

08.33.40 Hlutjónað rafgas

Lokapróf

13. desember 2007, kl. 9:00 - 12:00

1. (12 %)

Debye lengd

Í fjarlægri vetrarbraut er ský sem samanstendur af róteindum og andróteindum, sem eru af þéttleika $n = 10^6 \text{ m}^{-3}$ og hafa hitastig 100 K. Hver er Debye lengdin ?

Debye length

A distant galaxy contains a cloud of protons and antiprotons, each with density $n = 10^6 \text{ m}^{-3}$ and temperature 100 K. What is the Debye length ?

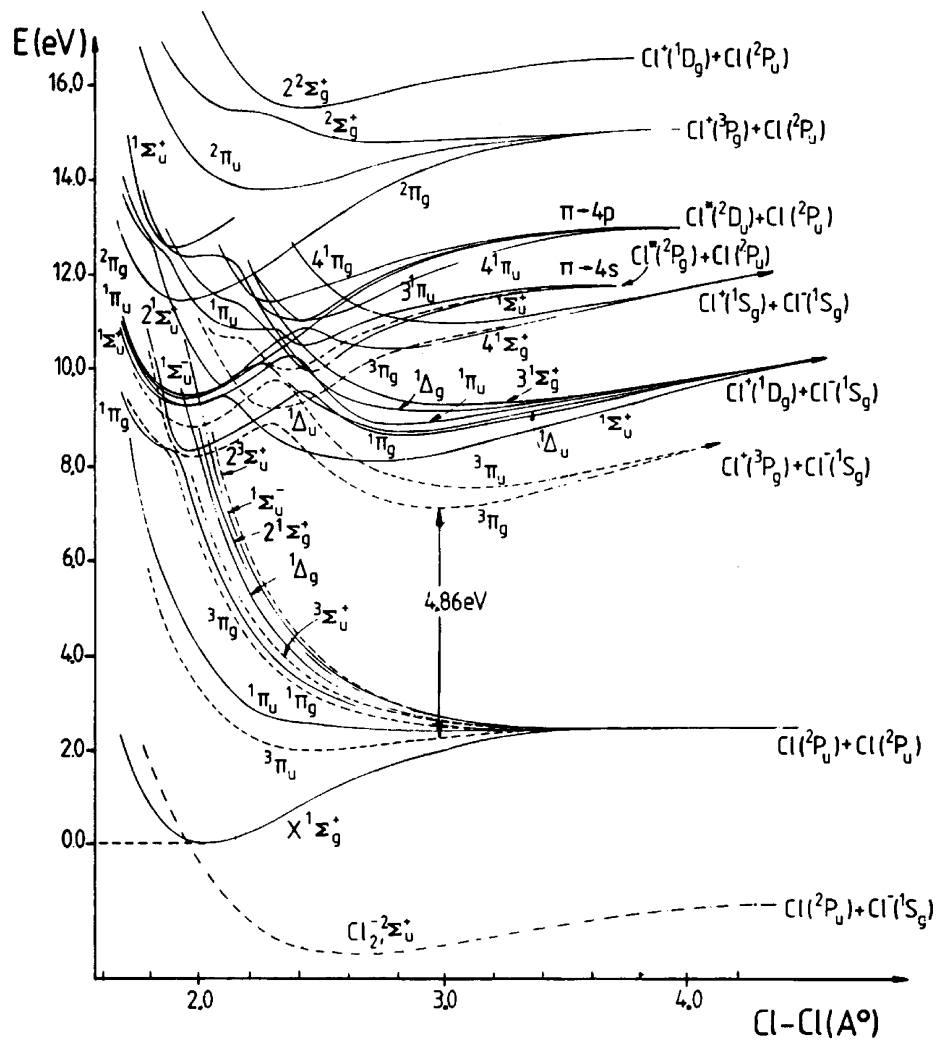
2. (18 %)

Háfstöðug sameindaástönd - klór

Lægstu sex ástönd klórsameindarinnar eru, með vaxandi örvunarorku, $X^1\Sigma_g^+$, $1^3\Pi_u$, $1^1\Pi_u$, $1^3\Pi_g$, $1^1\Pi_g$, og $1^3\Sigma_u^+$. Hver þessara ástönda eru hálfstöðug? Gefið ástæður. Hvers er að vænta við örvun upp í þessi ástönd með hliðsjón af stöðuorku ferlum fyrir Cl_2 ?

Metastable molecular states - chlorine

In order of increasing energy, the six lowest states of Cl_2 are $X^1\Sigma_g^+$, $1^3\Pi_u$, $1^1\Pi_u$, $1^3\Pi_g$, $1^1\Pi_g$, and $1^3\Sigma_u^+$. Which of these states are metastable? Give the reasons. What is to be expected if the molecule is excited to these levels based on the potential curves for Cl_2 ?



3. (30 %)

Hringhraðalafhleðsla í jafnvægi

Hringhraðalafhleðsla er örvuð í argon gasi við 1 mTorr þrýsting með 2.45 GHz, hægra hringskautaðri bylgju, sem ber $P_{\text{inc}} = 1000$ W innkomandi örbylgjuafli. Aflið er sent um kvars glugga á öðrum enda á sívölum klefa af radía $R = 10$ cm og lengd $l = 50$ cm. Segulsvið fellur frá glugganum og inn í klefann, með sviðsstigli í hermisvæðinu $\alpha = 4 \text{ m}^{-1}$.

(a) Gera skal ráð fyrir að innkomandi afl ísogist einsleitt yfir þvermál rafgassins, það séu engin töp til hliðarveggja afhleðslunnar (eftir radíanum) en að það séu töp til veggja í endum afhleðslunnar. Finna skal rafeindahitastigið, T_e , og rafgasþéttleikann í miðju afhleðslunnar, n_0 .

(b) Notið

$$\frac{S_{\text{abs}}}{S_{\text{inc}}} = 1 - \exp(-\pi\eta)$$

og staðfestið að svo að segja allt innkomandi afl sé gleypt af rafgasinu.

(c) Finna skal minnsta innkomandi afl sem viðheldur afhleðslu.

(d) Notið niðurstöðurnar úr (a), (b), og (c), og rissið n_0 sem fall af P_{inc} (línulegur skali) fyrir $0 < P_{\text{inc}} < 1000$ W.

ECR Discharge Equilibrium

An ECR discharge is excited in argon gas at a pressure of 1 mTorr by a 2.45 GHz, right circularly polarized wave carrying $P_{\text{inc}} = 1000 \text{ W}$ of incident microwave power through a quartz window at one end of a cylindrical discharge chamber of radius $R = 10 \text{ cm}$ and length $l = 50 \text{ cm}$. The magnetic field monotonically decreases from the window and into the chamber, the logarithmic field gradient at the resonance zone is $\alpha = 4 \text{ m}^{-1}$.

(a) Assuming that all of the incident power is uniformly absorbed over the cross sectional area of the plasma and that there is axial loss, but no radial loss of plasma, find the electron temperature T_e and the central plasma density n_0 .

(b) Use

$$\frac{S_{\text{abs}}}{S_{\text{inc}}} = 1 - \exp(-\pi\eta)$$

and verify that essentially all of the incident power is absorbed by the plasma.

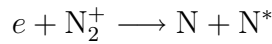
(c) Find the minimum incident power that will sustain the discharge.

(d) Using your results in (a), (b), and (c), and sketch n_0 versus P_{inc} (linear scales) for $0 < P_{\text{inc}} < 1000 \text{ W}$.

4. (40 %)

Köfnunarefnisafhleðsla þar sem töp í rúmmínu eru ráðandi

Gera skal ráð fyrir niturafhleðslu í æstæði (rafjákvæð) með einsleitun þéttleika $n_{N_2^+} = n_e$ og rafeindahitastig T_e . N_2^+ jónir eru myndaðair í rúmmálinu með jónun sem stafar af árekstri rafeinda við hlutlausar sameindir N_2 gass (þéttleiki n_g) með hraðafasta $k_{iz}(T_e)$ og tapast í rúmmálinu við sameiningu rafeindar og sameindajónar sem leiðir til klofnunar sameindarinnar



sem hefur hraðafasta k_{rec} . Gera skal ráð fyrir að það séu engin yfirborðstöp (sveimtöp) og engin önnur myndunar eða eyðingarferli. Setjum p_{abs} sem afflið sem rafgasið tekur til sín á rúmmálseiningu og \mathcal{E}_c vera árekstrartöp fyrir hvert rafeinda-jónapar sem er myndað.

(a) Ritið jöfnu sem lýsir fyrir myndun og eyðingu jákvæðra jóna og jöfnu fyrir orkujafnvægi í æstæði.

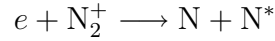
(b) Finna skal töluleg gildi á n_e og T_e fyrir $k_{iz} = 2 \times 10^{-14} \exp(-15.5/T_e) \text{ m}^3/\text{s}$, $k_{rec} = 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s}$, $\mathcal{E}_c = 200 \text{ V}$, $p_{abs} = 10^5 \text{ W}/\text{m}^3$, og $n_g = 3.16 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$.

(c) Nú skal gera ráð fyrir að við tímann $t = 0$, sé skyndilega slökkt á aflinu, ($p_{abs} \equiv 0$ fyrir $t > 0$). Sýna skal að fyrir $\mathcal{E}_c \gg T_e$, sé upphaflegur ($t = 0+$) hrörnunarhraði $T_e^{-1} dT_e/dt$ fyrir rafeindahitastig mun stærri en fyrir upphaflega hrörnun rafeindaþéttleikans $n_e^{-1} dn_e/dt$.

(d) Gera skal ráð fyrir að T_e hrörni mun hraðar en n_e eins og sýnt var í hluta (c). Finna skal jöfnu fyrir $n_e(t)$ fyrir $t > 0+$ (eftir að T_e hefur hrörnað).

Nitrogen Discharge With Volume-Loss Processes

Consider a steady state nitrogen (electropositive) discharge with uniform density $n_{N_2^+} = n_e$ and electron temperature T_e . N_2^+ ions are created in the volume by electron-neutral ionization of N_2 gas (density n_g) with rate constant $k_{iz}(T_e)$ and are lost in the volume by electron-ion dissociative recombination



with rate constant k_{rec} . Assume that there are no surface (diffusion) losses and no other volume generation or loss processes. Let p_{abs} be the power absorbed per unit volume and \mathcal{E}_c be the collisional energy loss per electron-ion pair created.

(a) Give the steady state equations for positive ion conservation and for energy conservation in this discharge.

(b) Find numerical values for n_e and T_e for $k_{iz} = 2 \times 10^{-14} \exp(-15.5/T_e) \text{ m}^3/\text{s}$, $k_{rec} = 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s}$, $\mathcal{E}_c = 200 \text{ V}$, $p_{abs} = 10^5 \text{ W/m}^3$, and $n_g = 3.16 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$.

(c) Now assume that at time $t = 0$, the power absorbed is suddenly turned off ($p_{abs} \equiv 0$ for $t > 0$). Show that for $\mathcal{E}_c \gg T_e$, the initial ($t = 0+$) decay rate $T_e^{-1} dT_e/dt$ for electron temperature is much greater than for the initial decay $n_e^{-1} dn_e/dt$ for the density.

(d) Assuming that T_e decays much faster than n_e as shown in part (c), then find an expression for $n_e(t)$ for $t > 0+$ (after the decay of T_e).