

PAÜ FEN FAKÜLTESİ FİZİK BÖLÜMÜ
FİZ 435 KATIHAL FİZİĞİ DERSİ
2025-2026 GÜZ DÖNEMİ BÜTÜNLEME SINAV SORULARI ÇÖZÜMLERİ

S1	S2	S3	S4	S5	T

Adı-Soyadı:

Öğrenci No:

NOT: Cep telefonu kullanılması yasaktır. Hesap makinesi kullanabilirsiniz. SÜRE: 120 dakika
16.01.2026 (09.00 – 11.00)

Soru 1 (20 P): Cisim merkezli kübik kristal yapılarda hangi düzlemlerden yansımaların izinli olduğunu ve hangi düzlemlerden yansımaların izinli olmadığını ayrıntılı bir şekilde açıklayınız.

Cisim merkezli kübik yapının bazında;

$$x_1 = y_1 = z_1 = 0 \quad \text{ve} \quad x_2 = y_2 = z_2 = 1/2$$

konumlarında özdeş 2 adet atom vardır. (5 P)

$$F_{hkl} = f_1(e^{-i2\pi(0)} + e^{-i\pi(h+k+l)}) = f_1(1 + e^{-i\pi(h+k+l)}) \quad (5 P)$$

Yukarıdaki eşitlikte, üslü terim -1 'e eşit olduğunda $F_{hkl} = 0$ olur. Yani, cisim merkezli kübik yapıdaki bir kristalde, böyle bir düzlemden yansıma olmaz. Buna göre, cisim merkezli kübik yapıdaki bir kristalde, Miller indisleri toplamının tek tamsayı olduğu düzlemlerden yansıma olmaz. (3 P)

Ör: (1 0 0) ; (2 1 0) ; (0 1 0) ; (1 1 1) düzlemlerinden yansımalar izinli değildir. (2 P)

Cisim merkezli kübik yapıdaki bir kristalde, $F_{hkl} = 2f_1$ olduğunda ise, böyle bir düzlemden yansıma izinlidir. Buna göre, cisim merkezli kübik yapıdaki bir kristalde, Miller indisleri toplamının çift tamsayı olduğu zaman bu düzlemlerden yansımalar izinlidir. (3 P)

Ör: (2 2 2) ; (2 0 0) ; (1 1 2) ; (1 1 0) düzlemlerinden yansımalar izinlidir. (2 P)

Soru 2 (20 P): Görünür bölgede ışın kullanılarak, bir kristalde kırınım deseni elde edilebilir mi? Detaylarıyla açıklayınız.

Bragg yasası, kristal yapı tayini için kullanılacak olan ışının dalga boyunu mertebesini belirleyebilir.

$n = 1$ için

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2 \text{ P})$$

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{2d}$$

elde edilir. $\sin \theta$ değeri sadece, $-1 < \sin \theta < +1$ arasında değerler alabildiği için, kırınım deneylerinde kullanılan ışının dalga boyunun **(1 P)**

$$\lambda \leq 2d \quad (2 \text{ P})$$

şartını sağlaması gerekir. Yani bir kristalde kırınım deseni elde edebilmek için, kristaldeki düzlemler arası mesafenin, gelen ışının dalga boyunun yarısından büyük veya eşit olması gerekir. Görünür bölgedeki ışının dalgaboyu ise yaklaşık olarak $4000 \text{ \AA} - 7000 \text{ \AA}$ aralığındadır. Bir kristalde düzlemler arası mesafe yaklaşık olarak $0,1 \text{ \AA}$ ile 2 \AA aralığında olduğu için, görünür bölgedeki ışın kullanılarak bir kristalde kırınım deseni elde edilemez. Bu nedenle, kristallerde kırınım deseni elde edebilmek için, bu mertebede dalga boyuna sahip olan X-ışınları, elektronlar veya nötronlar kullanılır. **(15 P)**

Soru 3 (15 P): Yüzey merkezli kübik yapıdaki bir kristalin ilkel örgü öteleme vektörleri,

$$\vec{a} = \left(\frac{a}{2}\right) (\hat{x} + \hat{y})$$

$$\vec{b} = \left(\frac{a}{2}\right) (\hat{y} + \hat{z})$$

$$\vec{c} = \left(\frac{a}{2}\right) (\hat{x} + \hat{z})$$

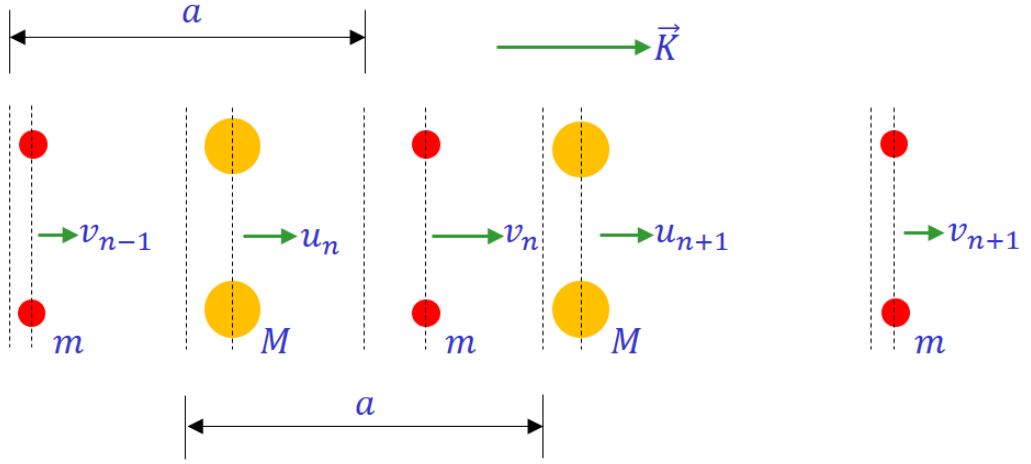
şeklinde verilmiştir. Bu kristalin ilkel örgüsünün ters örgü öteleme vektörlerini elde ediniz (\vec{A} , \vec{B} ve \vec{C}).

$$\vec{A} = 2\pi \frac{\vec{b} \times \vec{c}}{\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c})} \Rightarrow \vec{A} = \left(\frac{2\pi}{a}\right) (\hat{x} + \hat{y} - \hat{z}) \quad (5 \text{ P})$$

$$\vec{B} = 2\pi \frac{\vec{c} \times \vec{a}}{\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c})} \Rightarrow \vec{B} = \left(\frac{2\pi}{a}\right) (-\hat{x} + \hat{y} + \hat{z}) \quad (5 \text{ P})$$

$$\vec{C} = 2\pi \frac{\vec{a} \times \vec{b}}{\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c})} \Rightarrow \vec{C} = \left(\frac{2\pi}{a}\right) (\hat{x} - \hat{y} + \hat{z}) \quad (5 \text{ P})$$

Soru 4 (30 P): Şekil’de gösterildiği gibi, M kütleli atomların birbirlerine paralel olan düzlemlerin bir grubu üzerinde ve m kütleli atomların da ilkinin aralarına giren paralel düzlemlerin bir başka grubu üzerinde konumlandığı, bir başka deyişle, ilkel birim hücrelerinde iki atom bulunan kübik bir kristal için dağılım (dispersiyon, $\omega(K)$) bağıntılarını elde ediniz. Elde ettiğiniz dağılım bağıntılarından hangisinin akustik modu ve hangisinin optik modu temsil ettiğini yazınız?



Sistemin hareket denklemleri şu şekilde yazılır.

$$M \frac{d^2 u_n}{dt^2} = -C(2u_n - v_n - v_{n-1}) \quad (5 P)$$

$$m \frac{d^2 v_n}{dt^2} = -C(2v_n - u_{n+1} - u_n) \quad (5 P)$$

$$u_n = u e^{i(nKa - \omega t)} \quad \text{ve} \quad u_{n+1} = u_0 e^{i((n+1)Ka - \omega t)}$$

$$v_n = v e^{i(nKa - \omega t)} \quad \text{ve} \quad v_{n-1} = v e^{i((n-1)Ka - \omega t)}$$

$$\frac{d^2 u_n}{dt^2} = -\omega^2 u_n \quad \text{ve} \quad \frac{d^2 v_n}{dt^2} = -\omega^2 v_n \quad \text{ise}$$

$$(2C - M\omega^2)u - C(1 + e^{-iKa})v = 0 \quad \text{ve} \quad -C(1 + e^{iKa})u + (2C - m\omega^2)v = 0 \quad \text{ise} \quad (5 P)$$

Bu denklem sisteminin katsayılar determinantının sıfır olması gerekir.

$$\begin{vmatrix} (2C - M\omega^2) & -C(1 + e^{-iKa}) \\ -C(1 + e^{iKa}) & (2C - m\omega^2) \end{vmatrix} = 0 \quad (5 P)$$

$$4C^2 - 2Cm\omega^2 - 2CM\omega^2 + Mm\omega^4 - C^2(1 + e^{-iKa} + e^{iKa} + e^{iKa} \cdot e^{-iKa}) = 0$$

$$Mm\omega^4 - 2C(m + M)\omega^2 + 2C^2(1 + \cos(Ka)) = 0$$

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{C(m + M)}{mM} \pm \frac{C\sqrt{(m + M)^2 - 2mM(1 - \cos(Ka))}}{mM} \quad (5 P)$$

Bu dağılım bağıntılarından eksi (-) işaretli olanı akustik modu, artı (+) işaretli olanı ise optik modu temsil eder. (5 P)

Soru 5 (15 P): Özısı kavramını ve özısı türlerini, Dulong-Petit yasasını detaylı olarak açıklayınız.

Özısı: Bir katının sıcaklığı küçük bir ΔT aralığı kadar arttırıldığı zaman, bu katının bir mol gramı tarafından yutulan (absorbed) ΔQ ısı ölçülerek mol gramı başına C özısı (ısı kapasitesi),

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

ifadesi ile hesaplanır. Başka bir deyişle, bir katının sıcaklığını arttırmak için her mol gramına verilmesi gereken Kelvin cinsinden birim sıcaklık başına ısı miktarına **özısı** adı verilir. (5 P)

Bir cismin ısıtılması işlemi esnasında hacmi genellikle değişeceğinden, genellikle sabit hacim altında özısı ölçülmez. Bunun yanında, mod frekansları ve elektron enerji seviyeleri, atomlar arası uzaklığa bağlı olduğu için de, sabit basınç altındaki özısı hesaplamak da zordur. Bu sebeple **özısı, sabit basınç altında ölçülür ve sabit hacim altında hesaplanır.** (5 P)

$$C_V = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_V ; C_P = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_P$$

Dulong-Petit Yasası: Bu yasa, özısı değerinin, incelenen cisimden bağımsız olarak yüksek sıcaklık bölgesinde yaklaşık olarak $3R$ 'ye eşit olması olarak bilinir. Burada R evrensel gaz sabiti olarak bilinmekte ve değeri, $R = N_A k_B$ şeklinde verilmektedir. Burada N_A , Avagadro sayısı ($N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$) ve k_B ise Boltzman sabitidir ($k_B = 1,38 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$). (5 P)

