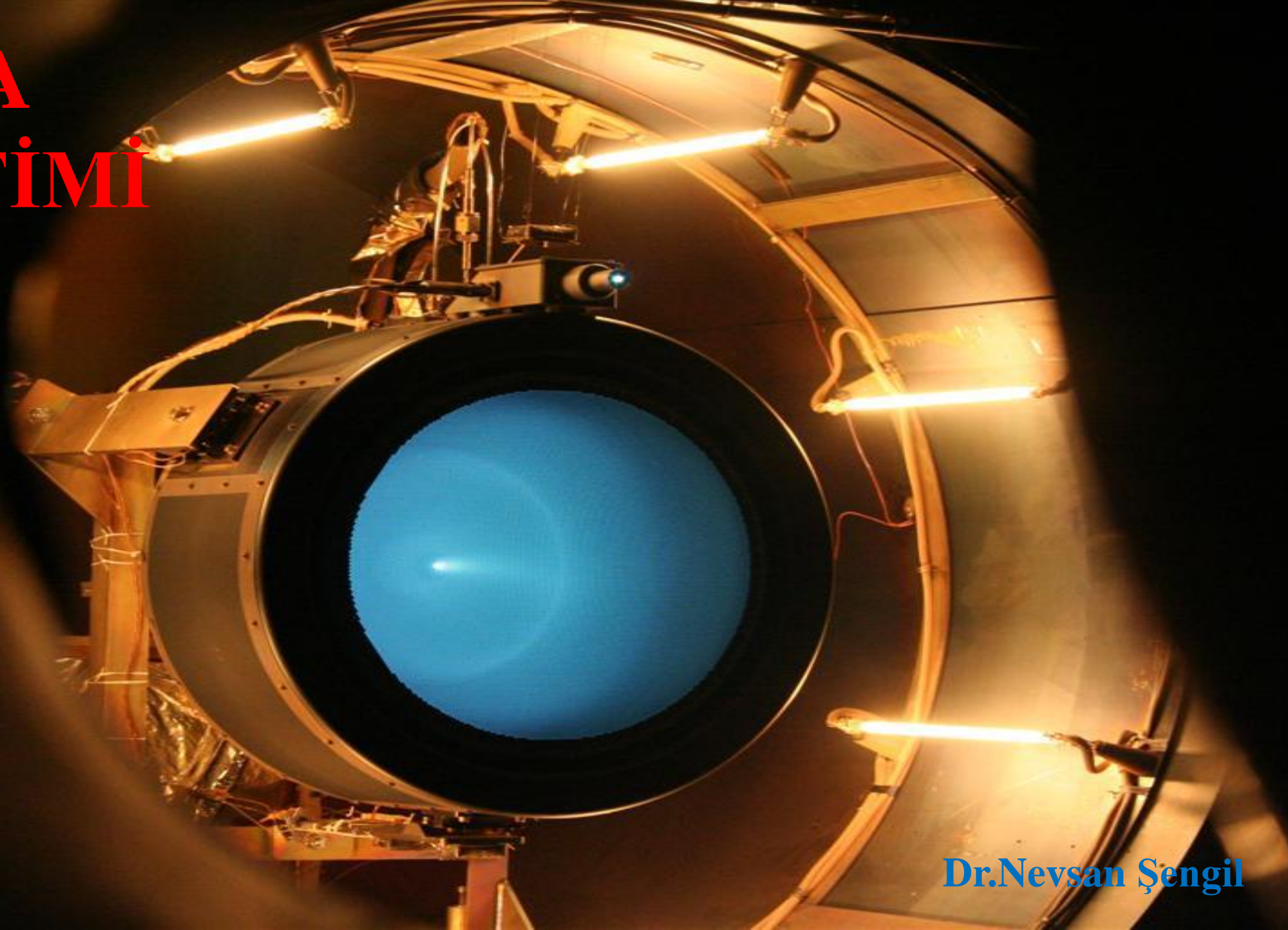


PLAZMA BENZETİMİ

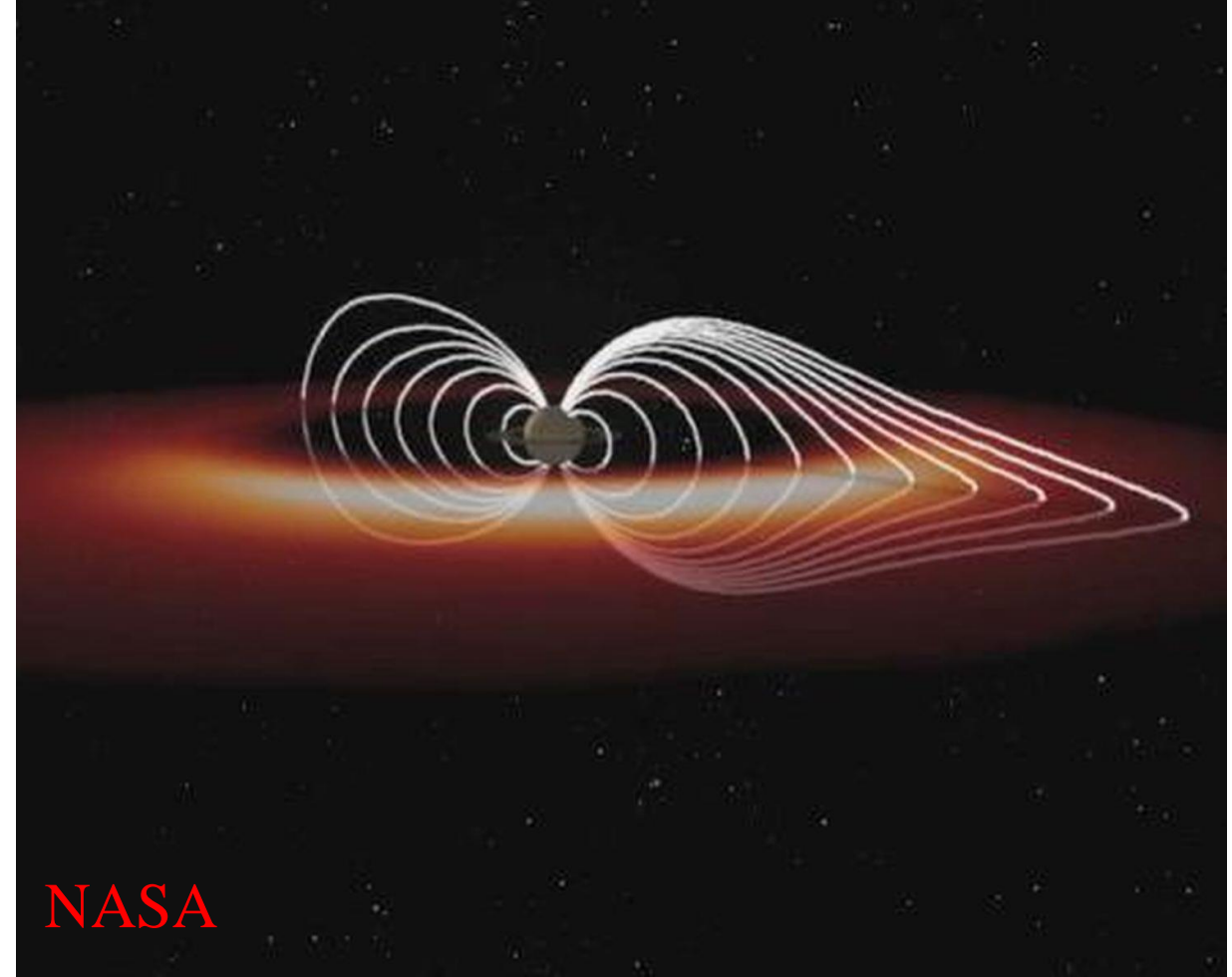


NASA

Dr.Nevsan Şengil

Plazma

- Plazma maddenin gazlardan sonraki 4. hali olup, yüksüz parçacıklar (N_n) ile bir arada bulunan artı (N_i) ve eksi (N_e) yüklü parçacıklar hep birlikte Coulomb kuvvetinin de etkisiyle ortak bir davranış sergilerler.
- Evrenin 99%'u plazma durumundadır.
- Plazmalar sanki-yüksüz olarak tanımlanan bir özellik içerirler. Plazma da artı ve eksi yüklü parçacık sayısı genelde eşittir .
 - $N_e \approx N_i$
- Plazmada iyonizasyon oranını veren eşitlik aşağıda verilmiştir.
 - $r_i = \frac{N_e}{N_e + N_n}$
- Bu oranın 1% bile olması, gazın plazma özelliği göstermesi için yeterli olmaktadır.



Plazma

- Plazma sanki-yüksüz özelliğine ek olarak aşağıda yer alan özellikleri de içerir.
 - Debye uzunluğu plazma karakteristik uzunluğundan küçük olmalıdır.
 - $\lambda_D \ll L$
 - Debye küresinde çok sayıda yüklü parçacık bulunmalıdır.
 - $N_D = n_e \lambda_D^3 \gg 1$
 - Plazma frekansı, parçacıkların çarpışma frekansından daha yüksek olmalıdır.
 - $\omega_p > \omega_c$

Debye uzunluğu: Bir plazmaya dışardan bir elektrik alanına uygulandığında, plazma içindeki yüklü parçacık yeniden konumlanarak Debye uzunluğu kalınlığında bir sınır tabakası oluştururlar. Dolayısı ile bu sınır tabakasının arkasında kalan plazma bölgesi dışarıdan uygulanan alana yüksüzmüş gibi davranır. Debye uzunluğu ile yük yoğunluğu arasındaki orantı aşağıda verilmiştir.

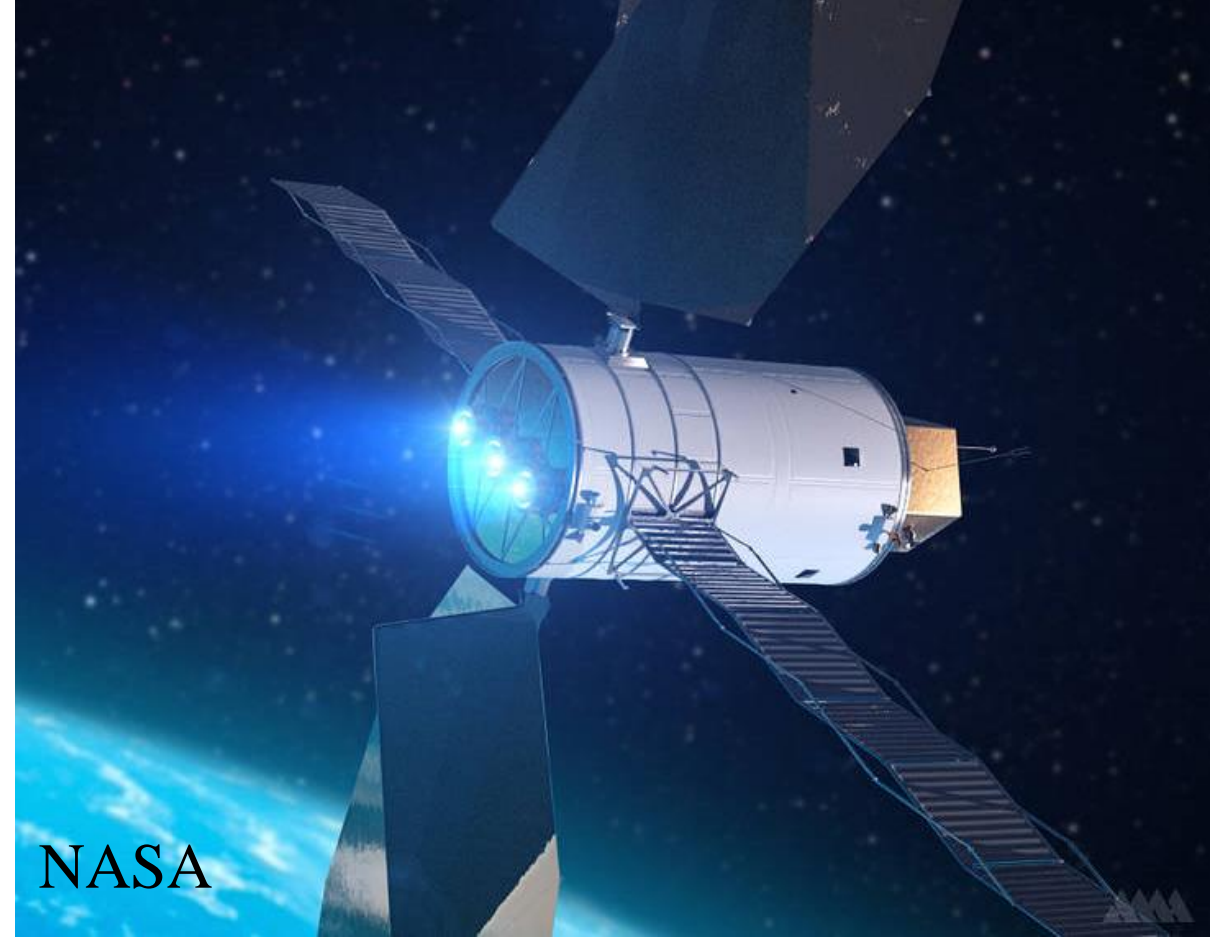
- $\lambda_D \sim \frac{1}{\sqrt{N_e}}$

Plazma frekansı: Elektronların denge konumlarında gerçekleştirdikleri salınımların frekansıdır.

- $\omega_p \sim \sqrt{N_e}$

Plazma Çözümlenmeleri

- Plazmaları incelemek oldukça zorlu bir problemdir.
 - Uygulanan elektrik alandan etkilenen yüklü parçacıklar yer değiştirdikçe uygulanan alanı da değiştirirler.
 - Yüklü ve yüksüz parçacıkların etkileşimi nedeniyle, yük durumları değişir, hızları değişir, bileşimleri değişir.
 - Coulomb kuvvetleri nedeniyle birbirlerine de etki ederler.
 - Çok sayıda farklı çarpışmanın modellenmesi gerekir.
 - Manyetik alan mevcutsa durum daha da karmaşık hale gelir.



Plazma Çözümleme Yöntemleri

- Parçacık-Parçacık Yöntemi (Coulomb Kuvveti)
 - $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
 - $O(N^2)$ mertebesinde hesaplama yükü nedeniyle istisnalar dışında kullanılmaz
- Hücrede-Parçacık (PIC) Yöntemi (Hareket+Maxwell Denklemleri)
 - $O(N \log(N))$ mertebesinde hesaplama yükü
 - Ayrıntılı bilgi sağlar
- MHD Yöntemi (Akışkan+Maxwell Denklemleri)
 - Yoğunluk, sıcaklık, akış hızı ve basınç dışında ilave ayrıntı gerektirmeyen çalışmalar için uygundur.
 - Hesaplama yükü açısından ekonomiktir

Hücrede-Parçacık Yöntemi

Bu yöntemde Maxwell Denklemleri ve Hareket Denklemleri birbiri ile bağlanır.

- Maxwell Denklemleri çözülerek plazmaya uygulanan Elektrik alanı (\mathbf{E}) ve Manyetik alan (\mathbf{B}) hesaplanır.
- t (zaman)
- c (ışık hızı)
- ϵ_0 (uzay elektriksel geçirgenlik katsayısı)
- μ_0 (uzay manyetik geçirgenlik katsayısı)

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

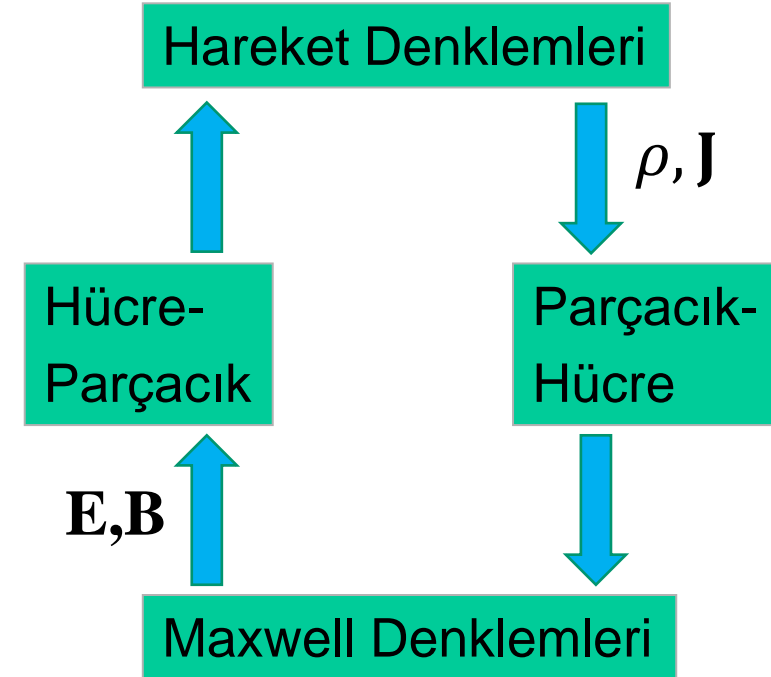
$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \mathbf{J}$$

- Bu alanlar kullanılarak yüklü parçacıklar üzerlerine uygulanan Lorentz Kuvveti hesaplanır ve hareket denklemleri çözülür.
- Akabinde Maxwell Denklemlerinde kullanılmak üzere, yüklü parçacıkların konum ve hız bilgileri kullanılarak yük yoğunluğu (ρ) ve akım yoğunluğu (\mathbf{J}) hesaplanır.

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

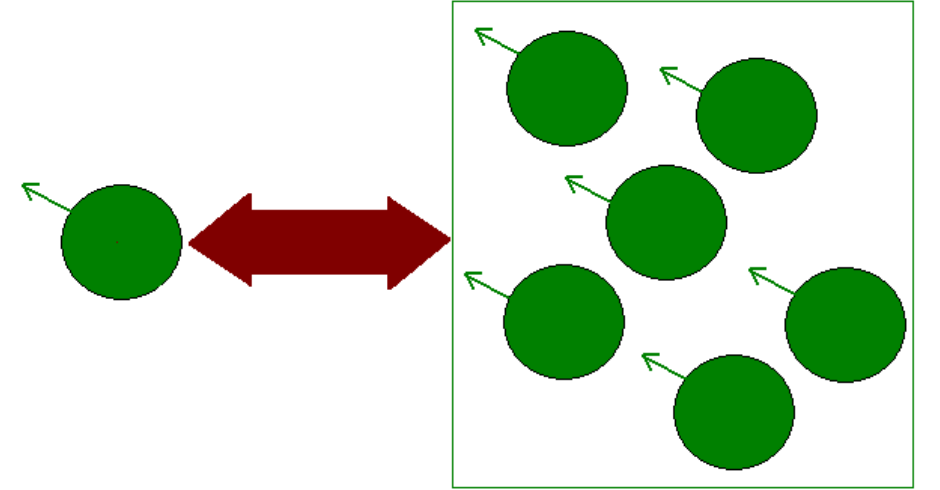
$$\rho = \frac{1}{\Delta V} \sum q$$

$$\mathbf{J} = \frac{1}{\Delta V} \sum q \mathbf{v}$$



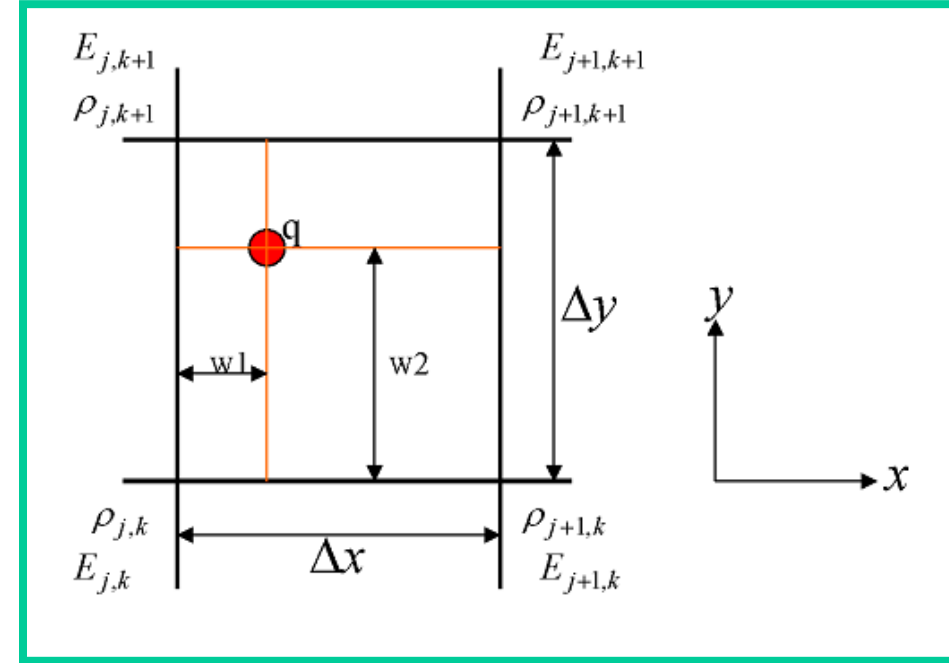
Hücrede-Parçacık Yöntemi

- Hücrede-Parçacık Yöntemi
 - Zaman ve konum ayrıklaştırılır.
 - Zaman adımı hesaplanması
 - Kararlılık koşulu $\Delta t \leq \frac{2}{\omega_0}$
 - Enerjinin korunumu koşulu $\Delta t \leq \frac{0.2}{\omega_0}$
 - Parçacıkların büyüklüğü vardır.
 - Bir parçacık birden çok fiziksel parçacığı temsil edebilir.
 - 1%-5% arası hata payı içerir.
 - Fiziksel karakterinden dolayı oldukça kararlıdır.
 - Oldukça ayrıntılı inceleme sağlar.
 - Parçacık sayısı hesaplama olanakları ile sınırlıdır.



PIC 2D Geometride Akım/Yük Yoğunluğu Hesabı

- Maxwell Denkleminden gelen \mathbf{E} ve \mathbf{B} değerleri hücre köşelerine aktarılır.
- Hareket Denklemleri kullanılarak yüklü parçacıkların konumları ve hızları güncellenir.
- Bu değerler kullanılarak akım (\mathbf{J}) ve yük (ρ) yoğunlukları hücre köşeleri üzerinde hesaplanır.



$$q_{j,k} = q (1 - w_1)(1 - w_2)$$

$$q_{j+1,k} = q w_1(1 - w_2)$$

$$q_{j,k+1} = q (1 - w_1)w_2$$

$$q_{j+1,k+1} = q w_1 w_2$$

$$\rho_{j,k} = \sum_{n=1}^N \frac{q_{j,k}^n}{A_{cell}}$$

PIC arpıřmalar

- Geleneksel Hücrede-Parçacık yöntemi arpışmasızdır
- Daha gerçekçi benzetim için yüksüz-yüksüz ve yüklü-yüksüz (iyon) parçacıkların çarpışmalarının modellenmesi yapılır.
 - Bu amaçla Monte-Carlo yöntemleri kullanılır.
- Bunun dışında aşağıda belirtilen çarpışmalar da modellenenbilmektedir.
 - Yük-deđiřim
 - Yeniden birleřme
 - Esnek
 - Elektron-yüksüz

