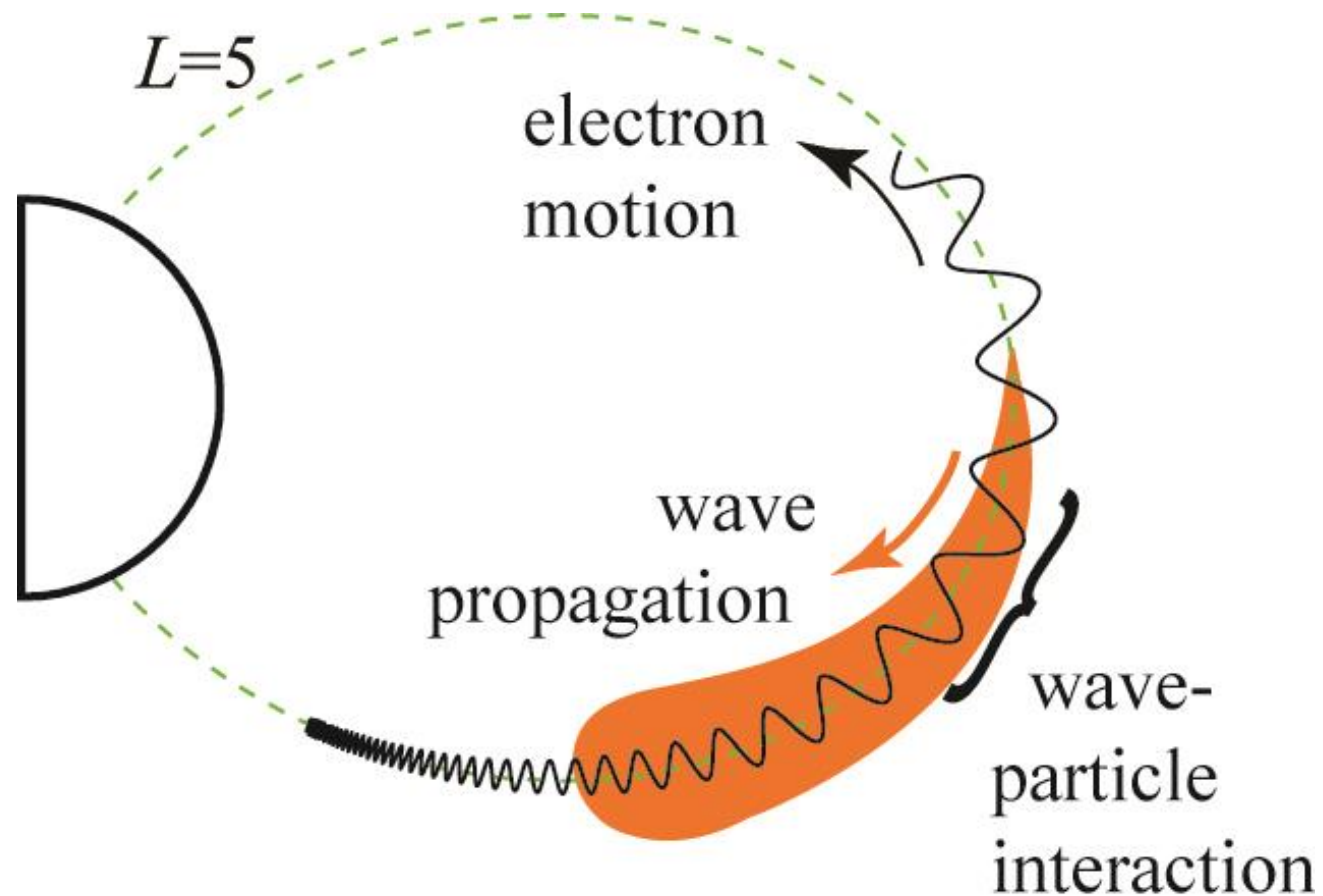


Space Physics Master's Course

Lecture 5



RECOMMENDED READING

Διαστημική Φυσική: Δαγκλής, Κατσαβριάς,
Γεωργίου, Σέργης. Κεφάλαιο 4

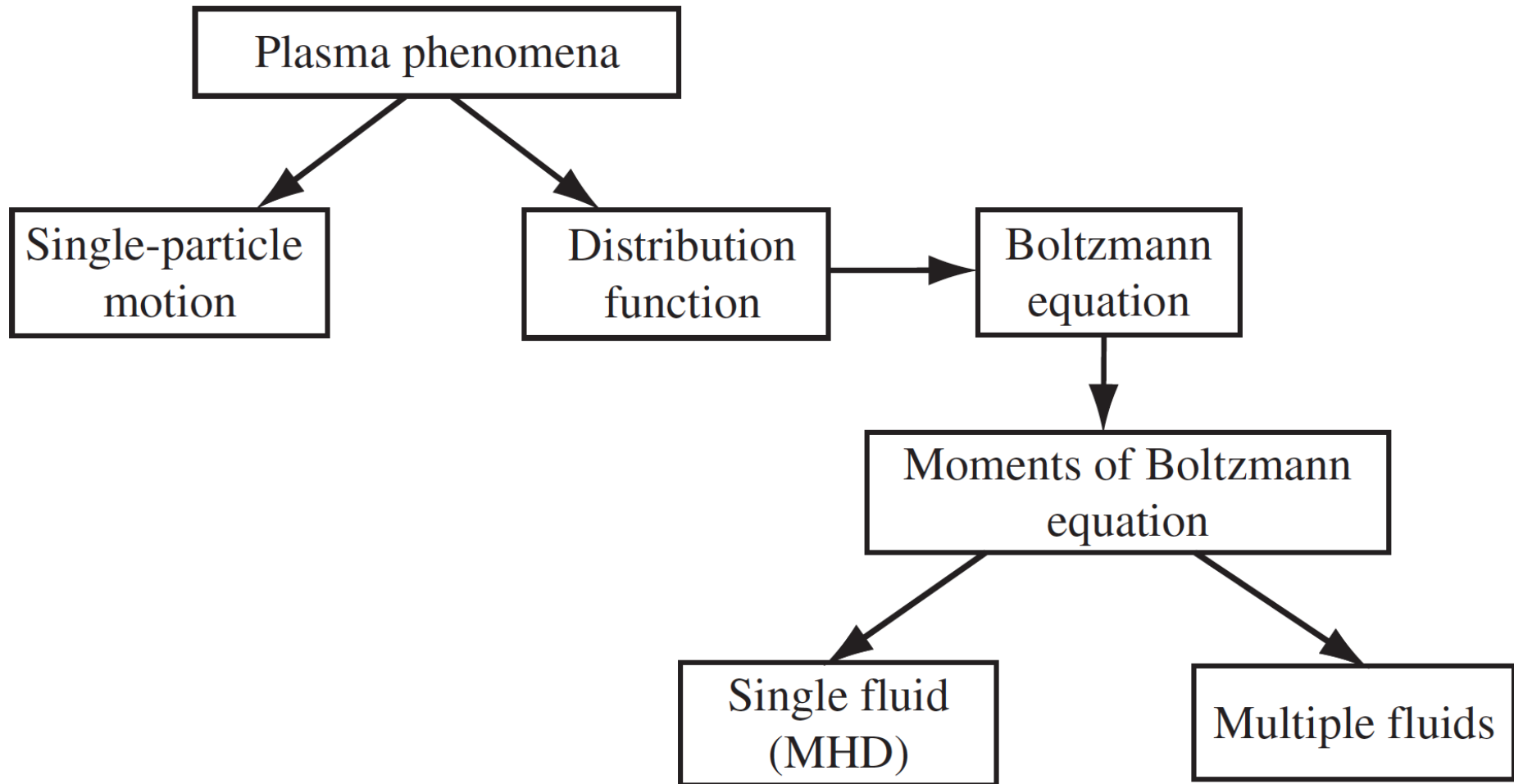
(<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/11507>)

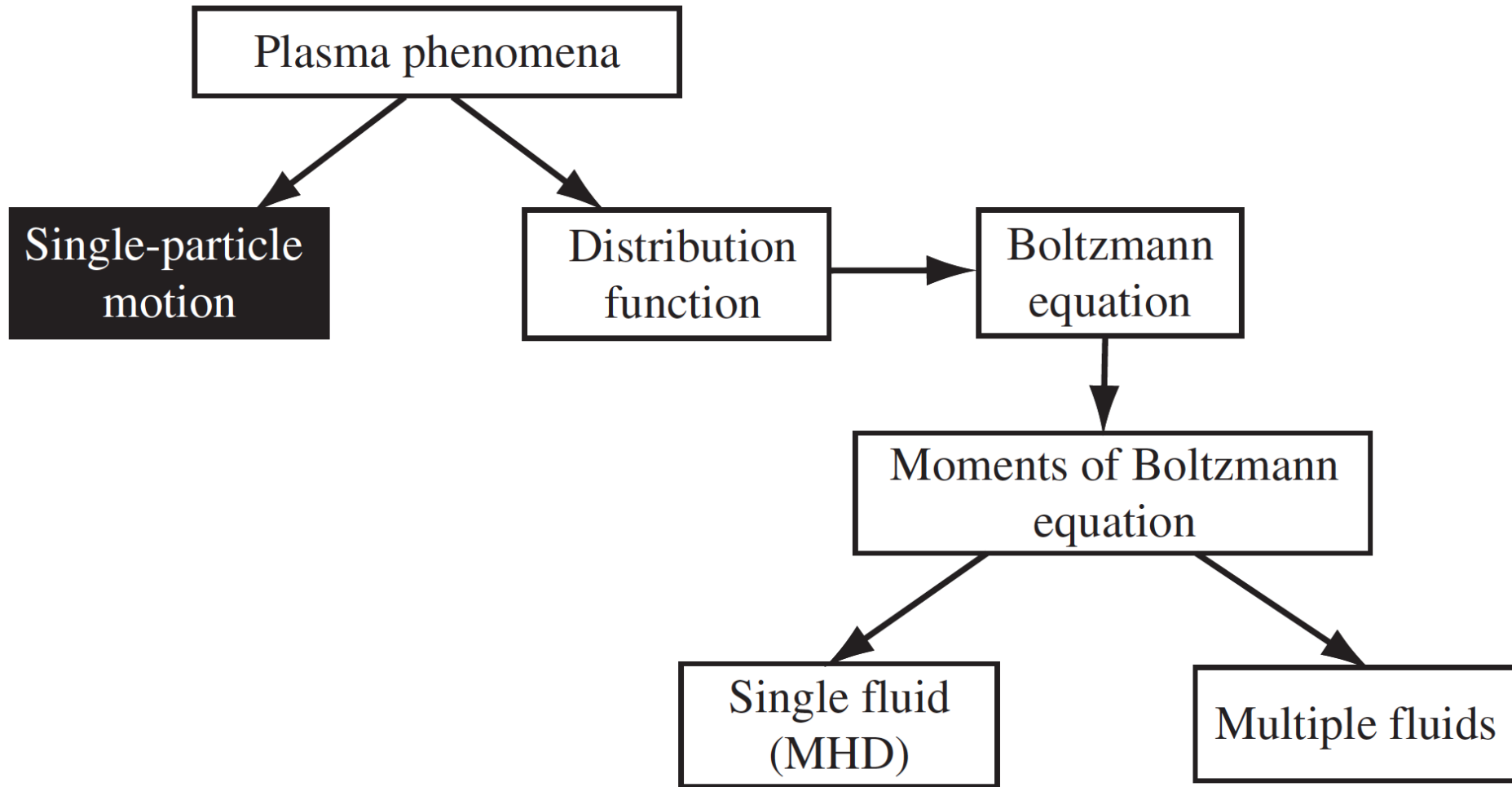
Physics of Earth's Radiation Belts: Koskinen and
Kilpua. Κεφάλαιο 3

(<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-82167-8.pdf>)

Space Physics: May-Britt Kallenrode. Κεφάλαιο 5

Περιγραφή πλάσματος





Τρία επίπεδα περιγραφής

Ακριβής μικροφυσική περιγραφή:

Single particle description: tenuous plasma with strong external fields (e.g. Van Allen belts), important for gaining insight into physical processes involved (e.g. particle energization)

Plasma phenomena

Single-particle
motion

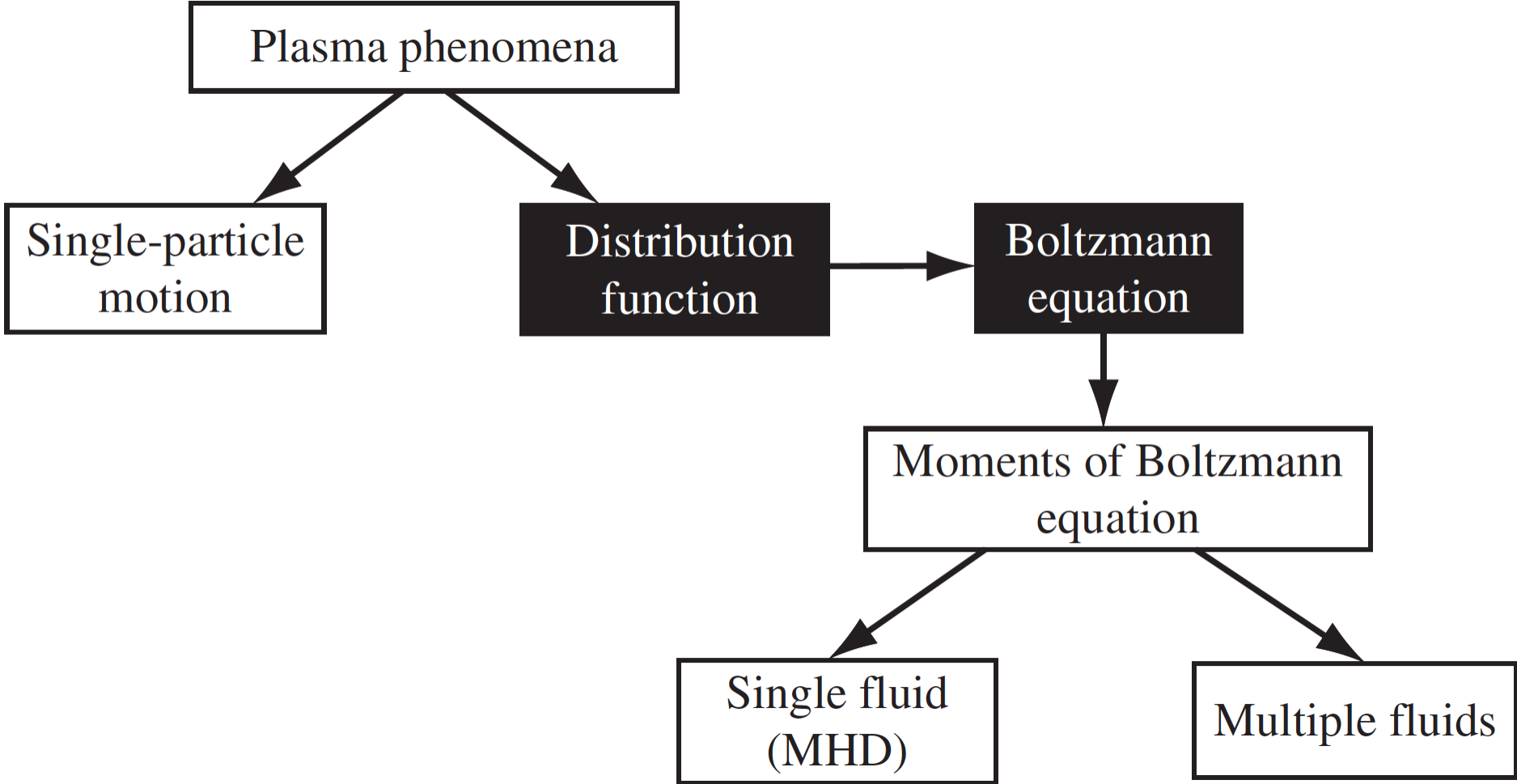
Distribution
function

Boltzmann
equation

Moments of Boltzmann
equation

Single fluid
(MHD)

Multiple fluids



Τρία επίπεδα περιγραφής

Κινητική θεωρία (στατιστική περιγραφή):

For a system with a large number of particles it is neither possible nor desirable to determine the motion of every single particle. The statistical approach focuses on average macroscopic properties.

Kinetic theory averages out microscopic information to obtain statistical, kinetic equations. No knowledge of individual particle motion is required to describe observable phenomena.

Η συνάρτηση κατανομής $f(r,v,t)$

δίνει την αριθμητική πυκνότητα

στη μονάδα όγκου $dx dy dz dv_x dv_y dv_z$

του εξαδιάστατου χώρου φάσεων (r,v)

τη χρονική στιγμή t .

Το ολοκλήρωμα της συνάρτησης κατανομής
(πχ Maxwell, μετατοπισμένη Maxwell, kappa)

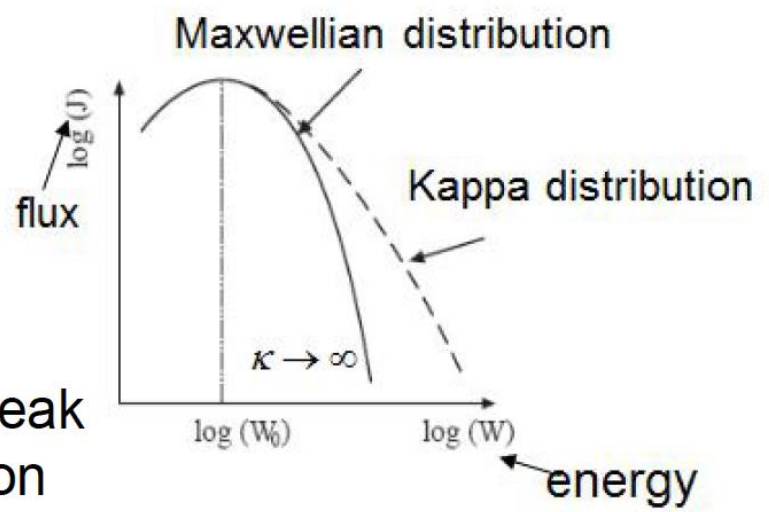
ως προς dv μάς δίνει την αριθμητική
πυκνότητα n του πλάσματος στη μονάδα
όγκου του χώρου

Kappa distribution ~ Maxwellian with high-energy tail

The tail follows a **power law** $f(W) \propto (W_0/W)$

$$f_{\kappa}(W) = n \left(\frac{m}{2\pi\kappa W_0} \right)^{3/2} \frac{\Gamma(\kappa + 1)}{\Gamma(\kappa - 1/2)} \left(1 + \frac{W}{\kappa W_0} \right)^{-(\kappa+1)}$$

$\nearrow$ Γ -function $\nearrow$ energy at the peak of the distribution



Plasma description

Plasma as a collection of particles

The properties of a collection of particles can be described by specifying **how many there are in a 6D volume called phase space.**

The density of particles of species “s” (number per unit volume) is:

$$n_s(\vec{r}, t) = \int f_s(\vec{r}, \vec{v}, t) d\mathbf{v}$$

Ολοκληρώνοντας το n ως προς $dx\,dy\,dz$, βρίσκουμε τον συνολικό αριθμό σωματιδίων στον συγκεκριμένο χώρο

$$N(t) = \int n\,dx\,dy\,dz.$$

Από τις ροπές της συνάρτησης κατανομής μπορούμε να υπολογίσουμε άλλες μετρήσιμες παραμέτρους του πλάσματος (πχ ταχύτητα ροής σωματιδίων, κινητική θερμοκρασία, πίεση, ροή θερμότητας)

Average velocity (bulk flow velocity)

$$\vec{u}_s(\vec{r}, t) = \int \vec{v} f_s(\vec{r}, \vec{v}, t) d\vec{v} / \int f_s(\vec{r}, \vec{v}, t) d\vec{v}$$

Average random energy

$$\left\langle \frac{1}{2} m_s (\vec{v} - \vec{u}_s)^2 \right\rangle = \int \frac{1}{2} m_s (\vec{v} - \vec{u}_s)^2 f_s(\vec{r}, \vec{v}, t) d\mathbf{v} / \int f_s(\vec{r}, \vec{v}, t) d\mathbf{v}$$

Plasma phenomena

Single-particle
motion

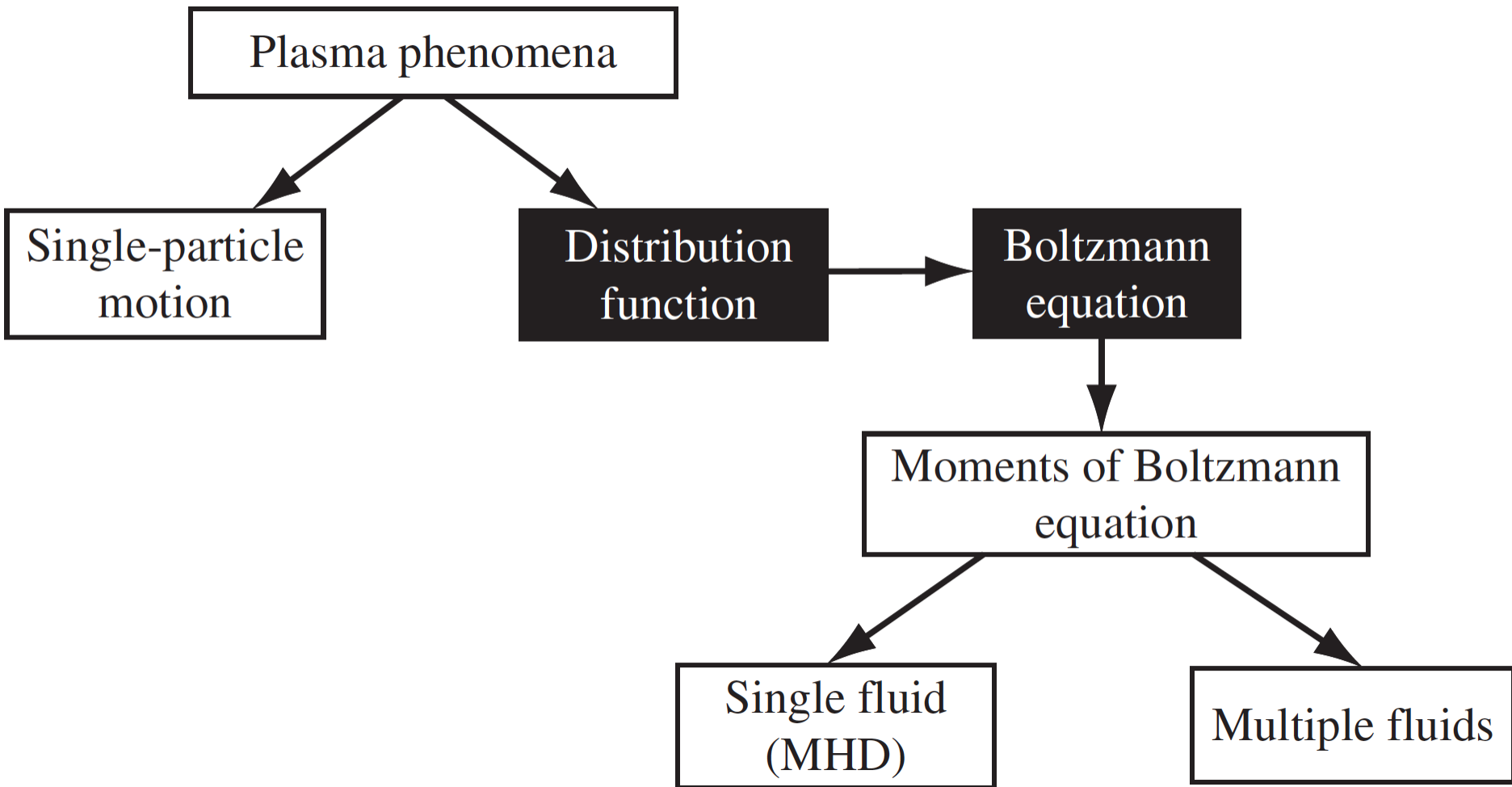
Distribution
function

Boltzmann
equation

Moments of Boltzmann
equation

Single fluid
(MHD)

Multiple fluids



Vlasov equation

Η εξίσωση Vlasov είναι η κινητική εξίσωση για τη συνάρτηση κατανομής (= εξίσωση Boltzmann απουσία κρούσεων – collisionless plasma):

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{r}} + \frac{q}{m} (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{v}} = 0$$

Ολοκληρώνοντας την εξίσωση Vlasov στον χώρο των ταχυτήτων, παίρνουμε την εξίσωση συνέχειας του ρευστού:

$$\frac{\partial n_{\alpha}}{\partial t} + \nabla \cdot (n_{\alpha} \mathbf{V}_{\alpha}) = 0$$

In the absence of any interaction process which creates or annihilates particles, the particle number density is conserved during the motion of the fluid

Τρία επίπεδα περιγραφής

Ρευστοδυναμική (μακροσκοπική περιγραφή):

Macroscopic plasma theories are fluid theories at different levels:

single fluid (magnetohydrodynamics MHD)

two-fluid (multifluid, separate equations for electron and ion fluids)