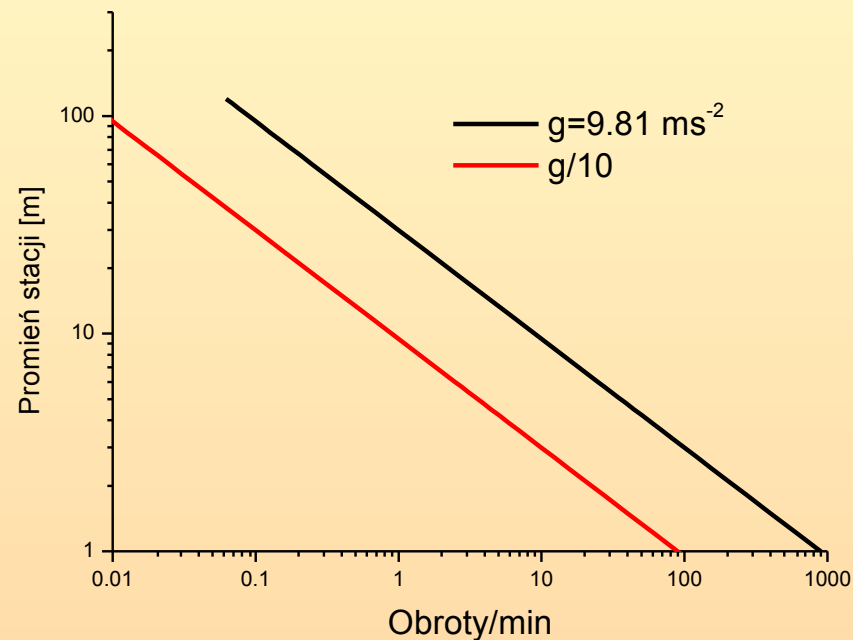
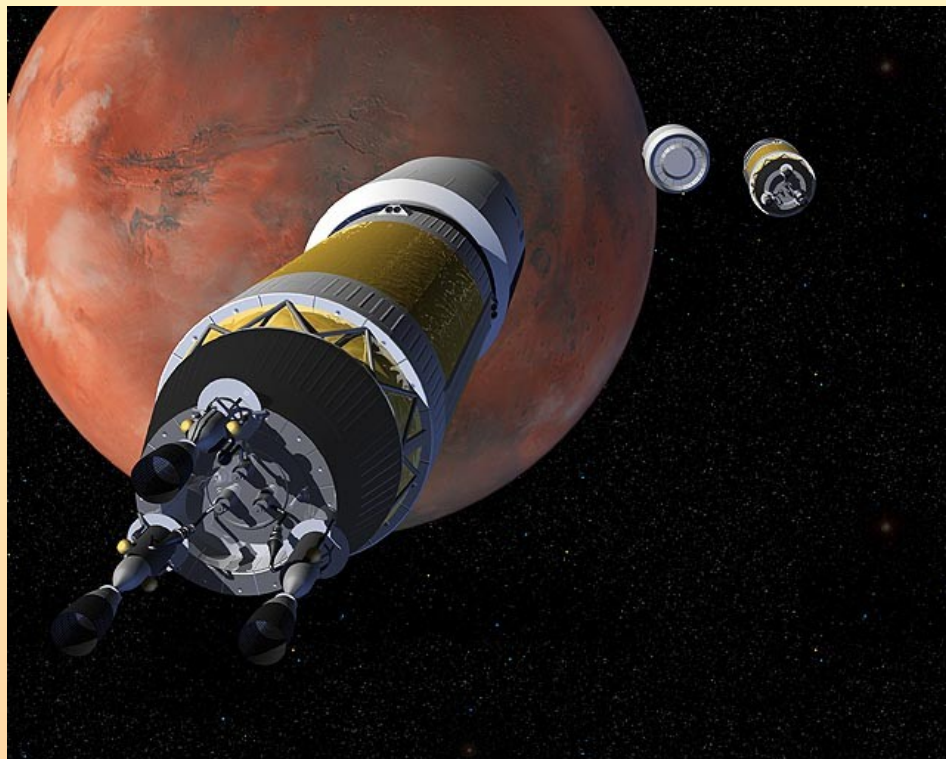


OSTEOPOROZA

UTRATA MASY KOŚCI
w stanie nieważkości
1-2% miesięcznie



SZTUCZNA GRAWITACJA ZAPOBIEGA OSTEOPOROZIE



$$a = \omega^2 R$$

Utrzymanie siły ciągu silników (?)

Ruch obrotowy stacji

CZY PRZEŻYJEMY PODRÓŻ NA MARSA?



TAK, ale musimy:

Zapewnić ochronę załogi przed promieniowaniem kosmicznym poprzez:

- a) osłony stałe i magnetyczne
- b) skrócenie czasu ekspedycji
- c) prognozowanie „pogody” kosmicznej

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