

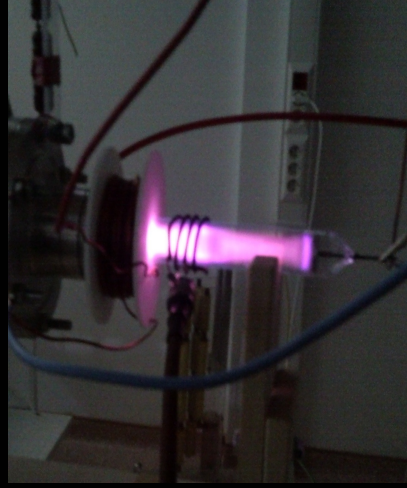
İyon Kaynakları ve Uygulamaları

E. RECEPOĞLU

TAEK-Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

erdal.recepoglu@taek.gov.tr

HPFBU-2012-KARS



KONULAR

- İyon kaynakları hakkında genel bilgi
- İyon kaynaklarının kullanım yerleri
- Tiplerine göre iyon kaynakları
- SANAEM'de kullanılan İyon Kaynağı düzenekleri
 - Mikrodalga tipli
 - ICP Tipli
- İyon çekme ile ilgili benetimler

İyon Kaynakları Kullanım Alanları

- Nükleer ve parçacık fiziği araştırmaları için hızlandırıcılarda parçacık kaynağı olarak
- Kütle ayırıcı olarak (ICP MS)
- İyon ekimi
- Malzeme işleme, mikro mekanik, nötron jeneratörleri
- Yüzey temizleme
- İnce film kaplama
- Füzyon çalışmaları
- vs.

Tiplerine göre başlıca iyon kaynakları [1]

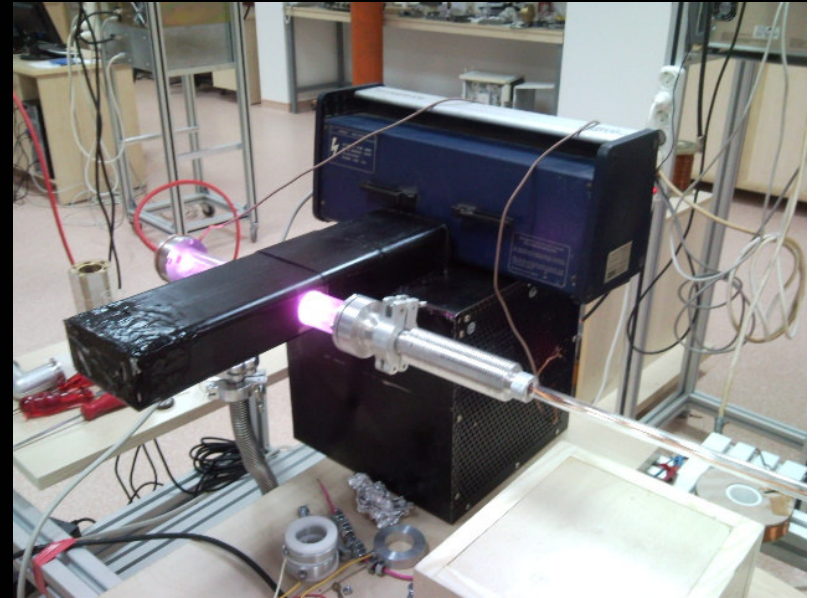
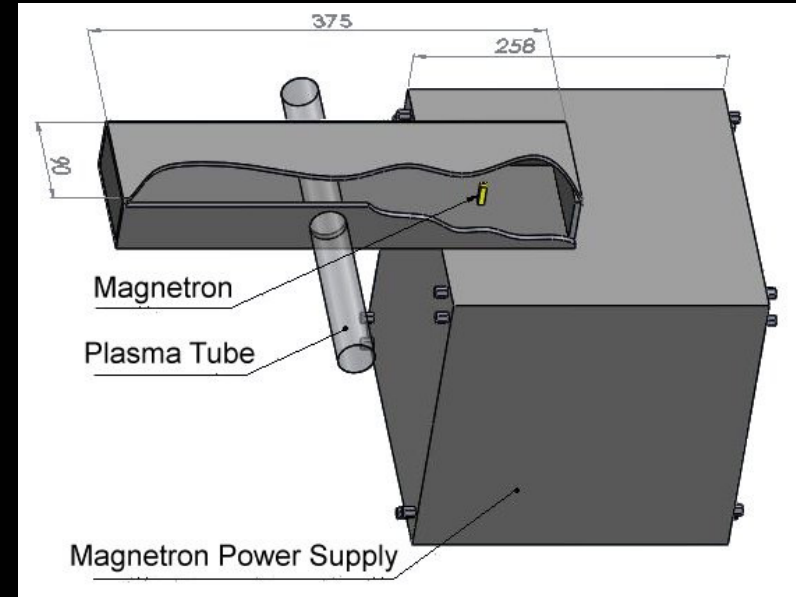
- Elektron bombardımanlı İyon kaynakları
- Plasmatron iyon kaynakları
- ECR iyon kaynakları
- Penning iyon kaynakları
- Lazer sürümlü iyon kaynakları
- Vakum ark iyon kaynakları
- Negatif iyon kaynakları
- Mikrodalga iyon kaynakları
- RF sürümlü iyon kaynakları

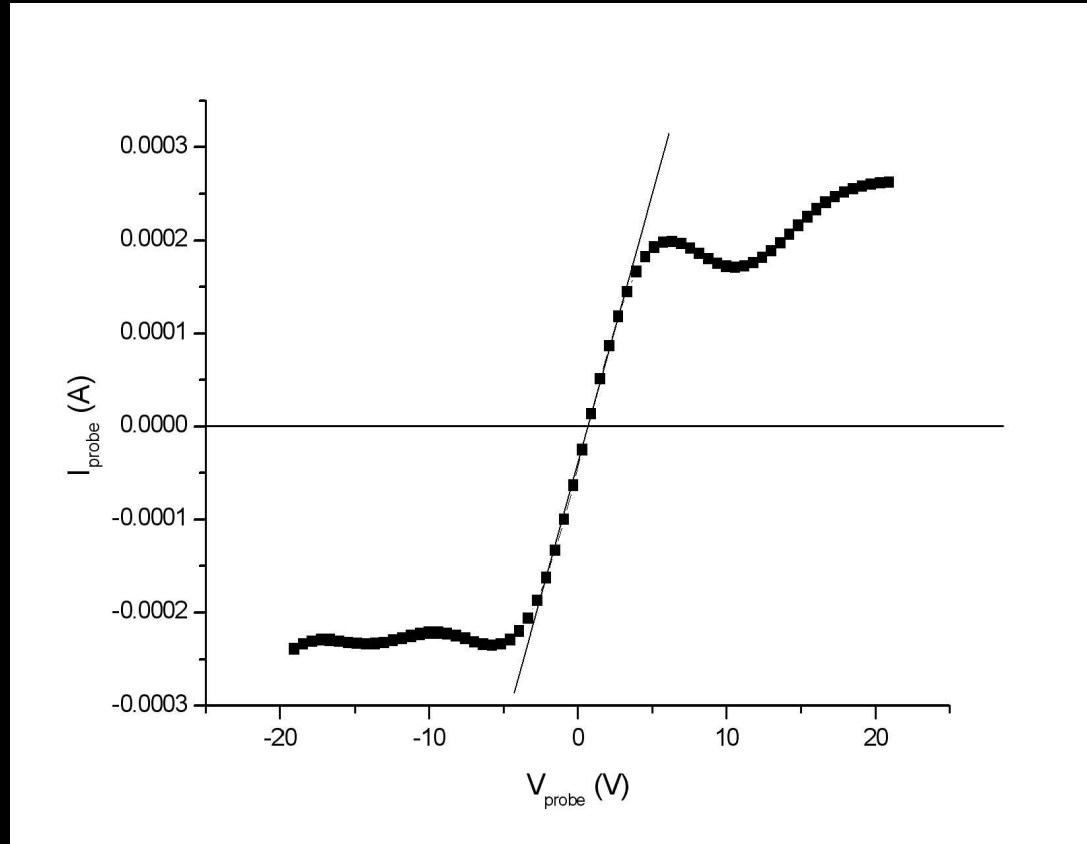
Mikrodalga iyon kaynakları

Mikrodalga iyon kaynakları, ilk olarak 1960'ların sonunda R. Geller ve grubu tarafından geliştirilmiştir [1]. İlk iyon kaynağı ise 1977'de Sakudo tarafından yapılmıştır . Bu tür iyon kaynaklarının en önemli avantajı elektrot ve filaman gerektirmediğinden, uzun ömürlü olması ve kolay işletilebilmesidir. Bu tür parçalardan kaynaklanacak olan püskürme ve buharlaşmalardan kaynaklı kirlilik de plazmanın çalışması esnasında olmayacaktır. Mikrodalga iyon kaynakları genellikle ucuz ve güvenilir olması nedeniyle magnetron tüp ve jeneratörleri kullanırlar.

SANAEM'de yapılan iyon kaynağı 2.45 GHz ve hava soğutmalıdır. İyon kaynağının yapımında 30 mm çaplı ~25 cm uzunlukta cam tüp, 2.45 GHz magnetron, metal aksam, gaz girişi ve vakum pompasından oluşan iyon kaynağı ve elemanları Şekil 1'de görülmektedir.

Dalga kılavuzu içine pompalanan mikrodalga, dalga kılavuzu içinde duran dalga oluşturduğu sırada plazma odası içinde bulunan gaz moleküllerindeki elektronları elektrik alanı doğrultusunda salınımaya zorlar ve elektronların kopması sonucunda plazma oluşturur.





Çiftli langmuir sondası için I-V grafiği

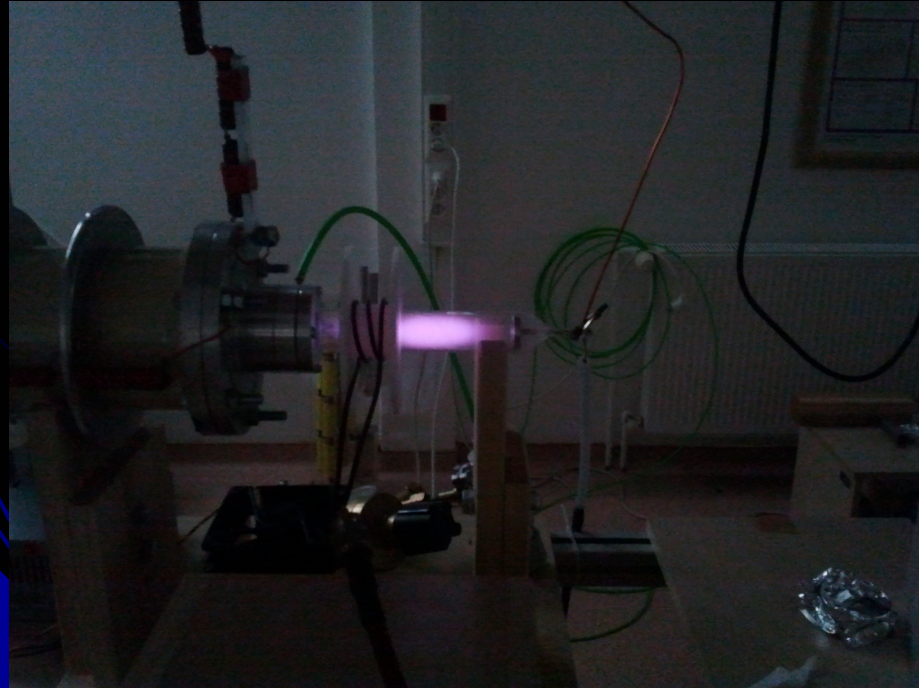
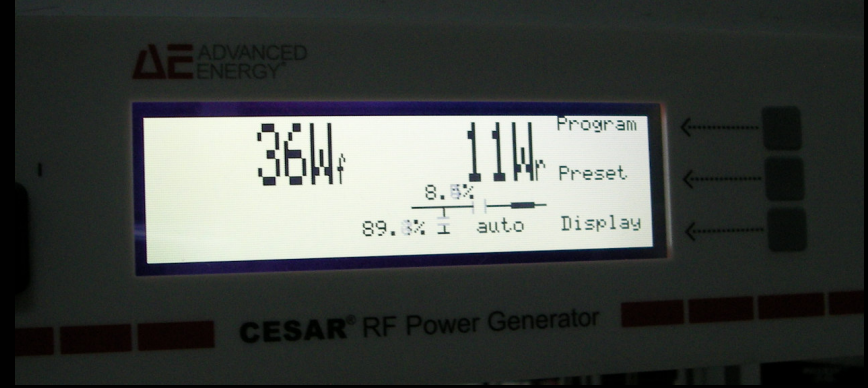
RF İyon kaynakları

- Plazma oluşturmak için radyo frekans (RF) voltajı, 1940'lı yılların sonundan beri kullanılmaktadır.
- RF'e dayalı iyon kaynağı yapmak, ortamda çok çeşitli gazların kullanımına imkan verdiğinden önemli bir avantaj sağlar. RF iyon kaynaklarını uzun ömürlü oldukları ve iyi plazma üretebildikleri için oldukça kullanışlıdır.
- Özellikle parçacık hızlandırıcıları camiasında ve endüstride geniş kullanım alanları vardır [1].
- Pratik olarak gaz ile doldurulmuş ortamda RF deşarjı için gerekli basınç değeri 10^{-2} - 10^{-3} Torr civarındadır. İyi bir deşarj için birkaç yüz watt'a kadar RF gücü gereklidir. RF frekansı ise birkaç megahertz'den 10-100 katına kadar uzanır.

- RF voltajı kullanılarak, bahsedilen basınç değerlerinde plazma üretmenin iki yöntemi vardır.
- Bunlardan bir tanesi CCP (capacitively coupled plasma) deşarjı, diğeri ise ICP (inductively coupled plasma) deşarjıdır.
- RF iyon kaynaklarının büyük bir kısmı ICP türlü deşarj ile çalışır.
- CCP tipli plazma, gaz verilen vakumlu tüpün etrafına iki paralel plaka veya elektrot yerleştirilerek üzerlerine değışen RF voltajın uygulanması ile elde edilir.
- ICP ise gaz verilen vakumlu ortamın etrafına bir uyarılma bobininin yerleştirilmesi ve RF uygulanması ile oluşturulur.

SANAEM'de çalışılan ICP Tipli İyon Kaynağı düzeneği

Şekil.1 de üzerinde çalışılan ICP tipli iyon kaynağı verilmiştir. İyon kaynağı 13.56 MHz max 1000 Watt RF ile beslenebilmektedir. RF güç aktarımı % 66 civarındadır. Bu değer ayarlı kapasitör kullanımı ile %99'a kadar çıkarılabilmektedir.

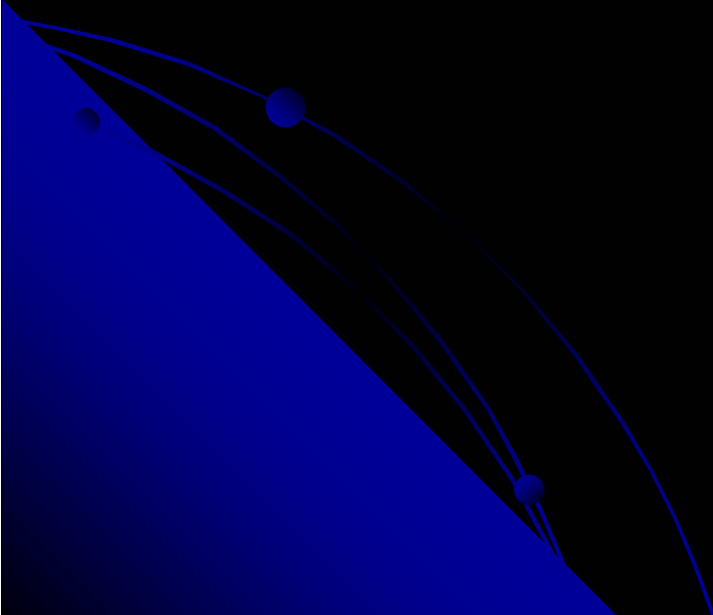


Bir adet turbo pompa kullanılmıştır. Bu pompa ile basınc değeri 10^{-6} mbar'dan daha iyi elde edilebilmektedir.

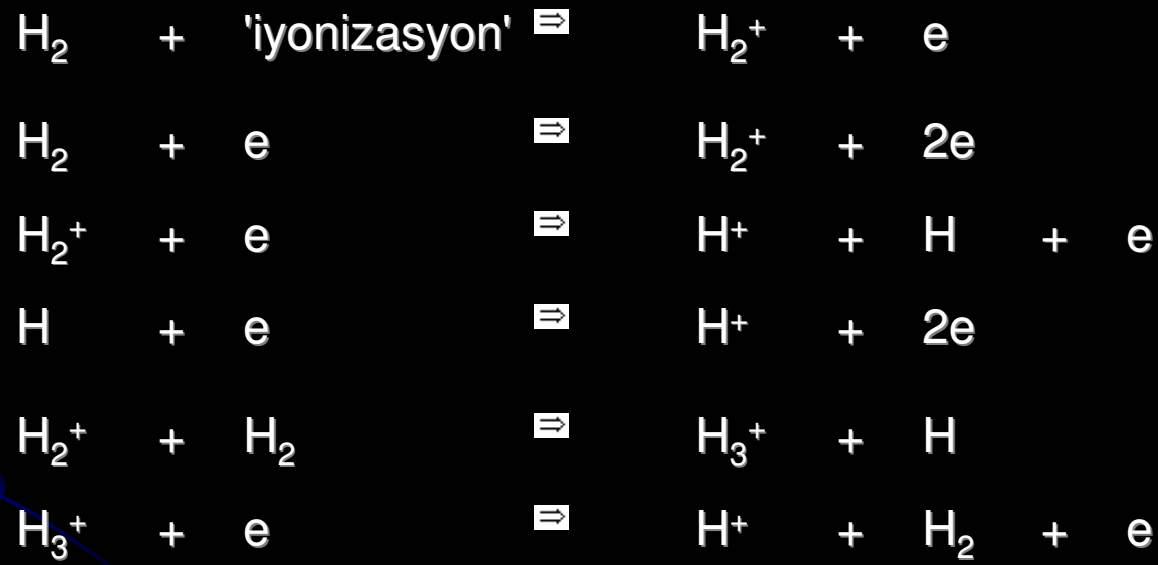
İyi vakum değeri iyon çıkarma ve daha sonra demet hattında ilerletme için gereklidir.

ICP plazma için yeterli basınc değeri 10^{-2} - 10^{-3} mbar'dır.

Bu değer plazma bölgesine verilen gaz ve çıkarma bölgesi ile plazma arasındaki ~ 1 mm'lik delik vasıtası ile sağlanmaktadır.



Hidrojen için plazmadaki olası süreçler



İyon kaynağı için ölçümler nasıl yapılır?

Çalışmada proton üretmek için hidrojen gazı kullanılmıştır.

İyon çekimi için DC güç kaynağı kullanılmıştır.

Plazma iyon sıcaklığı ve parçacık yoğunluğu hesaplamaları için yandaki şekilde gösterilen çiftli langmuir prob kullanılmıştır.

Ölçülen veriler Keithley-2400 akım ölçer ve GPIB arayüz vasıtası ile Labview-9 programı kullanılarak alınmıştır.



Şekil 'de langmuir prob için elde edilen I-V karakteristiği verilmiştir. Bu değerlerden sıcaklık ve yoğunluk [5-6]'ya göre aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir

$$\frac{dI_d}{dV_d} \Big|_{I_d=0} = \frac{1}{2} \frac{eI_+}{kT_e}$$

$$T_e = \frac{1}{2} \frac{e}{k} \Delta V_d$$

$$n_e = \frac{I_+}{0.61eA(kT_e / m_+)^{1/2}}$$

Burada V_d iki probe arası voltaj, I_d probakımı, I_+ doyum akımı, T_e , elektron sıcaklığı, k , Boltzmann sabiti, m_+ iyonun kütlesi, A ise langmuir probun yüzey alanıdır. (Çalışmada kullanılan probun yarıçapı ~ 0.3 mm boyu ise ~ 1 cm'dir).

Çalışılan ICP tipli iyon kaynağının performansının,

- çalışılan basınca,
- uygulanan RF'in gücüne,
- plazma ile empedansının iyi eşleşmesine,
- uygulanabilecek dış magnetik alana ve çıkarma potansiyeline

bağlı olduğu görülmüştür.

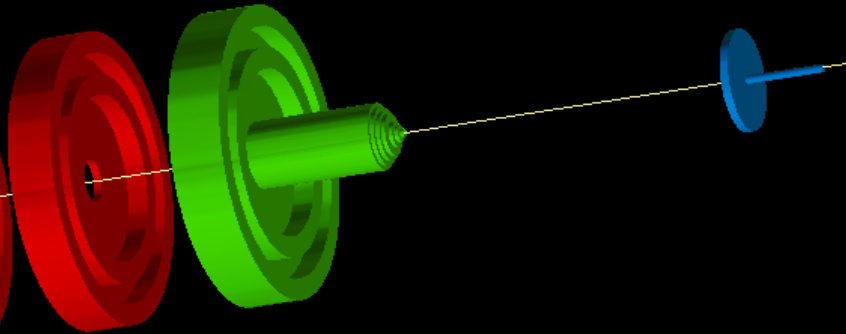
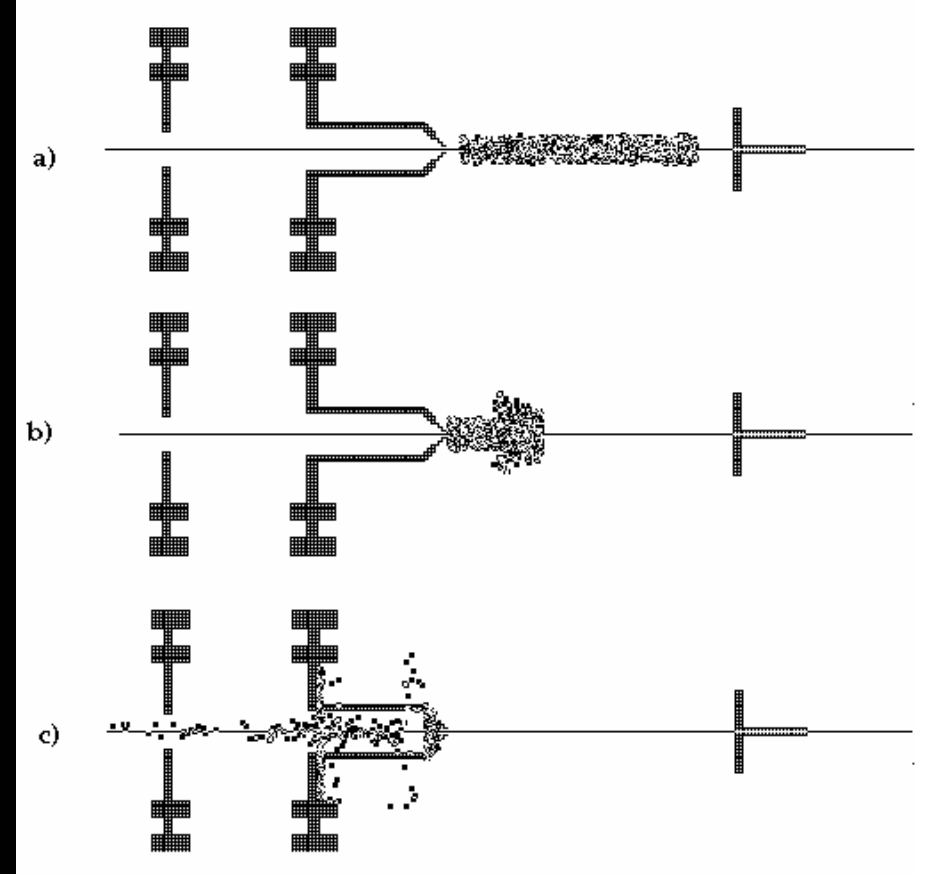
Bu parametrelere bağlı denemeler devam etmektedir.

Bu iyon kaynağı SANAEM'de tasarlanan ve yapılan 100 KeV DC doğrusal proton hızlandırıcısı için iyon kaynağı olarak kullanılmaktadır ve daha etkin kullanılması için üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

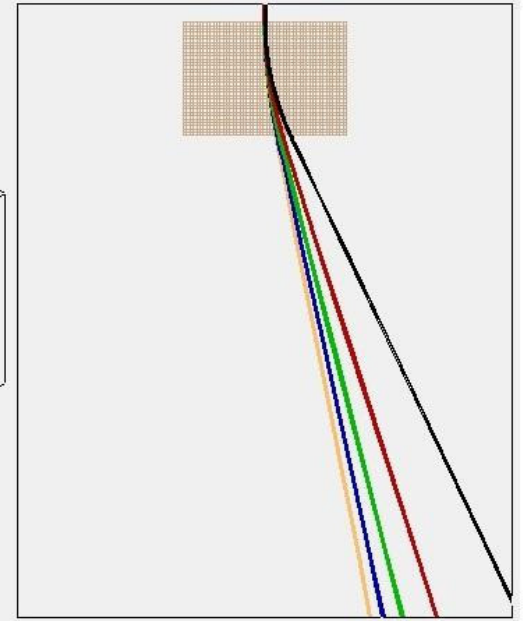
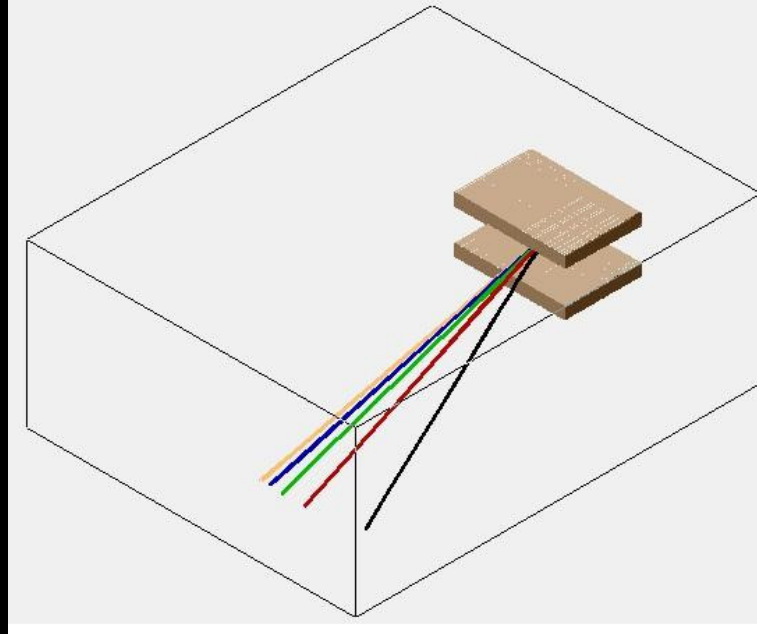
ICP iyon kaynağı için simülasyon çalışmaları

- Şekil'de ise bilgisayar programı vasıtasıyla ICP tipli iyon kaynağından 5 KV potansiyel farkı altında iyon çekilmesinin benzetimini veren şekil verilmiştir. Şekilde görülen noktalar hidrojen plazmasından elde edilen protonları göstermektedir.
- Üretilen 1000 proton için simülasyon yapılmıştır.

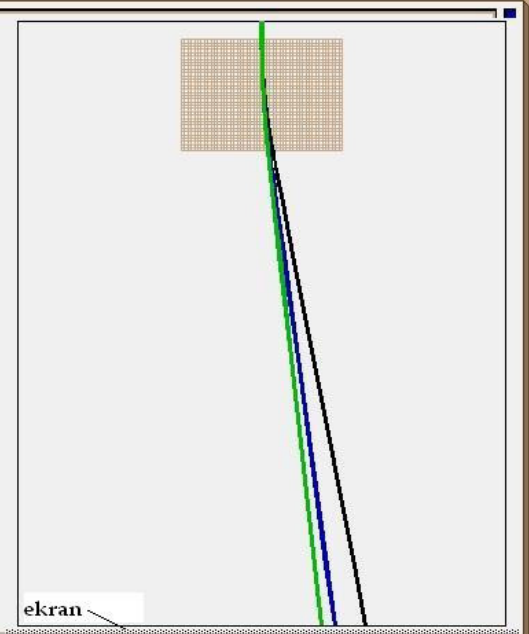
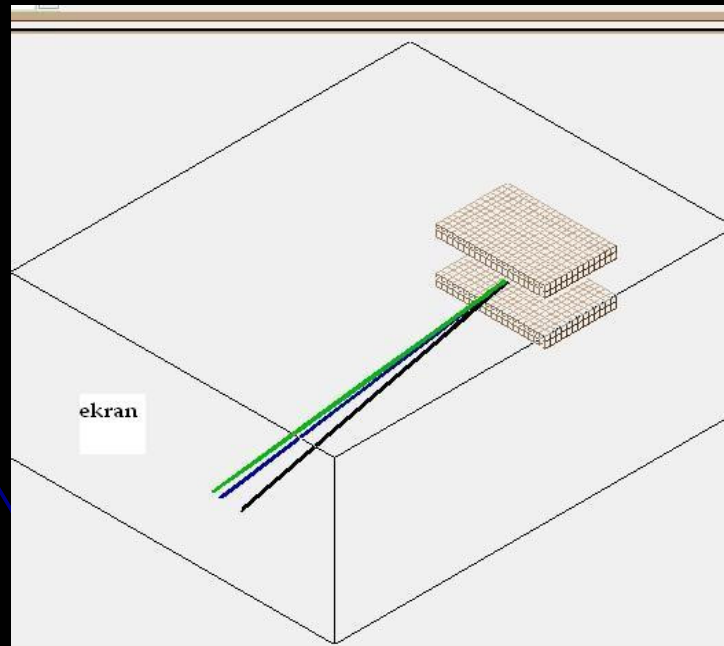
Video-1
Video-2



10-50 KeV proton demetinin
dipolden geiři (10 KeV siyah-
40 KeV mavi)



Hidrojen iyonlarının dipol
magnetten geiři ~900
Gauss (H⁺ siyah, H₂⁺ mavi,
H₃⁺ yeřil)



KAYNAKLAR

- [1] Handbook of the ion sources, ed. Bernhard Wolf, ISBN 0-8493-2502-1, 1995.
- [2] <http://www.strz.uni-giessen.de/~ezr/english/prinzip.html>
- [3] <http://cas.web.cern.ch/cas/pruhonice/pdf/dc-accel-DB1.pdf>
- [4] http://pag.lbl.gov/Proj_VacArclonS.htm
- [5] J. Dazhi et al., Diagnosis of Hydrojen Plasma in a Miniature Penning Ion Source by Double Probes, Plasma Science and Technology, Vol.11 No1, 2009
- [6] R H. Huddleston, S L. Leonard Plasma Diagnostic Techniques. Acedemic pres, New York, 1965.