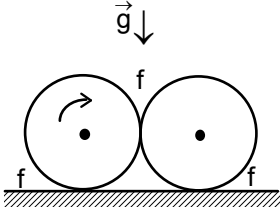
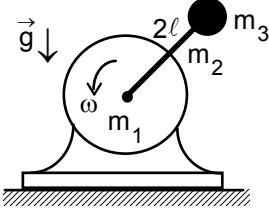


ŞUBAT KAMPI SINAVI-1994



1. Yatay ve sürtünme katsayısı $f > 1$ olan düzlem üzerinde özdeş, içi boş iki silindir bulunuyor. Silindirler arasındaki sürtünme katsayısı yine f dir. Sağ silindir hareketsizdir, sol silindir ise çok büyük açısal hızla döndürülmüştür. Döndürülen silindir yatay düzlem üzerine hareketsiz silindirin yanına yerleştiriliyor. Sistemin ivmesini bulunuz. Yerçekimi ivmesi g olarak veriliyor.



2. Kütle m_1 olan bir elektrik motoru yatay ve sürtünmesiz düzlem üzerinde bulunuyor. Motorun kütle merkezi motorun ekseninde bulunuyor. Motorun eksenine dik olarak uzunluğu $2l$ ve kütle m_2 olan bir çubuk bağlanmıştır. Çubuğun diğer ucunda kütle m olan bir cisim bulunuyor. Çubuk sabit ω açısal hızı ile döndürülmektedir.

- a) Motorun yatay düzlem üzerindeki hareketi tanımlayınız.
b) Motorun yatay düzleme dört cıvata ile tutturulduğunu varsayarak, her cıvata etki eden kuvveti bulunuz.
c) Motor yatay düzleme bağlı değil ise hangi açısal hızda sıçramaya başlar?

3. a) Reel gazlardaki Wan der Walls denklemi bir mol için

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V-b) = RT$$

şeklinde yazılabilir. Reel gazlarda kritik nokta; basıncın sabit sıcaklıkta hacme göre birinci ve ikinci türevinin sıfır olduğu durum olarak tanımlanmaktadır. Kritik noktada sıvı ya da gaz fazı bulunamaz, monofaz denilen tek bir faz vardır. Kritik basıncı (P_k), hacmi (V_k) ve sıcaklığı (T_k); a, b ve R cinsinden bulunuz. Bu kritik değerleri kullanarak $\tau = \frac{T}{T_k}$, $\pi = \frac{P}{P_k}$ ve $\omega = \frac{V}{V_k}$ izafi parametreler cinsinden Wan der

Walls denklemini yazınız. Bu model için geçerli olan ve kritik parametresi olarak bilinen $\xi = \frac{RT_k}{P_k V_k}$

parametrenin sayısal değerini bulunuz.

b) Wan der Walls denkleminin uyan reel bir gaz için sabit hacimdeki molar ısı kapasitesi c_v sıcaklıktan bağımsız olduğuna göre adyabatik genleşme için geçerli bir ifade bulunuz. $a=0$ kabul ederseniz adyabatik denklem nasıl olur?

4. Sonsuz uzunlukta iki paralel levhali kondansatörde levhalar arası uzaklık h olup plakalar birbirine telle bağlıdır. Levhaların arasında tam orta noktada bir q yükü bulunmaktadır. q yükü plakalara dik olarak x kadar hareket ettirilirse bağlantı telinden ne kadar yük geçer?

5. Yüklü bir tanecik hareket hızı ile doğru orantılı bir direniş kuvveti ile karşılaştığı bir bölgeye girmektedir. İlk durumda bölgede manyetik alan yoktur ve tanecik bölgenin giriş noktasından l kadar uzakta durmaktadır. Aynı hız ile ve aynı noktadan giriş yaptığında belli B manyetik alanında tanecik girişten l_1 uzaklıkta durmaktadır. Tanecik bölgeye aynı hız ile ve aynı noktadan girdiğinde, eğer manyetik alan $0,5B$ ise tanecik giriş noktasından nasıl bir l_2 uzaklıkta duracaktır?

6. Kesit alanı 5 mm^2 olan telden yapılan dairesel yüzük, düşey çapı etrafında dönebilecek şekilde yerleştirilmiştir. Küçük bir pusula iğnesi (titreşim yapması engellenerek) yüzüğün merkezine yerleştiriliyor. Yüzük durgunken iğne dünyanın manyetik alanın yönünü göstermektedir. Yüzük 100 Hz frekansla döndürüldüğünde iğnenin 1° saparak dengeye geldiği gözleniyor. Telin yapıldığı maddenin özdirenci bulunuz. Vakumun manyetik geçirgenlik katsayısı $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$ olarak veriliyor.

7. a) Yüzeyi y =sabit olan bir düzlemde bulunan ortamın kırıcılık indisi $n=n(x)$ şeklinde değişmektedir. Eğer ışık y eksenine hemen hemen paralel olarak ortama girerse eğrilik yarıçapı ifadesini türetiniz. $n=n_0+\xi x$ ise bu yarıçap ne olur? (Burada n_0 ve ξ birer sabittir)

b) Yarıçapı R_0 olan Venüs gezegeninin atmosferinin kırıcılık indisi, gezegen yüzeyinden h yüksekliğe bağlı olarak $n=n_0-\xi h$ şeklinde değişmektedir. Venüs gezegeninin atmosferinde ışığın içinden çıkmadığı bir kanal bulunmaktadır. Bu kanalın gezegenin yüzeyinden yüksekliğini bulunuz. Kırılma olayını Dünya yüzeyi yakınında gerçekleştiğini kabul ederek, Güneşten gelen ışığın Dünyanın atmosferinde kırılarak Venüste olduğu gibi çember çizebilmesi için atmosfer basıncı kaç kat artmalıdır?

Not: Havanın kırıcılık indisi havanın özkütlesine bağlı olarak $n=1+\alpha\rho$ şeklinde değişmektedir. Normal basınç $P_0=1,013.10^5$ Pa, bu basınçta havanın kırıcılık indisi $n_0=1,000293$, gaz sabiti $R=8,31$ J/mol.K°, havanın molar kütlesi $\mu=29$ gr/mol, havanın sıcaklığı $T=275$ K, yerçekimi ivmesi $g=9,8$ m/s², dünyanın yarıçapı $r=6370$ km olarak veriliyor.

8. Bir yıldızın kütlesi M ve ışık akısı Φ olsun. Kütlesi m ve yelkenlerinin alanı S olan bir güneş yatı yıldızdan r uzaklıkta bulunmaktadır. Güneş yatı yelkenlere düşen fotonların sayesinde bir rüzgarla çalışan yata benzemektedir. Yelkenlerin yapıldığı malzeme tam yansıtıcı olmadığı için fotonların ξ kadarını ($\xi<1$) yansımaktadır. Yelkenlerin yüzeyleri otomatik olarak kontrol edilebiliyor. Böyle tasarlanmış güneş yatları çok ucuza taşımacılık yapabileceklerdir.

a) Yatın yıldızdan r uzaklıkta dengede kalabilmesi için yelkenlerin alanı ne kadar olmalıdır?

b) Yatın tüm yelkenlerini kullanarak r uzaklıktan harekete geçip, nr uzaklığa uzaklaştığında kazanaacağı hızı bulunuz.

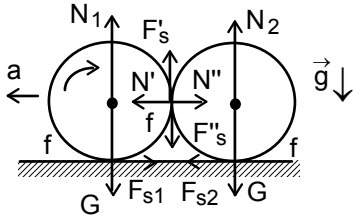
9. İyonizasyon enerjileri $R_V=13,6$ eV olan iki hidrojen atomundan birisi durmakta, diğeri ise hareketli olup durgun atom ile esnek olmayan çarpışma yapmaktadır.

a) Hareketsiz atomun uyarılması için hareketli hidrojen atomun minimum hızı ne kadar olmalıdır?

b) Meydana gelen fotonların maksimum bağlı frekansların oranı ne kadardır?

Not: Hidrojen atomun kütlesi $m_H=1,007825$ a.k.b., 1 a.k.b.= $1,66.10^{-27}$ kg, ışık hızı $c=300\ 000$ km/s, $1\text{ eV}=1,602.10^{-19}$ J olarak veriliyor.

ŞUBAT KAMPI SINAVI SORULARIN ÇÖZÜMLERİ-1994



1. Sol silindir çok büyük açısal hıza kadar döndürüldüğü için temastan sonra kaymaya başlaması gerekir. Sağ silindir ise iki silindirin arasında etki eden sürtünme F_s kuvvetin etkisi ile kaymadan dönmeye başlar. F_s kuvveti sol silindir için dönme yönün zıt yönünde moment yaratmaktadır. Aynı kuvvet ise sağ silindir için döndürücü etki göstermektedir. Sağ silindir saat okun ters yönünde dönmeye başlar ve sistemi tümü sola doğru a ivmesi ile harekete geçer. Sol silindirin Newton denklemini yazabiliriz.

$$mg - N_1 - F_s = 0; F_s = fN; N = N' = N''; F_s = F_s' = F_s''$$

$$N - F_{s1} = ma; F_{s1} = fN_1$$

Sağ silindirin Newton denklemini yazabiliriz.

$$mg - N_2 + F_s = 0; F_{s2} - N = ma$$

Sağ silindire etki eden F_{s2} sürtünme kuvvetini bulabilmek için moment denkleme ihtiyaç vardır.

$$F_s r - F_{s2} r = J\alpha, J = mr^2; \alpha = \frac{a}{r}$$

Buradan silindirler arasında etki eden tepki kuvveti

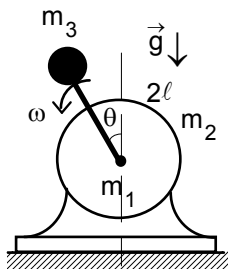
$$fN - (ma + N) = m \frac{a}{r}; N = \frac{2ma}{f - 1}$$

olarak yazılabilir. Bu ifadenin yardımı ile ivme

$$\frac{2ma}{f - 1} - f \left(mg - \frac{f2ma}{f - 1} \right) = ma$$

$$a = \frac{f(f - 1)g}{2f^2 - f + 3}$$

olarak bulunur.



2. a) Çubuk ile cisim sol tarafa geçerse motor yatay düzlem üzerinde x_1 kadar sağ tarafa giderse

$$x_m = \frac{m_1 x_1 - m_2 (\ell \sin \theta - x_1) - m_3 (2\ell \sin \theta - x_1)}{m_1 + m_2 + m_3} = 0$$

yazabiliriz. Buradan

$$x_1 = \frac{(m_2 + 2m_3)\ell \sin \theta}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{(m_2 + 2m_3)\ell \sin \omega t}{m_1 + m_2 + m_3} = A \sin \omega t$$

olarak bulunur. Yani bu motor titreşim yaparak hareket eder.

b) Motorun yatay düzleme dört civata ile tutturulursa motora yatay yönde

$$N_x = (m_1 + m_2 + m_3) \ddot{x}_1 = (m_2 + 2m_3)\ell \omega^2 \sin \omega t$$

kuvvet etki eder. Bu kuvvetin maksimum değeri

$$N_{x\max} = (m_2 + 2m_3)\ell \omega^2$$

her civataya etki eden yatay kuvvet

$$F_x = \frac{(m_2 + 2m_3)\ell \omega^2}{4}$$

olur.

c) Motora dikey yönde

$$N_y = (m_1 + m_2 + m_3) \ddot{x}_1 = (m_2 + 2m_3)\ell \omega^2 \sin \omega t$$

kuvvet etki eder. Bu kuvvetin maksimum değeri

$$N_{y\max} = (m_2 + 2m_3)\ell \omega^2$$

Motor yatay düzleme bağlı değil ise sıçraması için

$$(m_1 + m_2 + m_3)g = (m_2 + 2m_3)\ell \omega^2$$

olmalıdır. Buradan

$$\omega = \sqrt{\frac{(m_1 + m_2 + m_3)g}{(m_2 + 2m_3)\ell}}$$

olarak bulunur.

3. a) Reel gazlardaki Wan der Walls denkleminde basınç

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

olarak yazılabilir. Reel gazlarda kritik nokta; basıncın sabit sıcaklıkta hacme göre birinci ve ikinci türevinin sıfır olduğu durum olarak tanımlandığı için bu ifadenin birinci ve ikinci türevi alalım. Hacme göre türev

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^3} = 0; \frac{RT_k}{(V_k-b)^2} = \frac{2a}{V_k^3}$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = \frac{2RT}{(V-b)^3} - \frac{6a}{V^4} = 0; \frac{2RT_k}{(V_k-b)^3} = \frac{6a}{V_k^4}$$

vermektedir. Bu denklemi taraf tarafa bölersek

$$3(V_k-b) = 2V_k; V_k = 3b$$

elde edebiliriz. Kritik sıcaklık ve kritik basınç

$$T_k = \frac{2a(V_k-b)}{RV_k^3} = \frac{8a}{27bR}; P_k = \frac{RT_k}{V_k-b} - \frac{a}{V_k^2} = \frac{a}{27b^2}$$

olarak bulunur. Kritik değerleri kullanarak $\tau = \frac{T}{T_k}$, $\pi = \frac{P}{P_k}$ ve $\omega = \frac{V}{V_k}$ izafi parametreleri kullanarak

$$\frac{a\pi}{27b^2} = \frac{R}{3b\omega-b} - \frac{a}{9b^2\omega^2}; \pi = \frac{8\tau}{3\omega-1} - \frac{3}{\omega^2}$$

olarak yazılabilir. Kritik parametre

$$\xi = \frac{RT_k}{P_k V_k} = \frac{8}{3}$$

olarak bulunur.

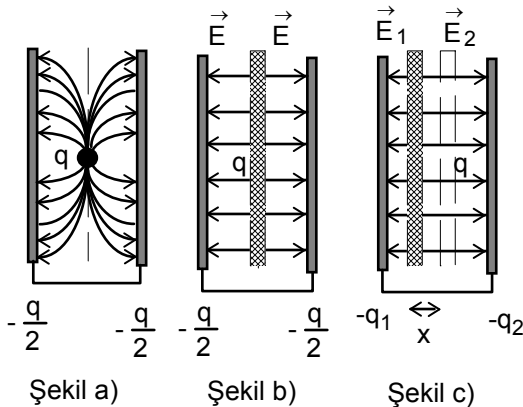
b) Wan der Walls denkleminde uyan reel bir gaz için sabit hacimdeki molar ısı kapasitesi c_v sıcaklıktan bağımsız olduğuna göre adyabatik genişleme için geçerli ifade

$$\delta Q = 0 = c_v dT + PdV = c_v dT + \frac{RTdV}{V-b}; a=0 \text{ ise}$$

$$\frac{c_v dT}{T} + \frac{Rd(V-b)}{V-b} = 0; \ln(T^{c_v} (V-b)^R) = \text{sabit}$$

$$T(V-b)^{\frac{c_v}{R}} = T(V-b)^{\gamma-1} = \text{sabit}; P(V-b)^\gamma = \text{sabit}$$

olarak yazılabilir.



4. Levhaların arasında tam orta noktada bulunan q yükü her iki levhada $-0,5q$ yük indükte etmektedir. Elektrik alan çizgileri Şekil a) daki gibidir. Noktasal yük yerine düz bir levha üzerinde yayılan q yükü inceleyebiliriz. Bu durumda elektrik alanlar bir birine eşit ve zıt yönlüdür. Yüklü olan levha, yani q yükü x kadar hareket ettirilirse elektrik alanlar artık farklı olur. Potansiyel fark iki levha birbirine telle bağlı oldukları için sıfır olur.

$$E_1 \left(\frac{h}{2} - x\right) - E_2 \left(\frac{h}{2} + x\right) = 0$$

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0}; E_2 = \frac{\sigma_2}{\epsilon_0}$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma$$

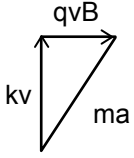
Buradan

$$\sigma_1 = \frac{\sigma(h+2x)}{2h}; \sigma_2 = \frac{\sigma(h-2x)}{2h}$$

ve aralarındaki fark

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\sigma x}{h}; \Delta q = \frac{qx}{h}$$

olarak bulunur.



5. Yüklü bir tanecik hareket hızı ile doğru orantılı bir direniş kuvveti ile karşılaştığı bölgeye girdiklerinde manyetik kuvvetin etkisi ile sapmaya başlamaktadırlar. Manyetik kuvvet sürekli hıza dik olduğu için direniş kuvveti ile manyetik kuvvetler de birbirine dik olacaktır. Toplam momentum değişimi bu iki vektörün vektörel toplamının yönünde olacaktır.

$$ma = \sqrt{(kv)^2 + (qvB)^2} ; m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \sqrt{\left(k \frac{\Delta \ell}{\Delta t}\right)^2 + \left(q \frac{\Delta \ell}{\Delta t} B\right)^2}$$

Momentum değişimi

$$mv_0 = \sqrt{(k\ell)^2 + (q\ell B)^2}$$

olarak yazılabilir. İki durum için

$$mv_0 = \sqrt{(k\ell_1)^2 + (q\ell_1 B)^2} = \sqrt{(k\ell_2)^2 + \left(q\ell_2 \frac{B}{2}\right)^2} = k\ell_0$$

yazabiliriz. Buradan

$$\ell_2 = \frac{2\ell_1}{\sqrt{1 + 3\left(\frac{\ell_1}{\ell}\right)^2}}$$

olarak bulunur.

6. Dönme esnasında halkadan geçen manyetik akı

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = B\pi r^2 \cos \omega t$$

halkada indükte edilmiş e.m.k.

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = B\pi r^2 \omega \sin \omega t$$

halkada akan akım

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{B\pi r^2 \omega \sin \omega t}{R} = I_0 \sin \omega t$$

olarak yazılabilir. Akımın etkin değeri

$$I_e = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{B\pi r^2 \omega}{\sqrt{2} R} ; \omega = 2\pi v ; R = \rho \frac{\ell}{S} = \rho \frac{2\pi r}{S}$$

olur. Akımın halkanın merkezinde oluşturduğu manyetik alan

$$B'_{\text{mak}} = \frac{\mu_0 I_e}{2r} = \frac{\mu_0}{2r} \frac{B\pi r^2 2\pi v}{\sqrt{2} \frac{\rho 2\pi r}{S}} = \frac{\sqrt{2} \pi \mu_0 B S v}{4\rho}$$

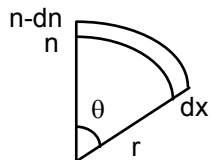
olarak yazılabilir. İğnenin sapması

$$\text{tg} \theta = \frac{\pi}{180^\circ} = \frac{B'_{\text{mak}}}{B} = \frac{\sqrt{2} \pi \mu_0 S v}{4\rho}$$

olarak yazılabilir. Buradan

$$\rho = 45^\circ \sqrt{2} \mu_0 v S \approx 4 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$$

olarak bulunur.



7. a) Birbirine çok yakın ve aralarındaki uzaklık dx olan iki ışın inceleyelim. Birinci ışının girdiği noktasında ortamın kırıcılık indisi n, ikinci ışının indisi n-dn olsun. Bu iki ışın eşit sürede yarıçapı R yay üzerinde hareket etmelidirler.

$$t = \frac{r\theta}{c} = \frac{(r+dx)\theta}{c}$$

$$n \cdot r = (n-dn)(r+dx) ; ndx = rdn ; r = \frac{n}{\left(\frac{dn}{dx}\right)} = \frac{n}{\xi}$$

olarak bulunur.

b) Yarıçapı R_0 olan Venüs gezegeninin atmosferinin kırıcılık indisi, gezegen yüzeyinden h yüksekliğe bağlı olarak $n=n_0-\xi h$ şeklinde değiştiğine göre Venüs gezegeninin atmosferinde ışığın içinden çıkmadığı kanalın yüksekliği h için

$$t = \frac{2\pi(r+h)}{c} = \frac{2\pi(r+h+\Delta h)}{c}; h = \frac{1}{2} \left(\frac{n_0}{\xi} - r \right)$$

olarak bulunur. Kırıcılık indisi ifadesinden α

$$n_0 = 1 + \alpha \rho = 1 + \frac{\alpha \mu P_0}{RT}; 1,000293 = 1 + \frac{\alpha \cdot 29 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5}{8,314 \cdot 275}; \alpha = 23 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^3$$

olarak bulunur. Havanın basıncı genel ve küçük h yükseklikler için

$$P = P_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}}; P = P_0 \left(1 - \frac{\mu g h}{RT} \right)$$

şeklinde değişmektedir. Özkütle için

$$\rho = \frac{\mu P}{RT} = \frac{\mu P_0}{RT} \left(1 - \frac{\mu g h}{RT} \right)$$

yazabiliriz. Kırıcılık indisi ifadesinden

$$n = 1 + \frac{\alpha \mu P_0}{RT} \left(1 - \frac{\mu g h}{RT} \right); \frac{dn}{dh} = -\frac{\alpha \mu^2 P_0 g}{R^2 T^2} = -\xi$$

olarak bulunur. Işının çizdiği dairenin yarıçapı için

$$r = \frac{n}{\xi} = \frac{1 + \alpha \rho}{\xi}$$

yazabiliriz. Olay dünyanın yüzeyine çok yakında gerçekleşirse

$$\rho = \frac{\mu P_0'}{RT}$$

olarak a" İlanabilir. Buradan gerekli olan basınç

$$P_0' = \frac{RT}{\alpha \mu \left(\frac{r \mu g}{RT} - 1 \right)} \approx 43 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 4,25 P_0; n = 4,25$$

olarak bulunur.

8. a) Işık akısı Φ olan yıldızdan bir saniyede birim yüzeye düşen foton sayısı

$$\Phi = 4\pi r^2 N \hbar \omega; N = \frac{\Phi}{4\pi r^2 \hbar \omega}$$

olarak yazılabilir. Bir fotonun momentumu $p = \frac{\hbar \omega}{c}$, yansıyan fotonların momentum değişimi $\Delta p_1 = 2p$,

soğurulan fotonların momentum değişimi $\Delta p_2 = p$ olur. Fotonların düştükleri yüzey üzerine oluşturdukları basınç

$$P = \xi N \Delta p_1 + (1 - \xi) N \Delta p_2 = \frac{\Phi(1 + \xi)}{4\pi r^2 c}$$

olur. Yatın hareket denklemi

$$m a = P S - \frac{\gamma M m}{r^2} = \frac{\Phi(1 + \xi) S}{4\pi r^2 c} - \frac{\gamma M m}{r^2}$$

olarak yazılabilir. Yatın hareketsiz kalabilmesi için $a=0$ alan

$$S_0 = \frac{4\pi c \gamma M m}{\Phi(1 + \xi) c}$$

olmalıdır. $S < S_0$ ise yat güneşe doğru hareket etmektedir. $S > S_0$ ise yat güneşten uzaklaşmaktadır.

b) Yat tüm yelkenlerini kullanarak harekete geçerse ulaştığı hız

$$m a = m \frac{dv}{dt} = m \frac{dv}{dr} \frac{dr}{dt} = m v \frac{dv}{dr} = \frac{\Phi(1 + \xi) S}{4\pi r^2 c} - \frac{\gamma M m}{r^2}$$

$$\int_0^v v dv = \left(\frac{\Phi(1 + \xi) S}{4\pi m c} - \gamma M \right) \int_r^{nr} \frac{dr}{r^2}; \frac{v^2}{2} = \left(\frac{\Phi(1 + \xi) S}{4\pi m c} - \gamma M \right) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{nr} \right)$$

$$v = \sqrt{2 \left(\frac{\Phi(1 + \xi) S}{4\pi m c} - \gamma M \right) \frac{(n - 1)}{nr}}$$

olarak bulunur.

9. a) Hidrojen atomunun yarıçapını bulmak için dinamik yasasına

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

enerji korunumu yasasına

$$W=K+\Pi = \frac{mv^2}{2} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

ve açısal momentumun kuantize olduğu ilkesine

$$L=n\hbar$$

ihtiyaç vardır. Burada m elektronun kütlesidir. Bu modelde çekirdeğin kütlesi elektronun kütlesinden çok çok büyük olduğunu varsaymaktayız. Buradan

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} \cdot \frac{n^2}{Z} ; W_n = -\frac{\mu e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \frac{Z^2}{n^2} = -\frac{R_y Z^2}{n^2}$$

olarak bulunur. Burada

$$R_y = \frac{\mu e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} = 13,6 \text{ eV}$$

Rydberg sabiti olarak bilinmektedir. Hidrojen atomu için

$$W_n = -\frac{R_y}{n^2}$$

yazabiliriz. İki hidrojen atomun çarpışma esnasında hareketsiz atomun uyarılması için hareketli hidrojen atomun minimum hızı hareketsiz atomda elektronun birinci seviyeden ikinci seviyeye uyarılması ile mümkündür. Buradan minimum enerji

$$\Delta W = R_y \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3R_y}{4} = 10,2 \text{ eV}$$

olarak bulunur. Çarpışma esnek olmadığı için momentum korunumu yasası geçerlidir. Buradan çarpışmadan sonra atomların hızları

$$mv=2mu; u = \frac{v}{2}$$

olarak bulunur. Başlangıç ile son kinetik enerjileri arasındaki fark hareketsiz atomun uyarılması için gitmektedir.

$$\Delta W = \frac{mv^2}{2} - \frac{2mu^2}{2} = \frac{mv^2}{4}$$

Buradan hız

$$v = \sqrt{\frac{3R_y}{m}} = 6,25 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

olarak bulunur.

b) Meydana gelen fotonların maksimum bağıl frekansı fotonların atomun hareketinin yönünde ya da hareketin zıt yönünde yayılması ile gerçekleşmektedir. Doppler olayına göre bu fotonların frekansları

$$v_1 = v_0 \left(1 + \frac{u}{c} \right); v_2 = v_0 \left(1 - \frac{u}{c} \right)$$

olarak yazılabilir. Bağıl frekansların oranı

$$\frac{\Delta v}{v_{\text{ort}}} = \frac{v_1 - v_2}{v_1 + v_2} = \frac{v}{c} = 2,08 \cdot 10^{-4}$$

olarak bulunur.