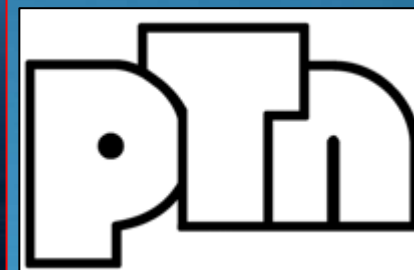


Dawki w podróżach lotniczych



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

Pojęcie **dawki** wprowadzamy, by *ocenić potencjalne zagrożenie* mogące pojawić się przy stosowaniu źródeł promieniowania jonizującego.

Dawka to miara narażenia na promieniowanie jonizujące



4 rodzaje dawek

Dawka ekspozycyjna X $\rightarrow X = \frac{dQ}{dm} \rightarrow$ [C/kg]

Dawka zaabsorbowana D $\rightarrow D = \frac{dE}{dm} \rightarrow$ grej [Gy] 1 Gy = 1 J/kg

Dawka równoważna H $\rightarrow H_T = \sum w_R \cdot D_{TR} \rightarrow$ siwert [Sv]

Dawka skuteczna E $\rightarrow E = \sum w_T \cdot H_T$

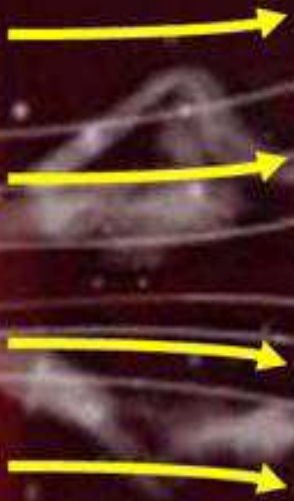
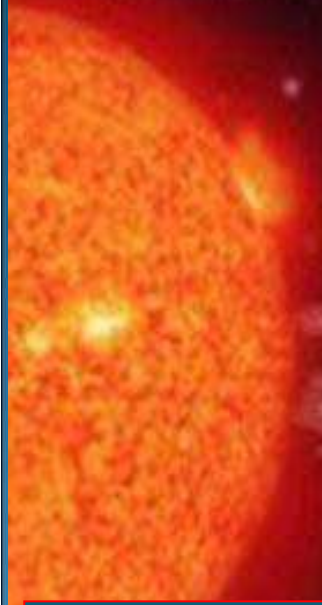
$E = \sum w_T \cdot \sum w_R \cdot D_{TR}$ [Sv]

Promieniowanie docierające do Ziemi pochodzi ze Słońca i z poza układu słonecznego (promieniowanie galaktyczne).

Promieniowanie słoneczne to strumień prawie równolegle poruszających się protonów (1eV-1keV). Promieniowanie galaktyczne składa się w 97% z protonów a pozostała część to jądra helu (2%), cięższe jony oraz niewielka liczba elektronów i pozytonów. Mają one bardzo wysokie energie - 10^{14} MeV.

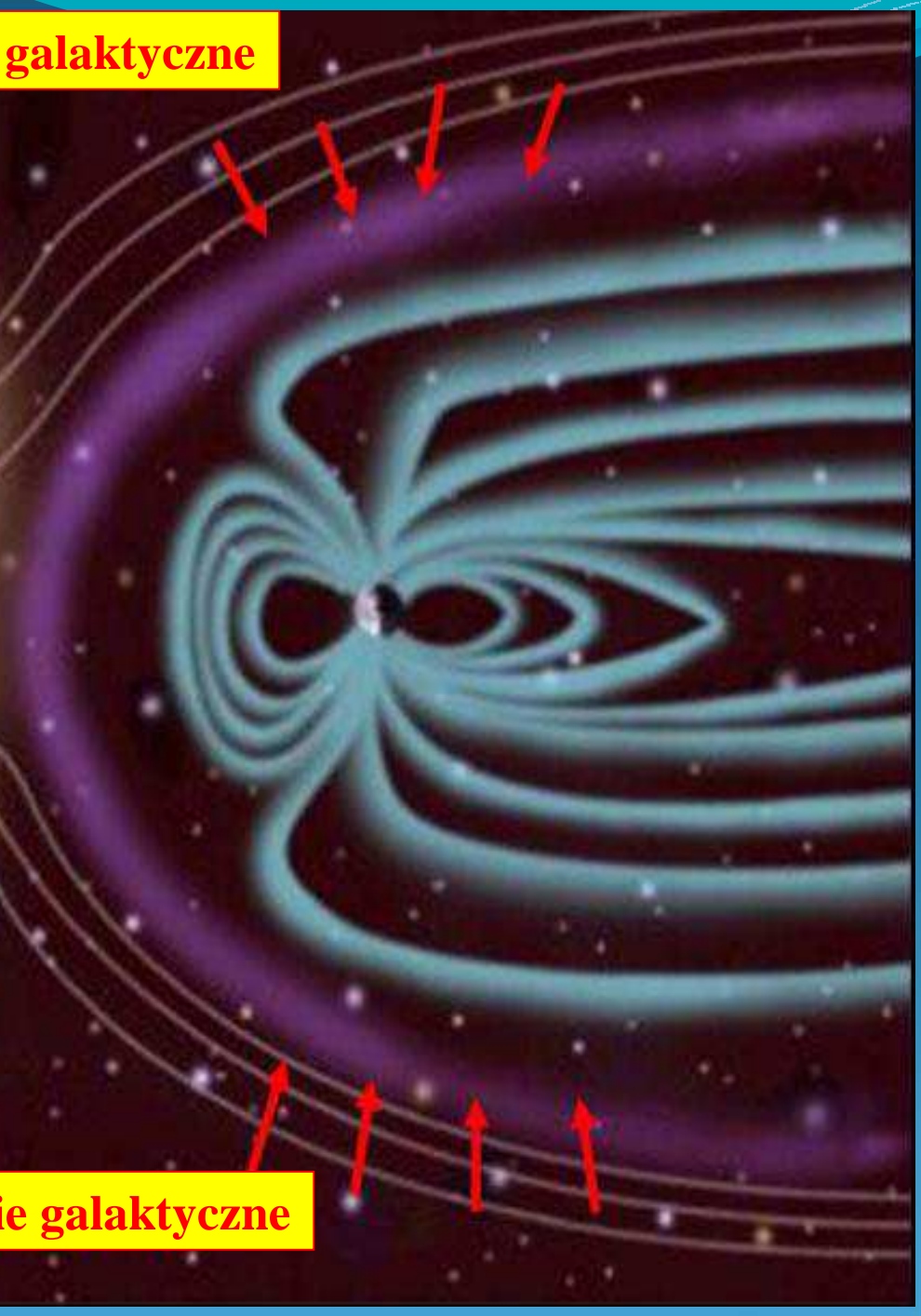
Przed promieniowaniem słonecznym chroni Ziemię jej własne pole magnetyczne oraz atmosfera. Zatem promieniowanie to nie stanowi dla nas zagrożenia radiologicznego (z wyjątkiem promieniowania wysyłanego w czasie wybuchów słonecznych). Jedynie cząstki naładowane o wysokiej energii mogą pokonać ziemskie pole magnetyczne i dotrzeć do atmosfery.

Promieniowanie galaktyczne



**Wysokoenergetyczne cząstki
ze Słońca
Koronalny wyrzut masy**

Promieniowanie galaktyczne



**Moc i strumień promieniowania kosmicznego nie są stałe.
Zmieniają się one w czasie oraz zależne są od miejsca na
Ziemi i w atmosferze**

O zmienności tej decydują trzy czynniki



wysokość nad powierzchnią Ziemi



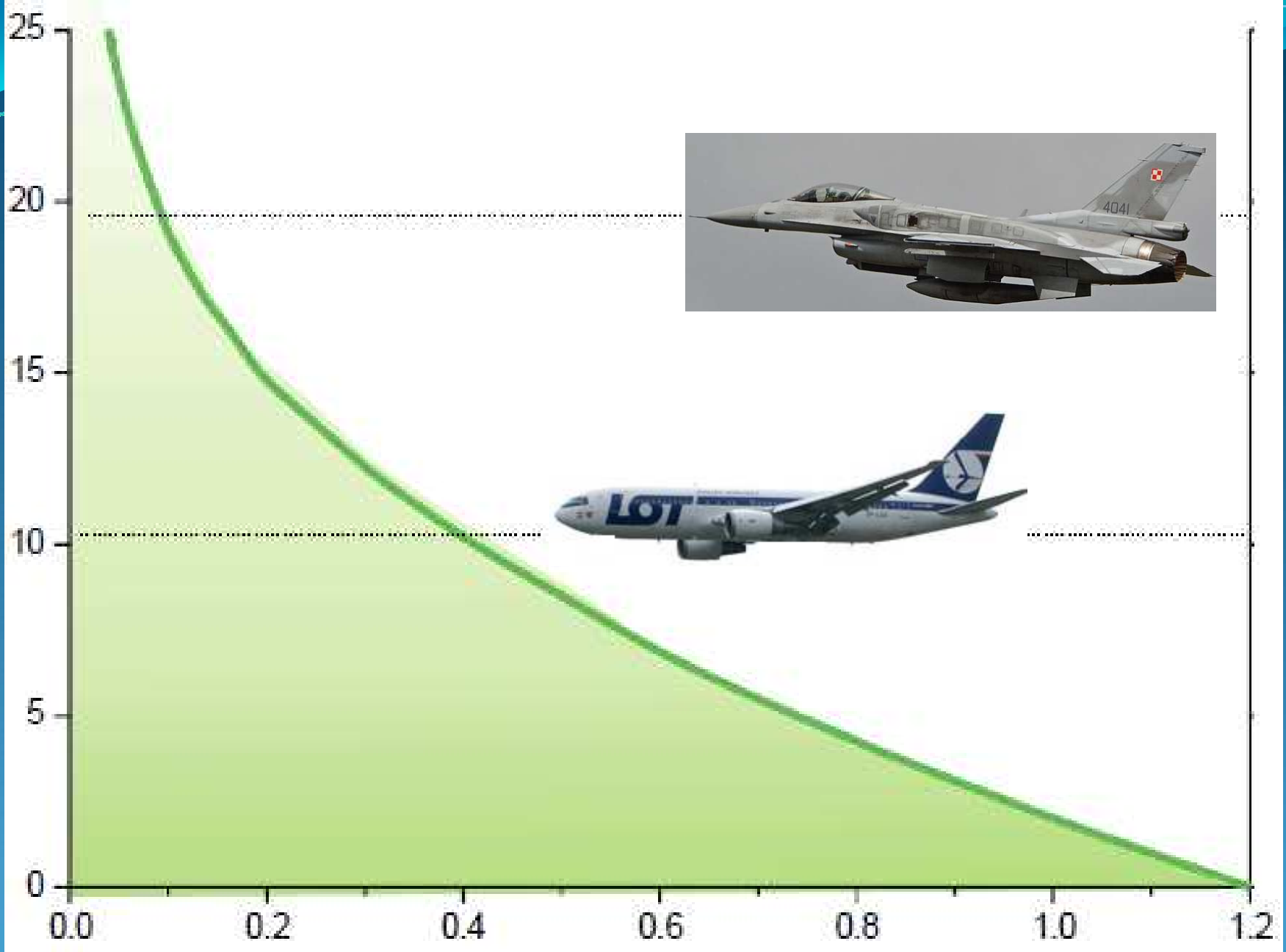
szerokość geomagnetyczna



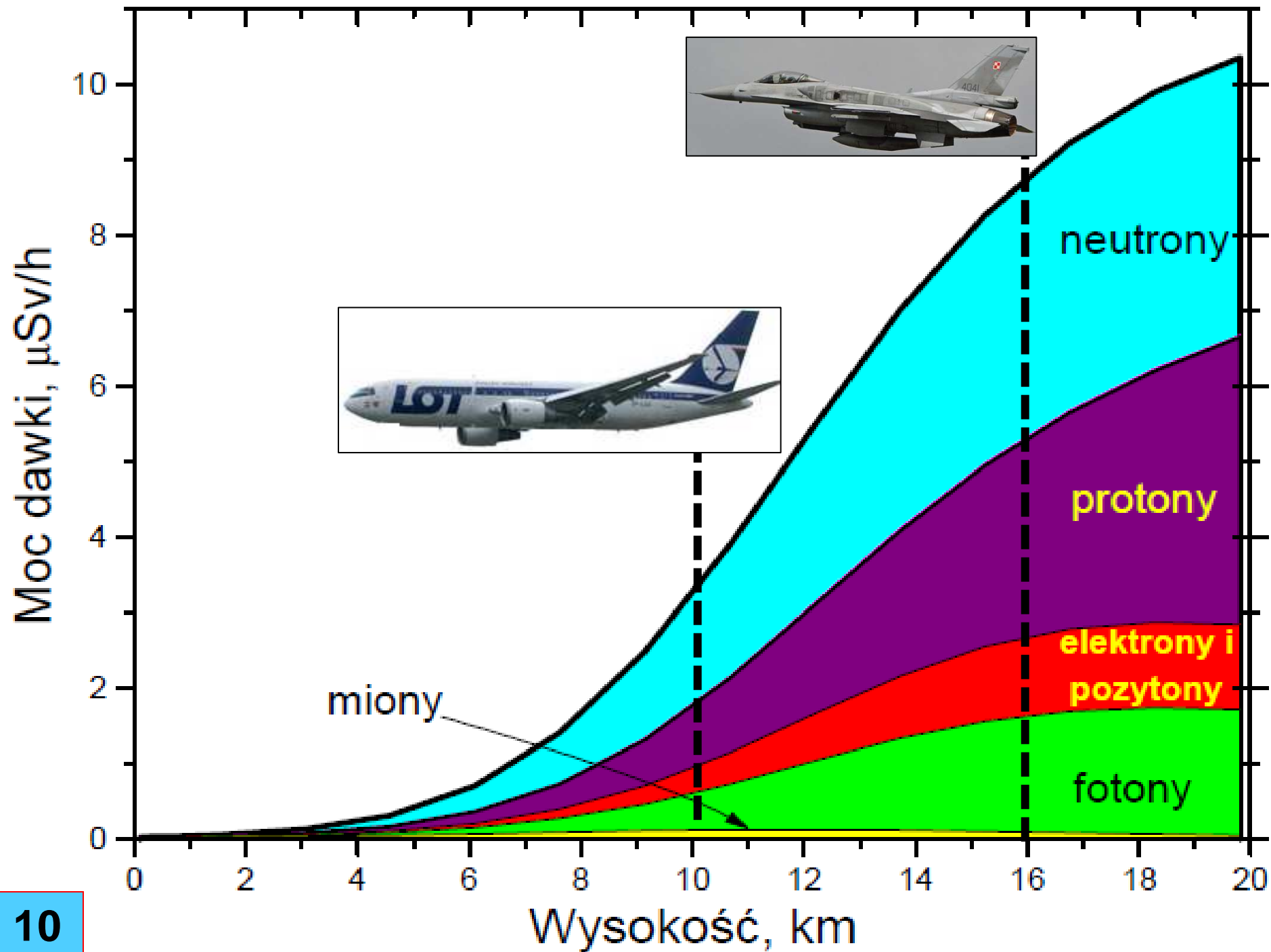
aktywność słoneczna

Wpływ wysokości ponad Ziemią na natężenie promieniowania kosmicznego wiąże się z ochronnym działaniem warstwy powietrza. Ze wzrostem wysokości maleje gęstość powietrza atmosferycznego. Im wyżej nad powierzchnią Ziemi, tym mniejsza masa powietrza atmosferycznego dzieli nas od przestrzeni kosmicznej. Promieniowanie kosmiczne przechodząc przez powietrze jest pochłaniane, zatem gdy warstwa powietrza jest cieńsza moc dawki od tego promieniowania jest wyższa.

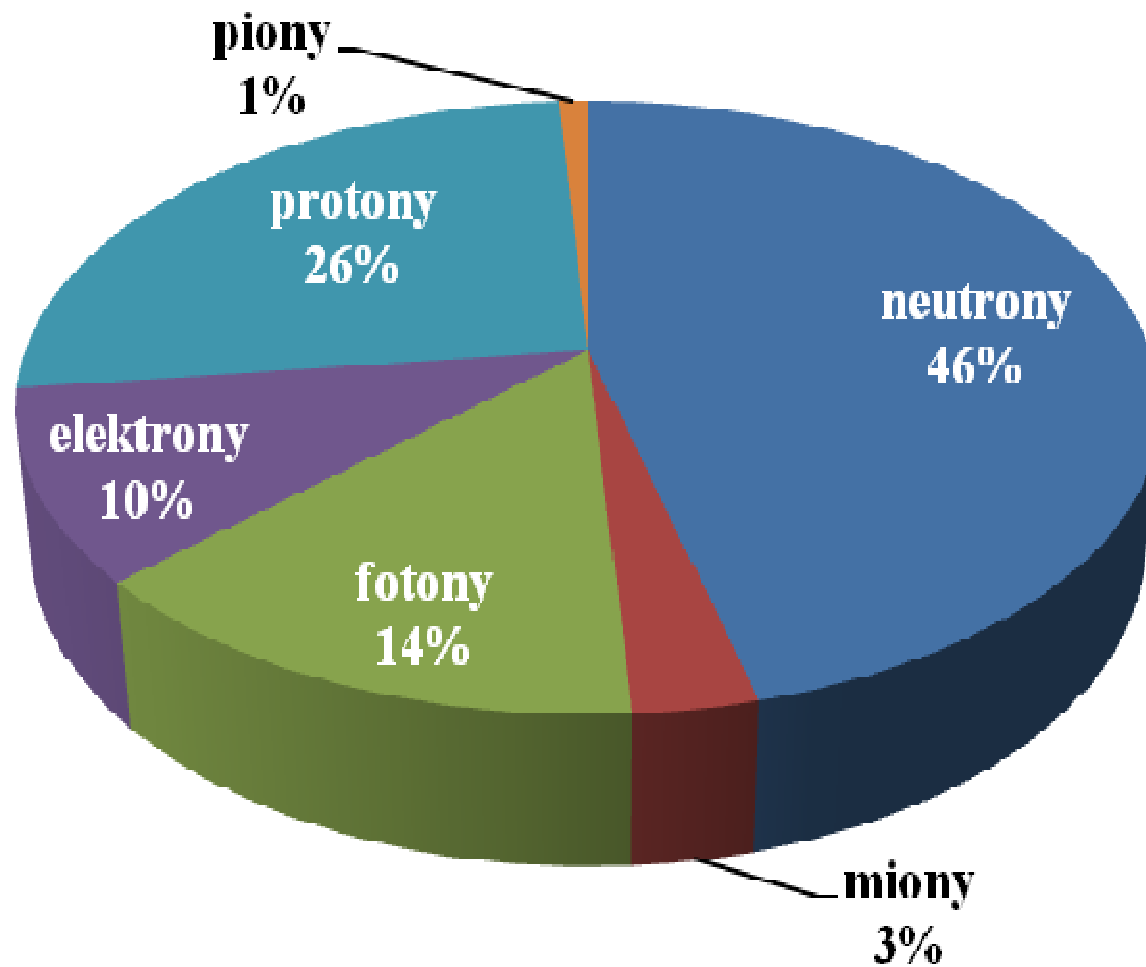
W
Y
S
O
K
O
Ś
Ć
km



Moc dawki bardzo rośnie między 10 a 16 kilometrem, co odpowiada pułapom lotów samolotów pasażerskim i naddźwiękowych. Dla wyższych wysokości wzrost jest już wolniejszy a maksimum mocy dawki obserwuje się dla 25 km

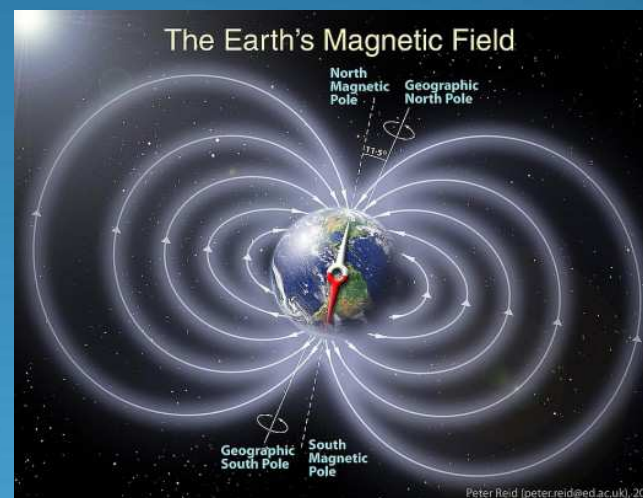
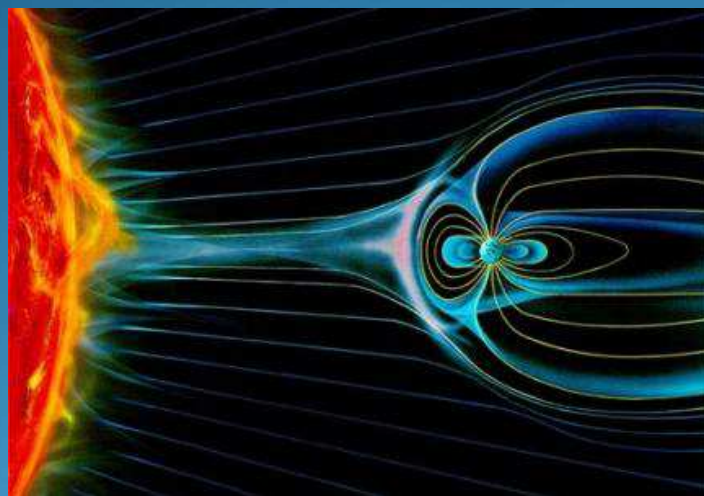


10



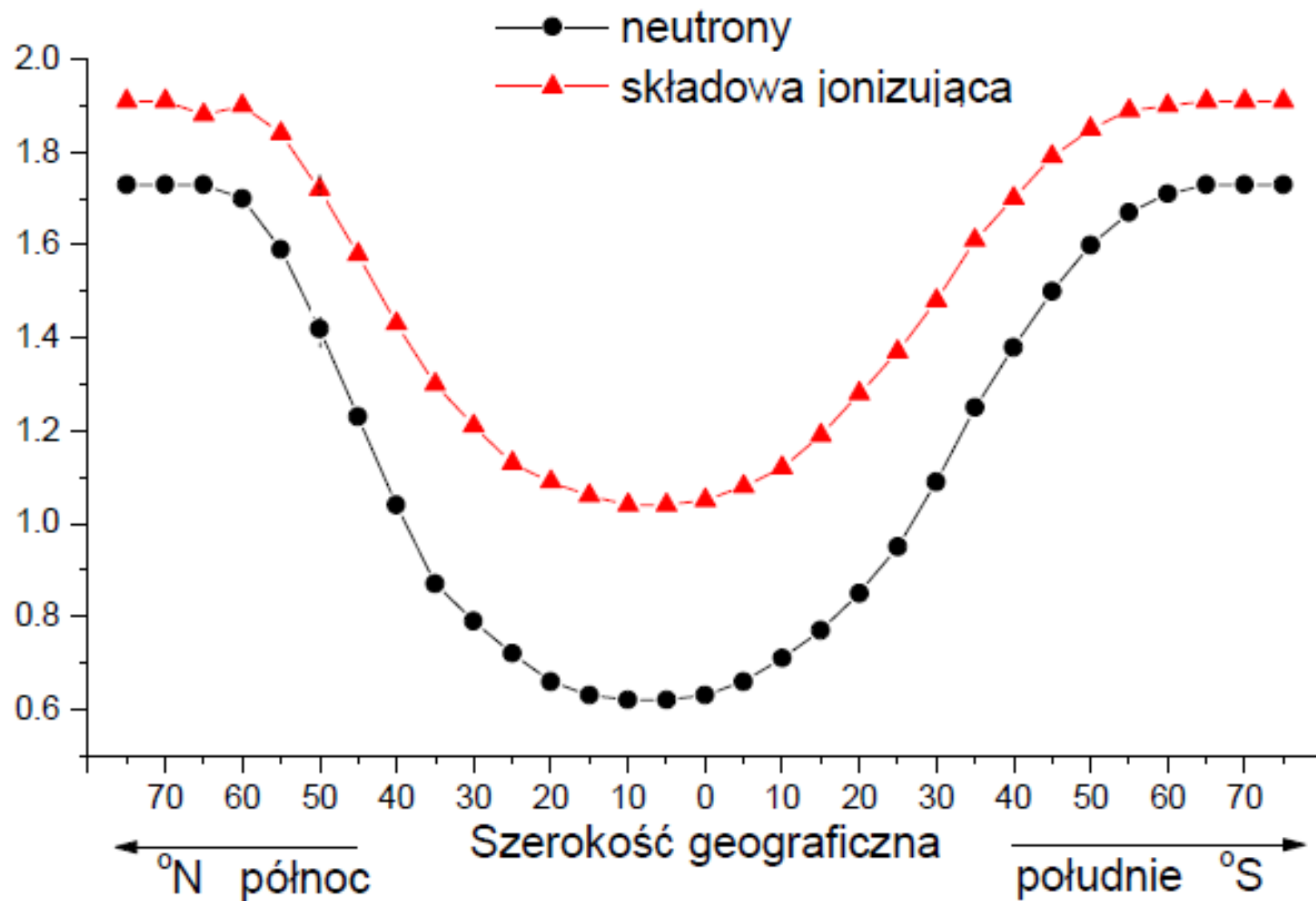
Udział w dawce różnych składowych promieniowania dla lotu Warszawa-Chicago na wysokości przelotowej 10,6 km przedstawiono poniżej i wskazuje, że prawie połowa dawki spowodowana jest przez neutrony wysokoenergetyczne

Wpływ szerokości geomagnetycznej (geograficznej) spowodowany jest ochronnym działaniem ziemskiego pola magnetycznego. Tory cząstek naładowanych są zakrzywiane w polu magnetycznym i nie docierają do atmosfery Ziemi. Ponieważ dla wysokich szerokości geograficznych pole to jest znacznie słabsze niż dla równika, dlatego w pobliżu biegunów natężenie promieniowania kosmicznego jest większe.

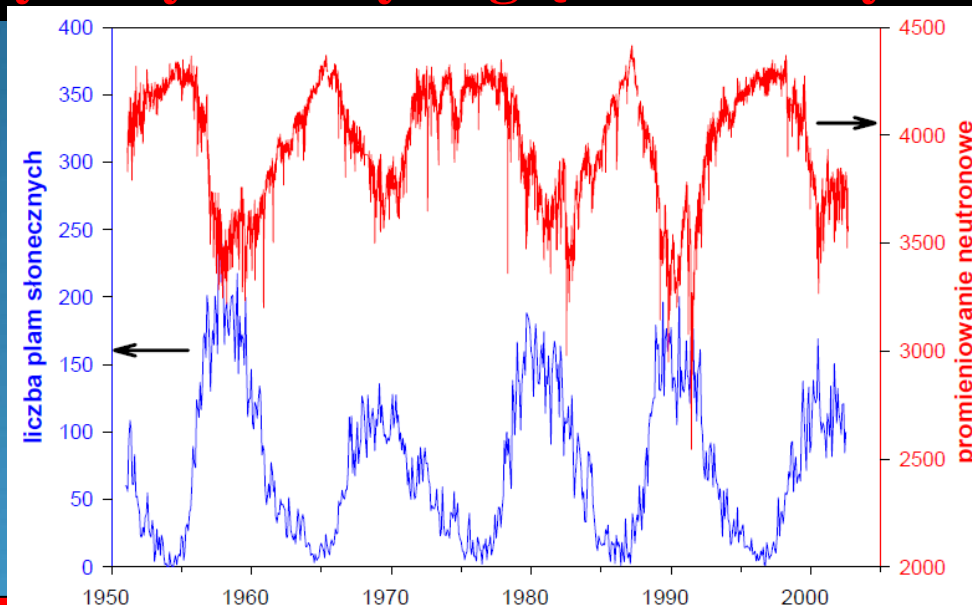


Moc dawki promieniowania kosmicznego w zależności od szerokości geograficznej (na wysokości 10 km n.p.m i długość geograficzna 20°E) przedstawiono poniżej (składowa jonizująca to część promieniowania kosmicznego poza neutronami).

Moc dawki na wysokości 10 km, $\mu\text{Sv/h}$



Aktywność Słońca zmienia się w cyklach około 11-letnich (9-14) a parametrem opisującym tę aktywność jest liczba plam na jej powierzchni. W okresach wysokiej aktywności, ze Słońca emitowana jest także większa liczba cząstek, o energiach zbyt małych by dotarły w głąb atmosfery Ziemi.

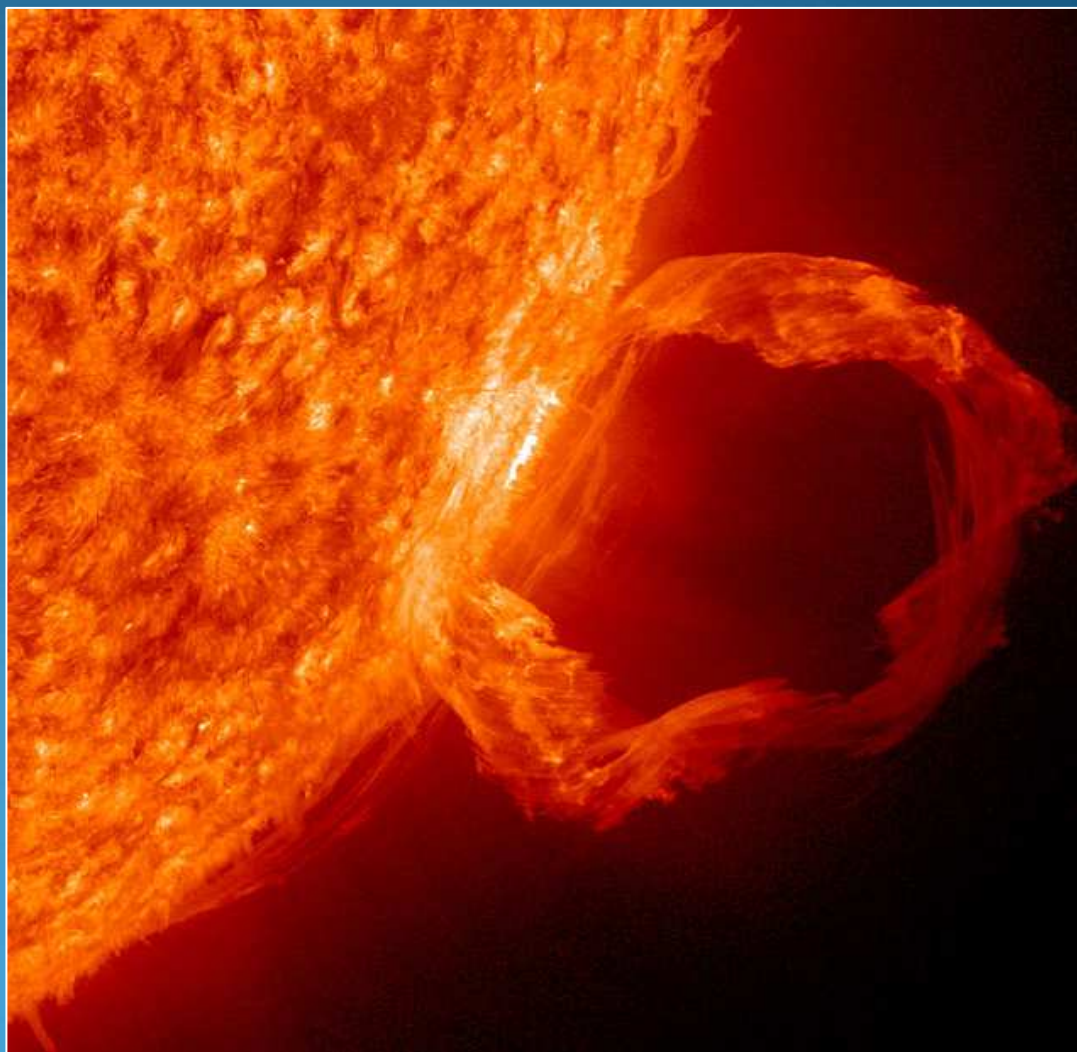


Paradoksalnie, im większa jest aktywność słoneczna, tym niższe natężenie promieniowania kosmicznego w atmosferze ! Korelacje pomiędzy zmianami liczby plam na Słońcu i natężeniem składowej neutronowej promieniowania kosmicznego na powierzchni Ziemi pokazano poniżej (Colorado, USA).

Przyczyna tego zjawiska leży we wpływie tzw. wiatru słonecznego. Cząstki wiatru mają własne pole magnetyczne, które obniża natężenie galaktycznej składowej promieniowania kosmicznego. W czasie wysokiej aktywności Słońca, intensywność wiatru słonecznego jest również wyższa, a więc efekt osłabienia jest większy.

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.

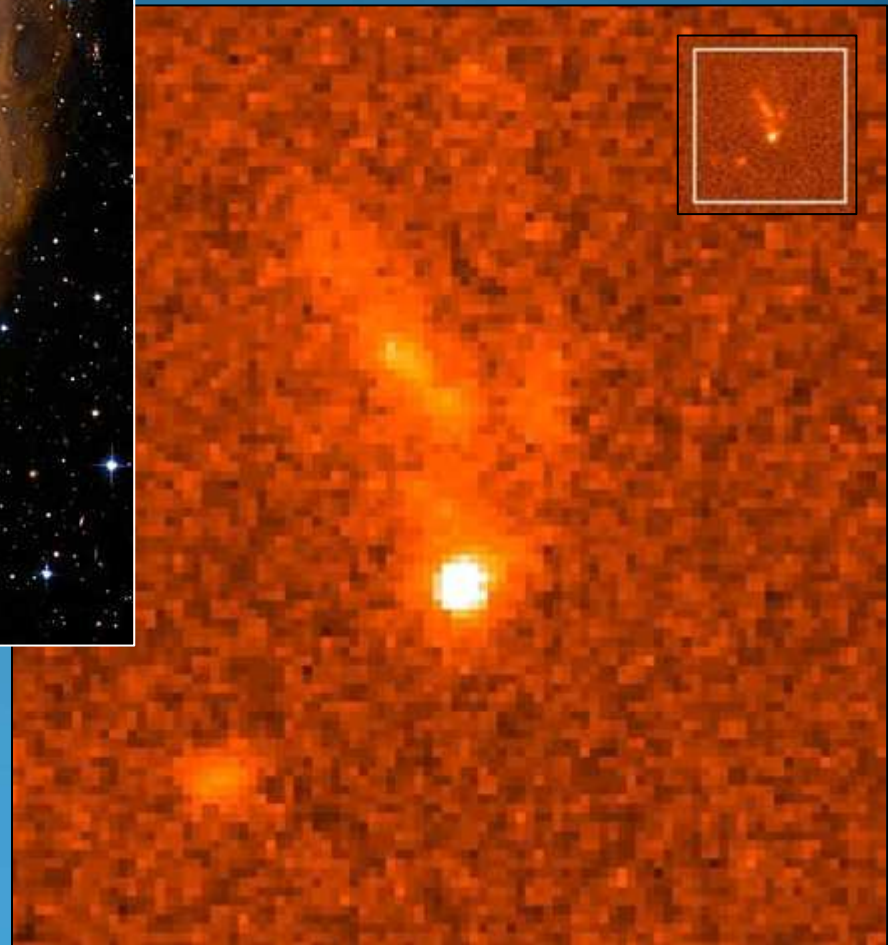
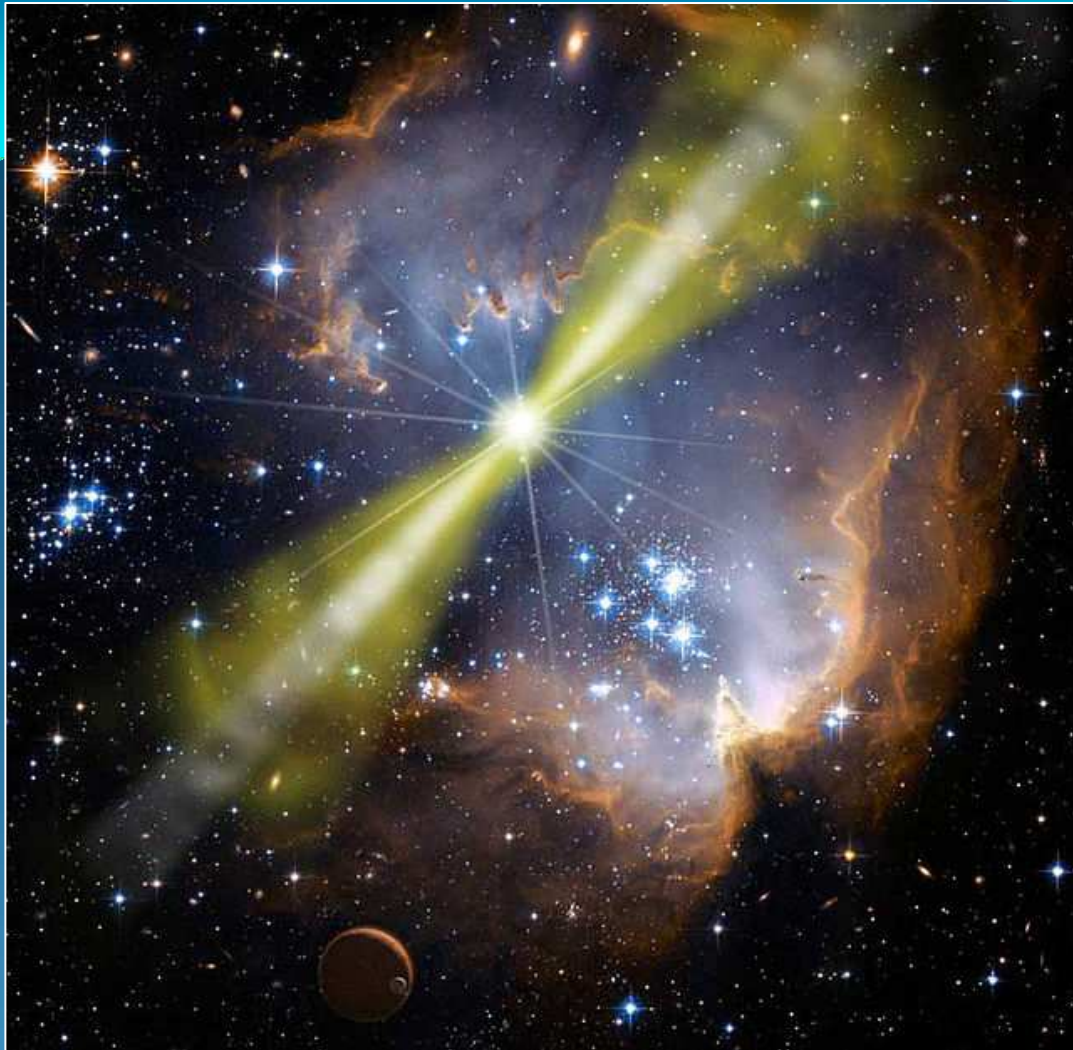


Energie cząstek są na tyle wysokie, że część z nich pokonuje ziemskie pole magnetyczne i dociera do powierzchni Ziemi. Największy wzrost dawki promieniowania spowodował wybuch z lutego 1956 roku. Strumień protonów był stosunkowo niewielki (znane były wybuchy dziesięciokrotnie intensywniejsze) ale miały one bardzo wysokie energie. Moc dawki na wysokości 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). Nigdy później nie odnotowano nawet zbliżonych poziomów promieniowania. Dlatego wkład promieniowania pochodzącego z protuberancji do dawki całkowitej jest na ogół pomijany.

Na koniec warto wspomnieć o rozbłyskach gamma (GRB Gamma-Ray Burst), pojawiających się podczas eksplozji gwiazd. Do eksplozji dochodzi podczas rozpadu masywnej gwiazdy, przekształcającej się w czarną dziurę lub w gwiazdę neutronową. Powstające rozbłyski gamma są chwilowe ale bardzo intensywne. Są one najsilniejszym źródłem promieniowania elektromagnetycznego we Wszechświecie. Jeśli GRB pojawiłoby się blisko Ziemi, byłibyśmy narażeni na śmiertelnie niebezpieczeństwo.

Uważa się, że do eksplozji dochodzi najczęściej w galaktykach o niskim stężeniu metali ciężkich. Droga Mleczna jest galaktyką o wysokiej zawartości tych metali.



Zagrozenie w czasie lotów pasazerskich.

We flocie LOT znajduje się 6 typów samolotów, z których 4 osiągają pułapy powyżej 10 000 m.

Maksymalne pułapy lotów samolotów PLL LOT

Typ samolotu	Maksymalny pułap [m]
Embraer 170/175/195	12 500
Boeing 737	12 500
Boeing 787 Dreamliner	13 100
Bombardier DHC	8 230

Samolotem o najwyższym pułapie (13 100 m) oraz o największym zasięgu (4650-15750 km) jest Boeing 787-8 Dreamliner. Typowe wysokości przelotowe mieszczą się w przedziale 10 000-12 000 m. Maksymalne i minimalne dawki skuteczne jakie mogą otrzymać osoby latające na przykładowych trasach przedstawiono poniżej.

Trasa	Dawka minimalna [μSv]	Dawka maksymalna [μSv]
Warszawa-Chicago	27,4	69,2
Warszawa-New York	26,0	52,6
Warszawa-Toronto	22,6	46,1
Warszawa-Bangkok	26,7	36,9
Warszawa-Londyn	5,2	10,5
Warszawa-Paryż	6,6	10,4
Warszawa-Hurgada	9,5	12,5
Warszawa-Poznań	0,18	0,79

Dawka maksymalna może być nawet dwukrotnie wyższa od minimalnej a zróżnicowanie to wynika głównie z różnych wysokości i czasu trwania lotów. W tabeli poniżej zestawiono wartości dawek od naturalnego tła promieniowania w różnych rejonach (dla aktywności słonecznej w 2013).

Miejsce	Wysokość n.p.m [m]	Moc dawki [mSv/rok]
Szczecin	0	0,33
Poznań	100	0,38
Warszawa	100	0,39
Kasprowy Wierch	1987	0,83
La Paz Boliwia	3630	1,5
McKinley	6194	9,0
K2 India	8611	13,7
Mt Everest Nepal	8848	12,9

Mieszkańcy Poznania otrzymują rocznie około 0,38 mSv (380 μ Sv) od naturalnego promieniowania, co stanowi wartość 481 razy większą niż dawka jednorazowa przy locie Poznań Warszawa lub 5 razy wyższą niż podróż Warszawa Chicago.

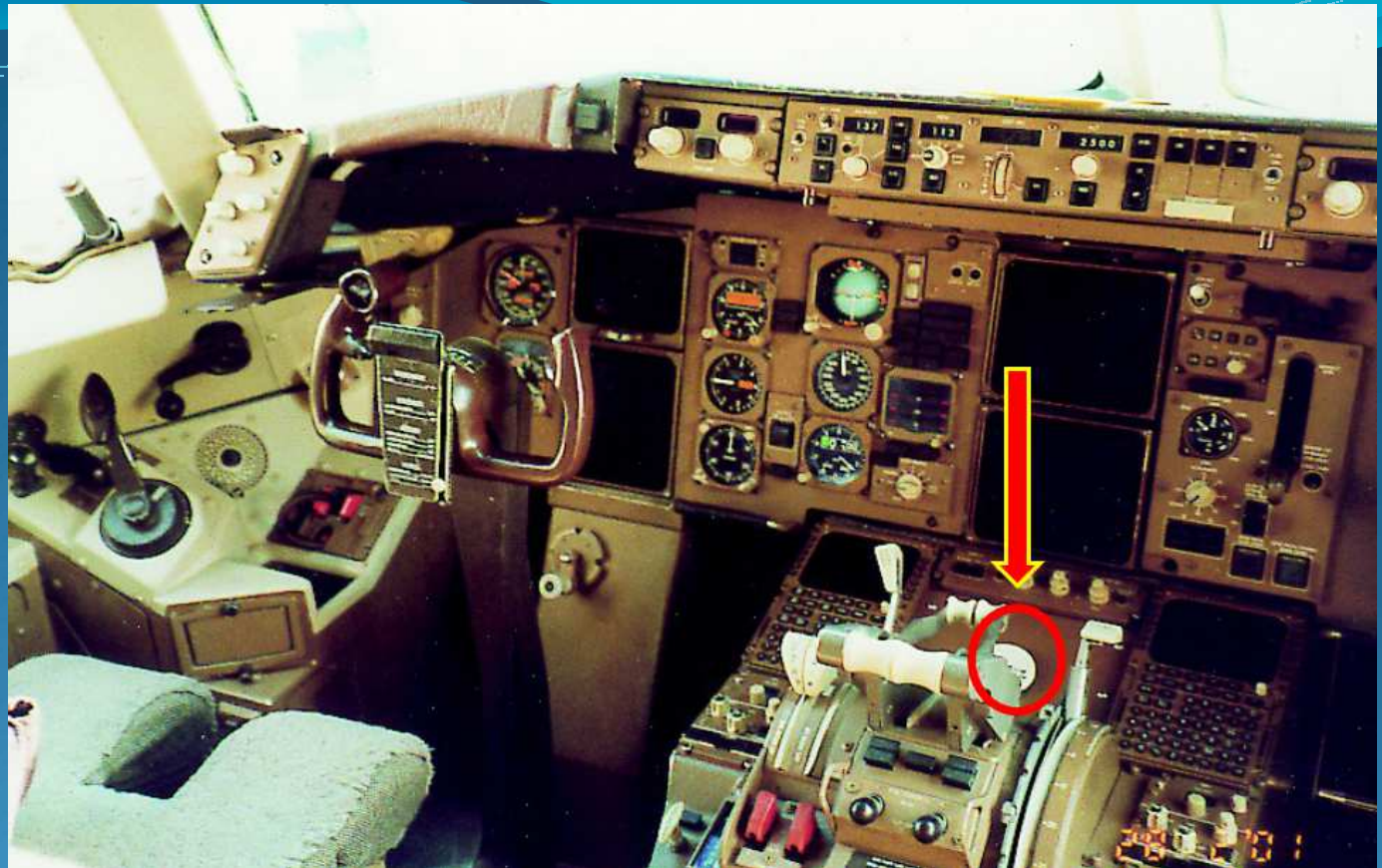
Polskie Prawo atomowe zaleca nie przekraczanie dla osób nie narażonych na działanie promieniowania jonizującego z tytułu wykonywanej pracy wartości dawki rocznej 1 mSv (1000 μ Sv) a zatem w roku można bez negatywnych konsekwencji zdrowotnych 1265 razy lecieć do Warszawy lub 14 razy do Chicago.

Mieszkańcy najwyższej położonej na świecie stolicy La Paz, otrzymują dawki roczne na tym samym poziomie co załogi samolotów. Warto zwrócić uwagę na wpływ efektu geomagnetycznego na poziom promieniowania na najwyższych górach świata: nie Everest lecz położony bardziej na północny-zachód K2 jest miejscem na powierzchni Ziemi o największej mocy dawki promieniowania kosmicznego.

Wnioski

- maksymalne dawki dla pojedynczego lotu wynoszą około 70 μSv , a ich typowe wartości dla lotów długodystansowych są rzędu 35-40 μSv ;
- mieszkaniec Polski od źródeł naturalnych otrzymuje dawkę 2,4 mSv/rok;
- z punktu widzenia zagrożenia promieniowaniem kosmicznym pasażerowie samolotów nie mają powodów do żadnych obaw;
- narażenie członków załóg samolotów - dawki roczne są rzędu 2-6 mSv dla Boeinga-787 a dla Boeinga-737 2-4 mSv (dwukrotnie wyższe od naturalnego promieniowania);
- załogi samolotów są najbardziej narażoną na promieniowanie grupą zawodową!

Do niedawna narażenie na promieniowanie jonizujące załóg samolotów nie było uregulowane przepisami a piloci i obsługa pokładowa (w przeciwieństwie do osób pracujących w narażeniu) nie byli objęci żadną ochroną radiologiczną i dozymetryczną. Obecnie Prawo Atomowe zakwalifikowało załogi lotnicze oraz górników (wdychanie promieniotwórczego radonu) do kategorii osób narażonych na promieniowanie jonizującego z tytułu wykonywanej pracy i objęło kontrolą dozymetryczną.



Dziękuję

za uwagę