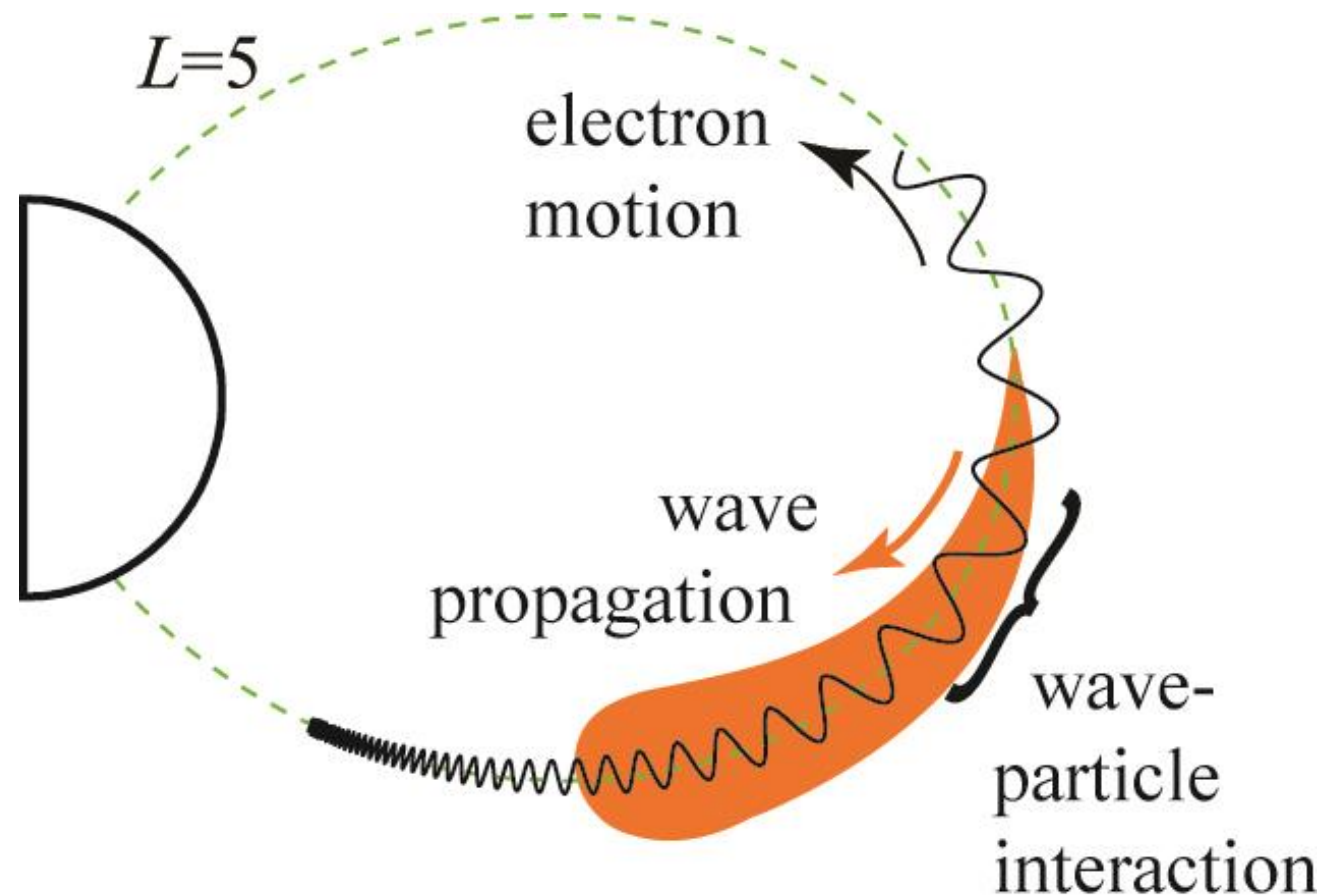


Space Physics Master's Course

Lecture 4



Invariant	Velocity	Time scale	Validity
magnetic moment	gyro motion	gyro period	$\tau \gg \tau_L$
longitudinal invariant	longitudinal velocity of GC	bounce period	$\tau \gg \tau_b \gg \tau_L$ and μ const
flux invariant	perpendicular velocity of GC	drift period	$\tau \gg \tau_d \gg \tau_b \gg \tau_L$ and μ and J const

Specific energization mechanism for each invariant

μ : $W_{\perp}$ changed by changing the Larmor radius (i.e., $|B|$)

J : $W_{\parallel}$ changed by stretching or shortening the magnetic bottle

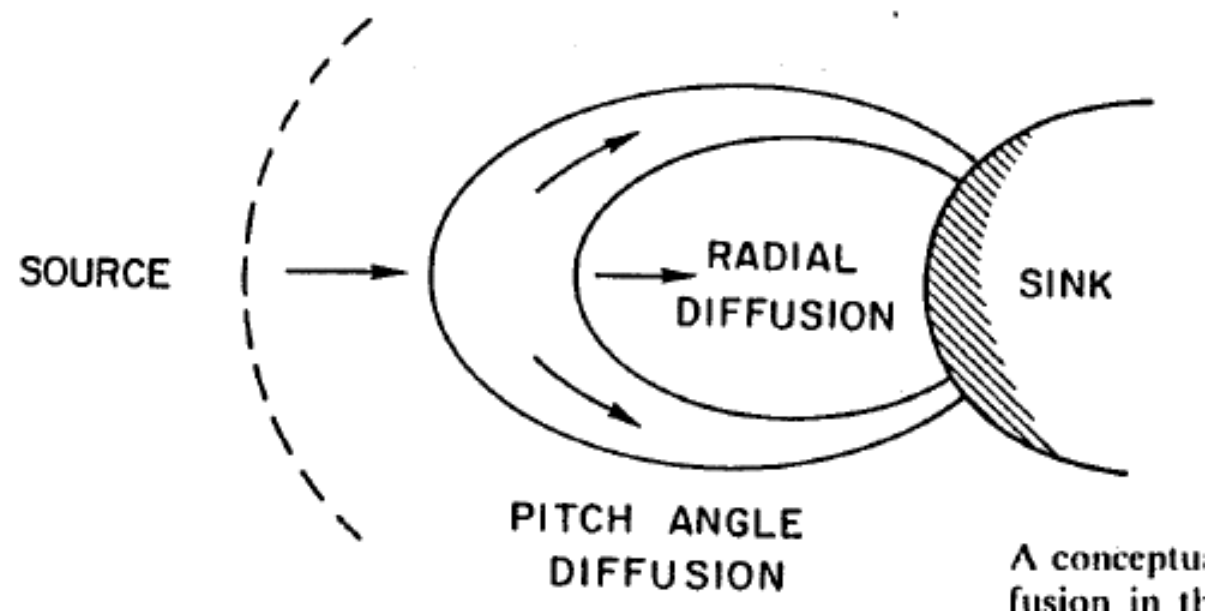
Φ : W changed by compressing or expanding the drift surface

Η σταθερότητα των αδιαβατικών αναλλοίωτων **καταργείται** όταν οι γεωμαγνητικές διαταραχές, που εμφανίζονται στη μαγνητόσφαιρα, έχουν **συχνότητες συγκρίσιμες ή μεγαλύτερες** από τις συχνότητες των τριων αντίστοιχων στις αναλλοίωτες χαρακτηριστικών περιοδικών κινήσεων των σωματιδίων:

1. της γυροκίνησης γύρω από το B
2. της ανάκλασης κατά μήκος του B
3. της ολίσθησης γύρω από τη Γη

Διαταραχές που καταργούν τη διατήρηση των αναλλοίωτων

- Μαγνητοσφαιρική συμπίεση (compression): Φ / ακτινική διάχυση (radial diffusion)
- Επιτάχυνση στη διεύθυνση ολίσθησης από ηλεκτρικά πεδία: Φ / ακτινική διάχυση
- Επιτάχυνση στη διεύθυνση ανάκλασης από μικροταλαντώσεις ή πτώσεις δυναμικού: J / ακτινική διάχυση και σκέδαση γωνίας κλίσης
- Κυκλοτρονική επιτάχυνση λόγω συντονισμού με κύματα: μ και J / σκέδαση γωνίας κλίσης
- Αλληλεπίδραση Coulomb με την ατμόσφαιρα: μ και J / σκέδαση γωνίας κλίσης



Effective Diffusion Coefficient

For purely adiabatic motion: $D_{\alpha\alpha}^{\text{adiabatic}} \approx 0$ (no actual diffusion occurs).^{[1][2]}

Gyro-Resonant Scattering

In contrast, **gyro-resonant wave-particle interactions** produce **rapid, stochastic pitch angle diffusion** on much shorter timescales.^{[7][8][2][1]}

Typical Diffusion Coefficients

For resonant interactions with whistler-mode chorus waves at $L \sim 7$:

- **Low energies** (0.5 MeV): $D_{\alpha\alpha} \sim 10^{-5}$ to 10^{-4} rad²/s
- **High energies** (1-1.5 MeV): $D_{\alpha\alpha} \sim 10^{-6}$ to 10^{-3} rad²/s

These values correspond to **pitch angle scattering timescales** of:

$$\tau_{\text{scatter}} \sim \frac{(\Delta\alpha)^2}{D_{\alpha\alpha}}$$

For a characteristic pitch angle change of $\Delta\alpha \sim 0.1$ rad ($\sim 6^\circ$):

- $\tau_{\text{scatter}} \sim 10^2$ to 10^4 seconds (**minutes to hours**)

However, these are **average** timescales. In **strong diffusion** or **nonlinear regimes**, scattering can be **much faster**:^{[10][11][12]}

- **Nonlinear phase trapping**: Sub-second to seconds for significant changes^{[11][10]}
- **Strong diffusion limit**: Electrons scatter into loss cone in less than one bounce period^[1]

Direct Comparison

The key distinction is:

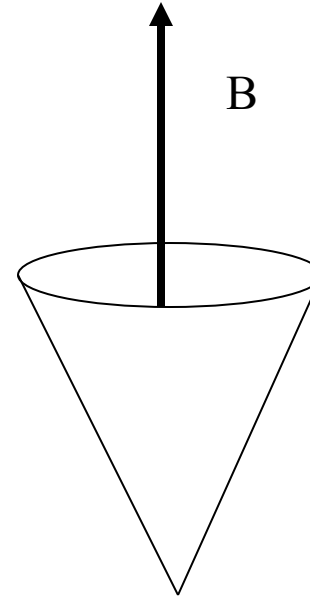
Process	Nature	Timescale	Diffusion Coefficient
Adiabatic motion	Reversible, deterministic	Infinite (no actual diffusion)	$D_{\alpha\alpha} = 0$
Resonant scattering	Irreversible, stochastic	Minutes to hours (quasilinear) Seconds (nonlinear)	10^{-6} to 10^{-3} rad ² /s

Συνέπειες του κώνου απώλειας

Κώνος απώλειας

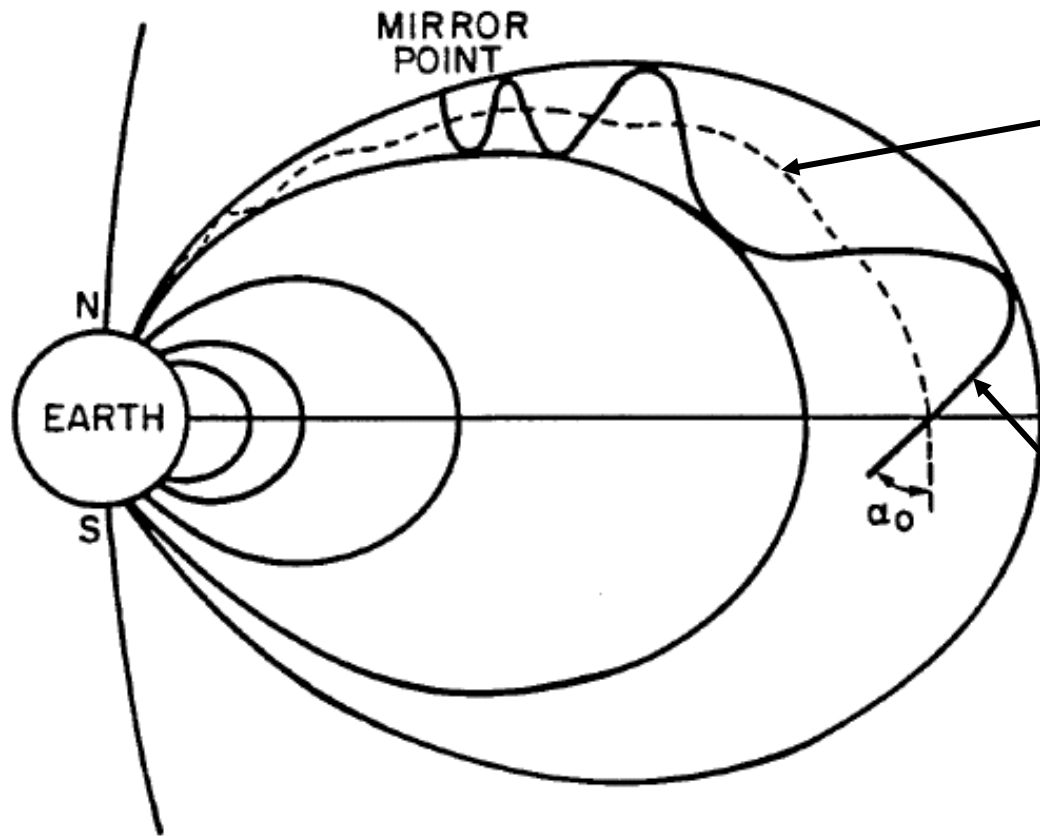
Αν ένα σωματίδιο συναντήσει την ατμόσφαιρα πριν από το σημείο ανάκλασης, θα χαθεί. Αυτό συμβαίνει όταν η γωνία κλίσης είναι πολύ μικρή και λόγω της διατήρησης της πρώτης αδιαβατικής αναλλοίωτης, χρειάζεται πολύ μεγάλο B_M για την ανάκλαση.

Τα σωματίδια **που στον ισημερινό έχουν γωνία κλίσης τόσο μικρή** ώστε να είναι «καταδικασμένα» να χαθούν στην ατμόσφαιρα, **ορίζουν τον κώνο απώλειας**



Loss cone

Κίνηση ανάκλασης σωματιδίου και κώνος διαφυγής



Γωνία κλίσης **εντός** του κώνου διαφυγής. Το σωματίδιο δεν ανακλάται, συνεχίζει την ελικοειδή κίνηση κατά μήκος του B και χάνεται στην ατμόσφαιρα

Γωνία κλίσης **εκτός** του κώνου διαφυγής

Κώνος διαφυγής (loss cone) και υετός (precipitation)

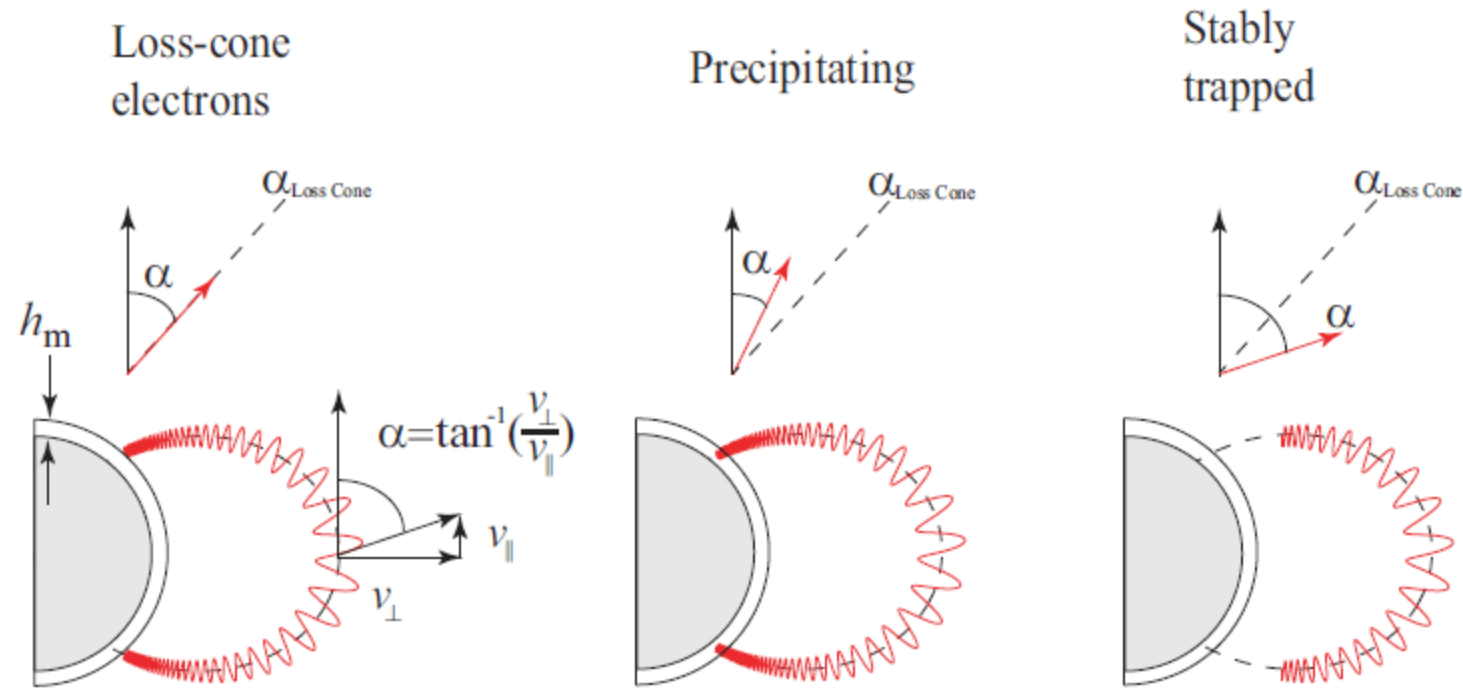
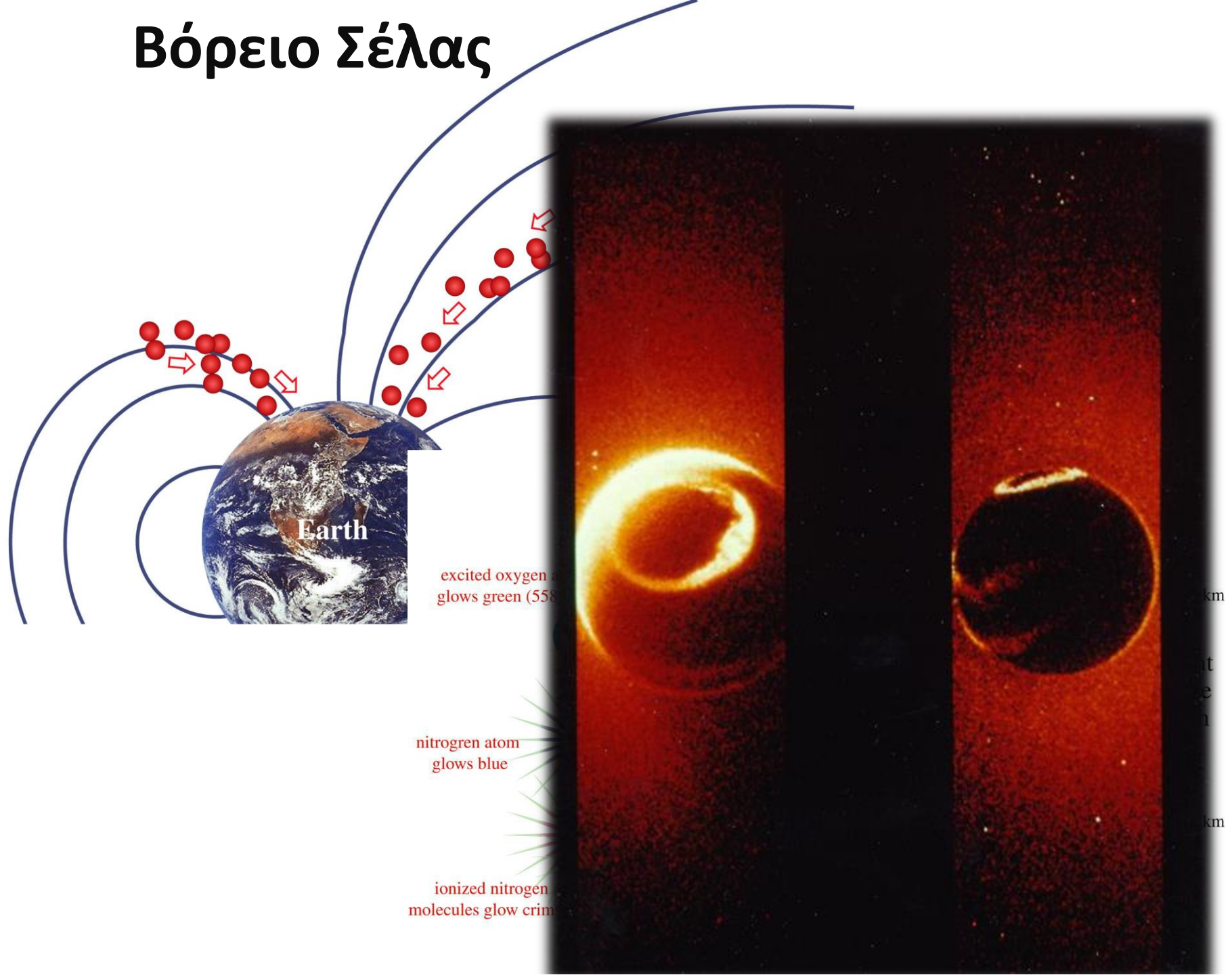


Figure 2.8: The relation of mirror height to equatorial pitch angle, and the concept of a loss-cone angle.

**Ένα λαμπρό
(κυριολεκτικά και μεταφορικά)
αποτέλεσμα
του υετού ηλεκτρονίων
(electron precipitation)**



Βόρειο Σέλας



Υετός (precipitation)

“Rain down on me from a great height”

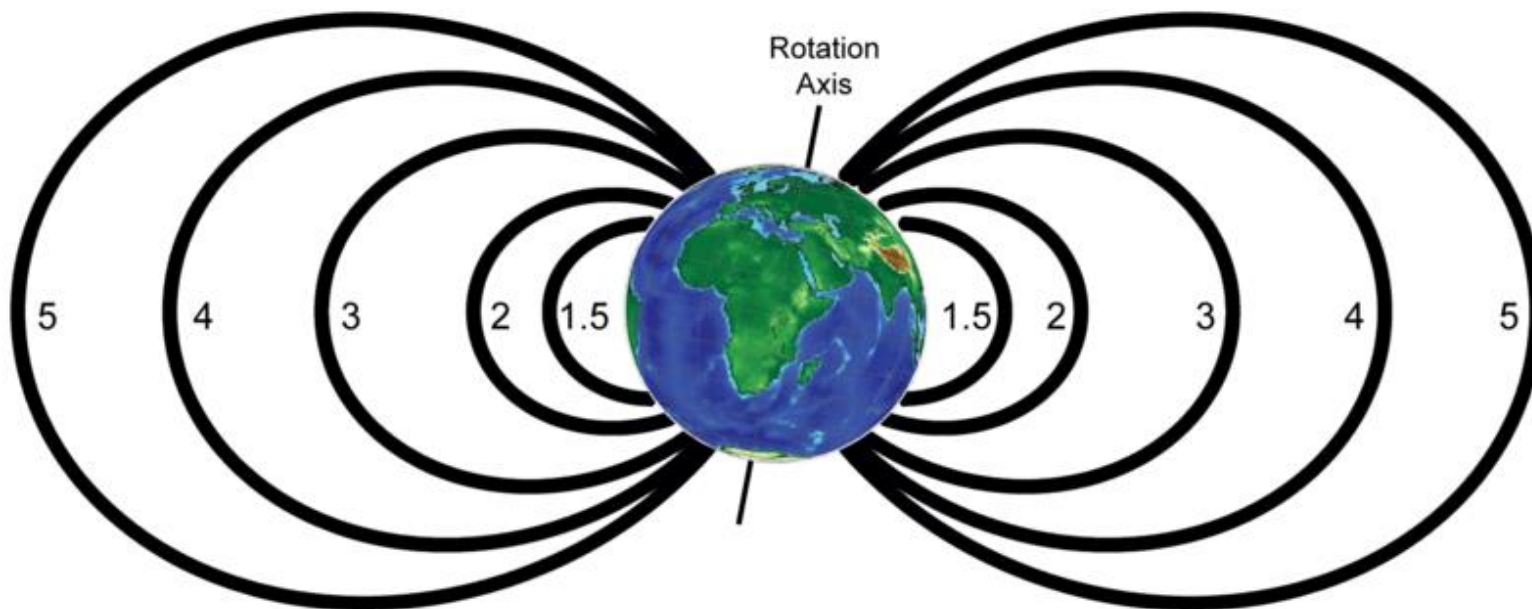


Radiohead

One of the most accomplished and influential art-rock bands of the early 21st century.

OK Computer (1997) stands as Radiohead's defining masterpiece and one of the most acclaimed albums in popular music history.

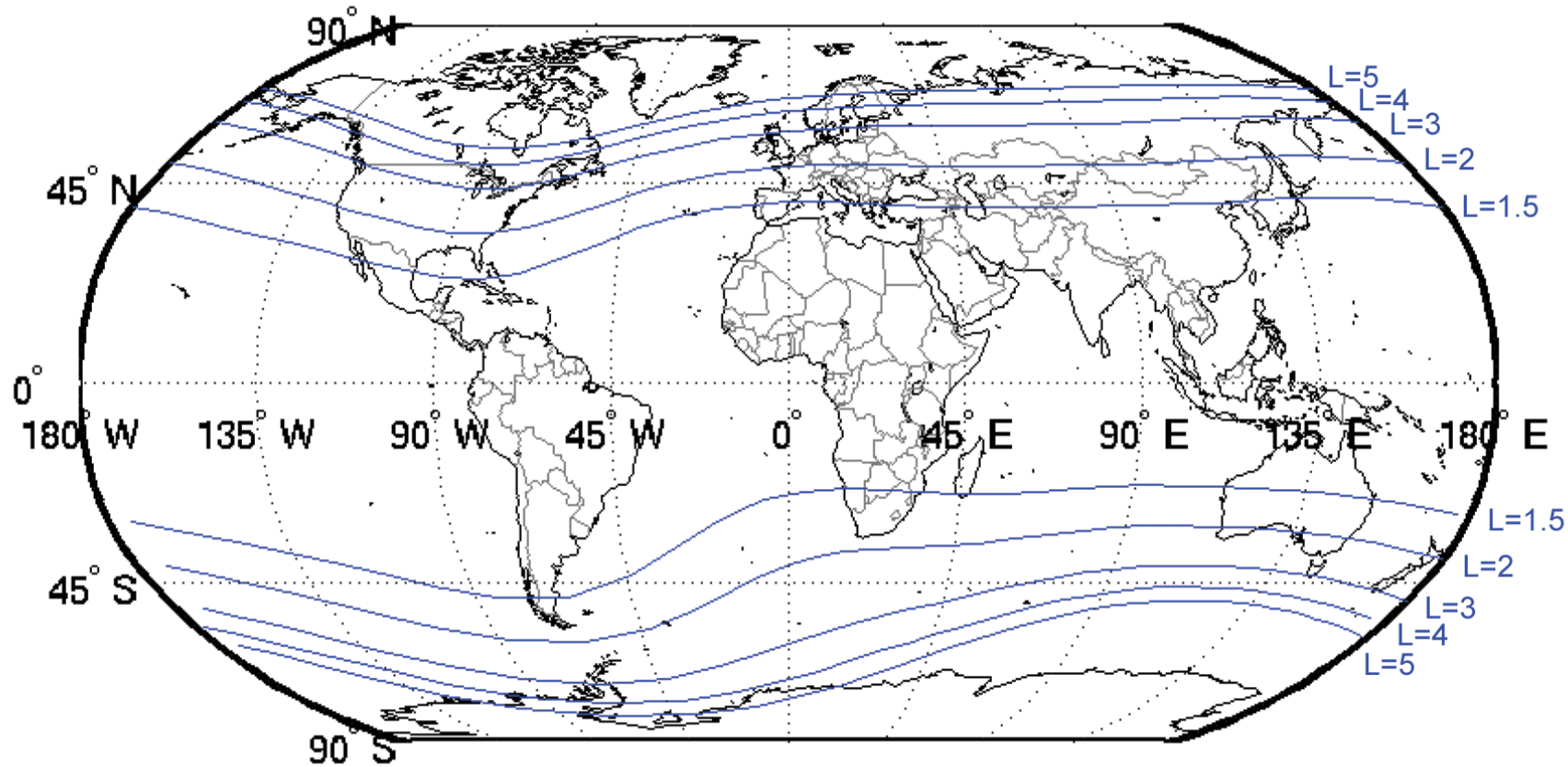
<https://www.youtube.com/watch?v=Lt8AfleJOxw>



$$r = L \cos^2 \lambda$$

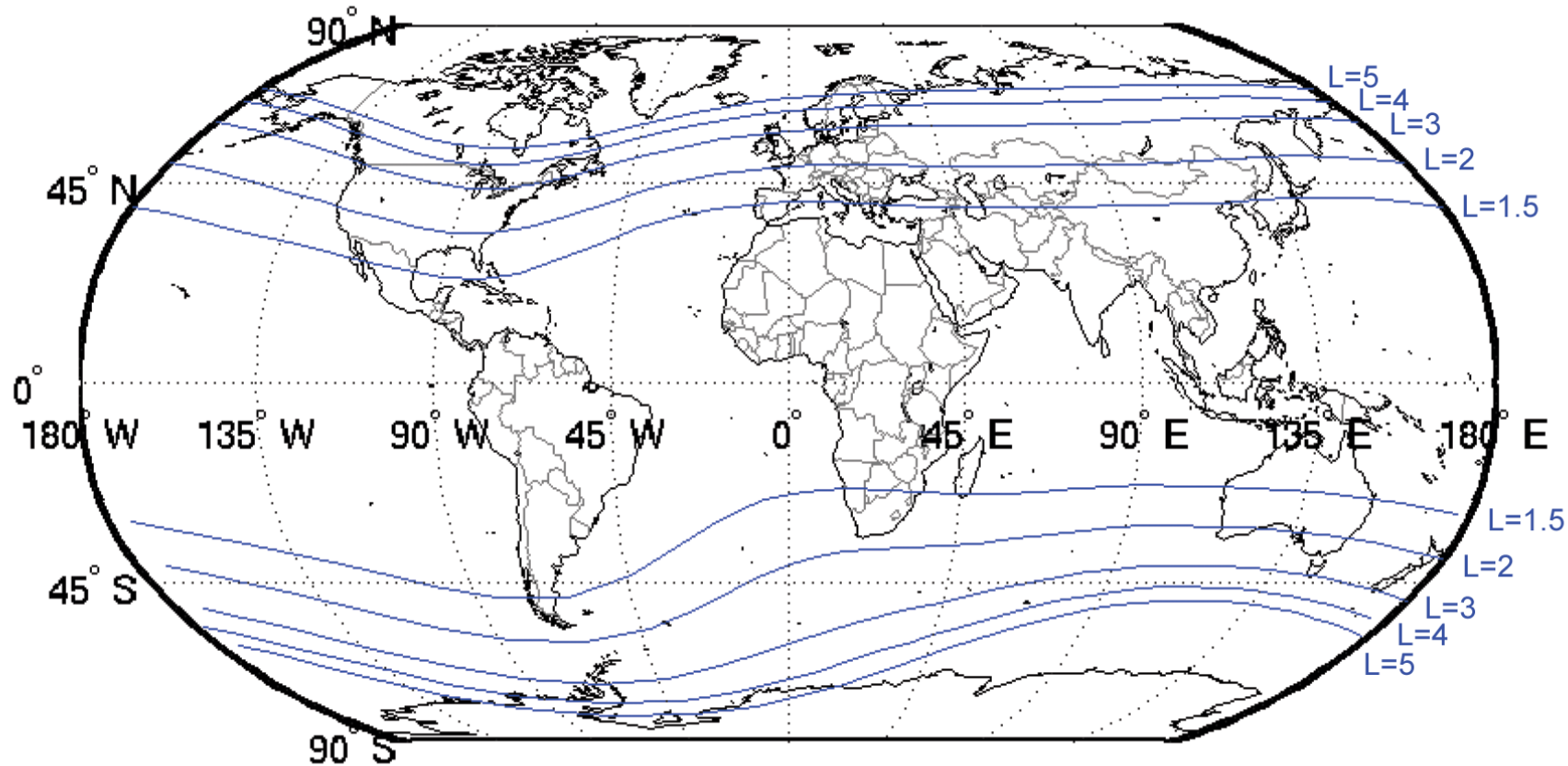
Μαγνητοκέλυφος L

Προβολή στην επιφάνεια της Γης



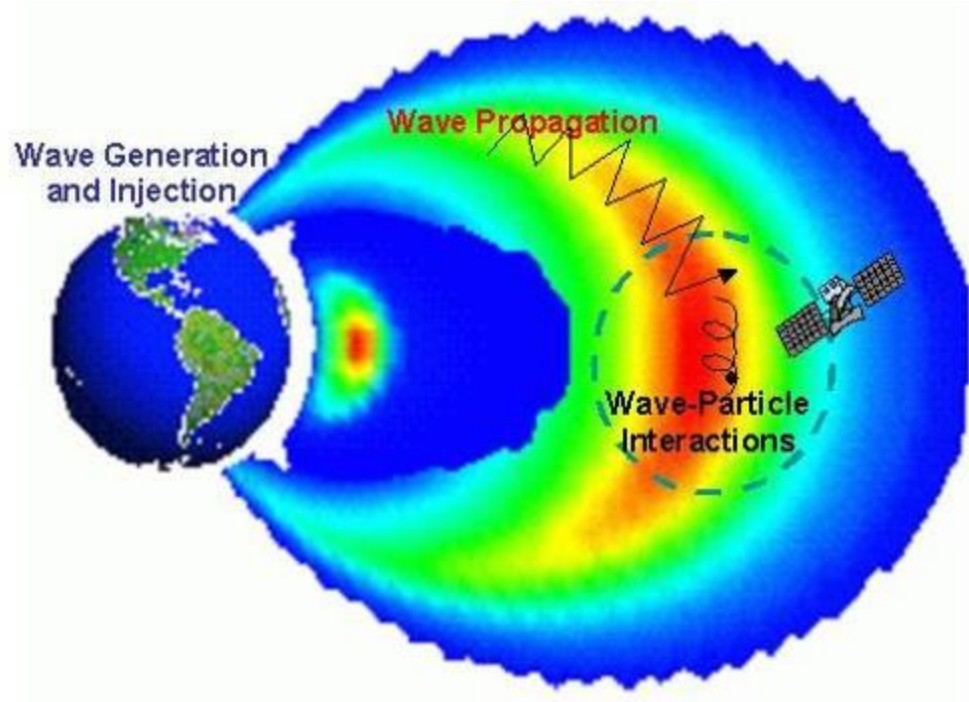
Μαγνητοκέλυφος L

Προβολή στην επιφάνεια της Γης



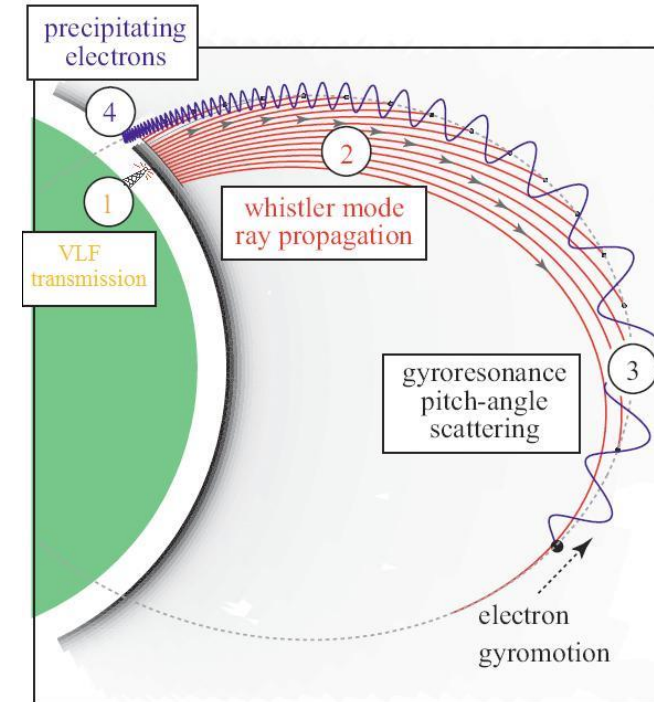
South Atlantic Anomaly

Η τέχνη της κατάρριψης ηλεκτρονίων
aka
How to shoot down nasty electrons

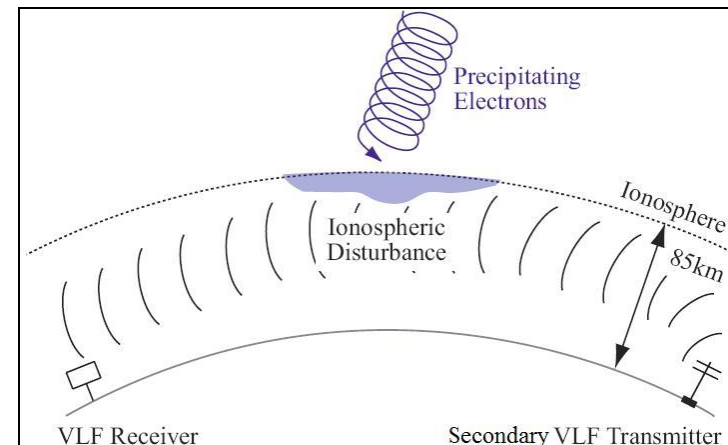


Shooting down electrons

VLF electromagnetic waves, created by lightning, transmitter, or otherwise, can induce precipitation of energetic electrons by altering the pitch angle of their motion.



The precipitation results in an ionospheric enhancement which perturbs subionospherically propagating VLF signals beneath the disturbed region



Controlling radiation belts: HAARP

The Greek connection: Dennis Papadopoulos



Controlling radiation belts: HAARP

The Greek connection: Dennis Papadopoulos

