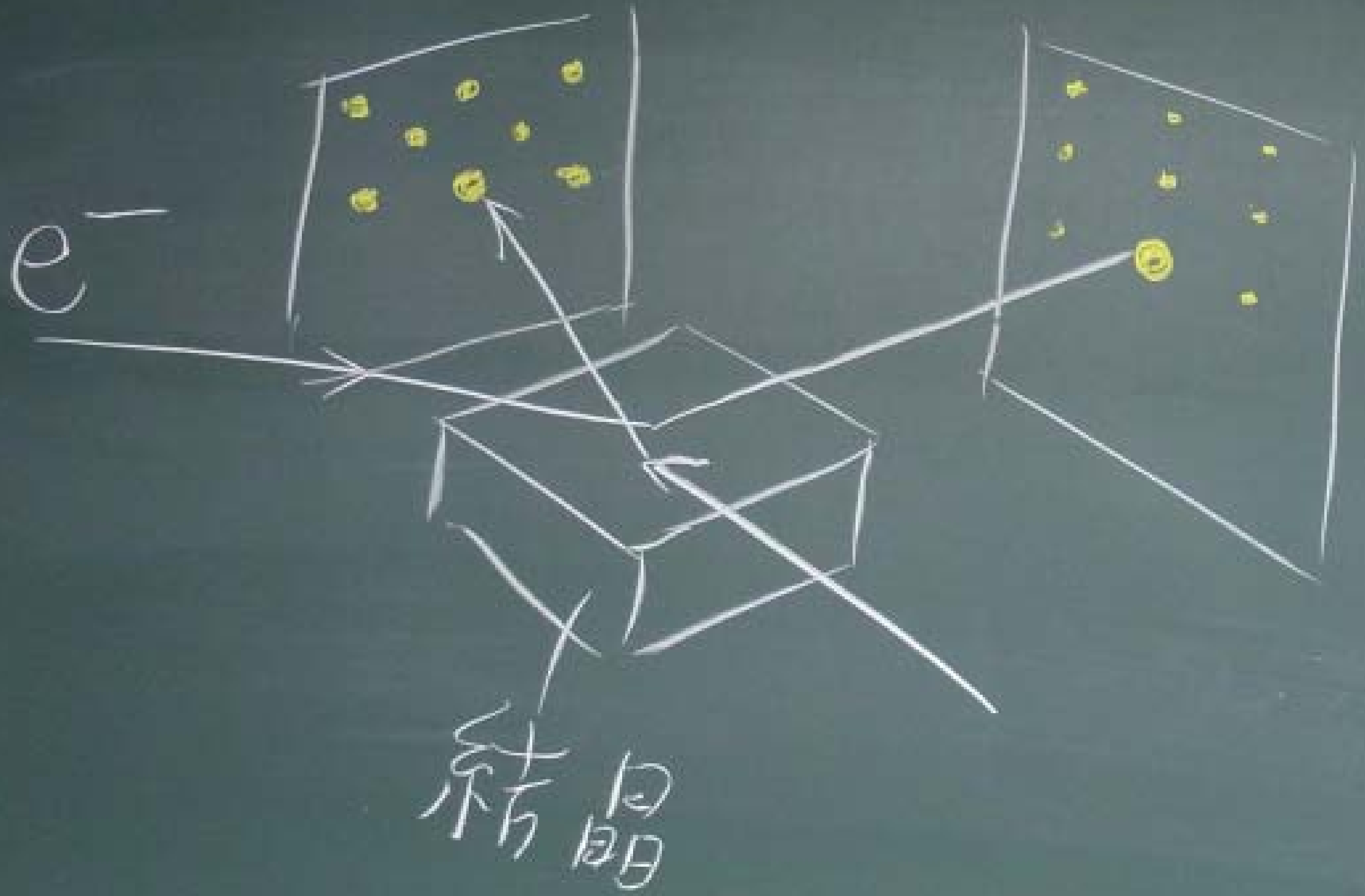
電子線回折

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV \longrightarrow v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

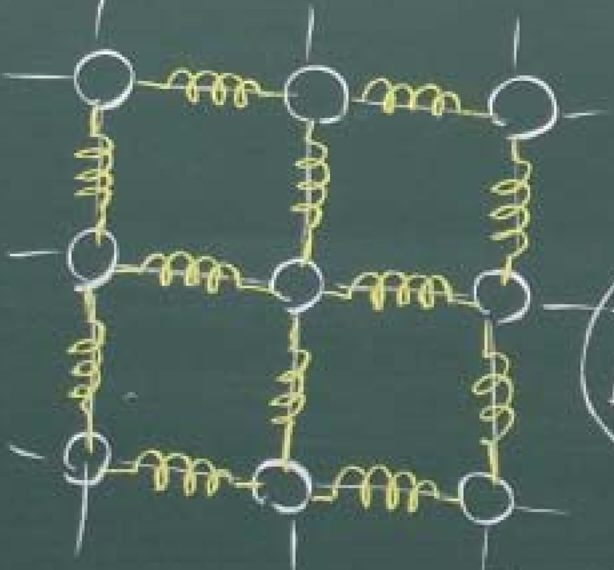
$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

$$\left(\frac{h}{p}\right)$$



表面敏感、

3.9 格子振動



固有振動数

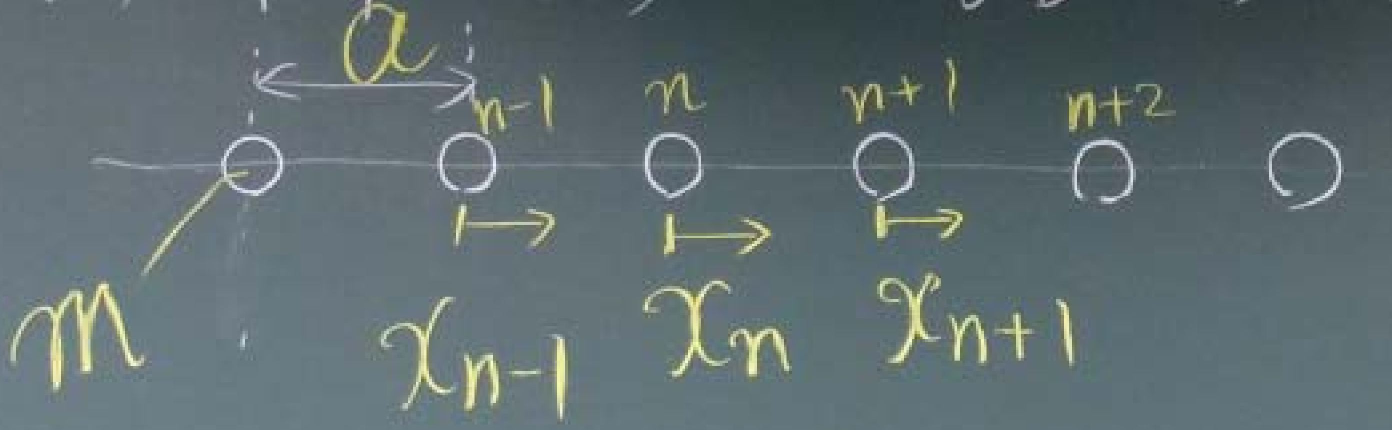
角振動数 $\omega \longrightarrow \hbar\omega$

$$E=\left(n+\frac{1}{2}\right)\hbar\omega$$

仮想的な粒子

B-E統計 フォノン

(1) 同一原子からなる一次元格子



最近接原子間にのみフックの法則
に従う相互作用

バネ定数

$$m\frac{d^2x_n}{dt^2} = -f(x_n - x_{n+1}) - f(x_n - x_{n-1})$$

$$= f(x_{n+1} + x_{n-1} - 2x_n) \rightarrow \omega$$

$$x_n = Ae^{-i(\omega t - kx)}$$ 波数

$$= Ae^{-i(\omega t - kna)}$$

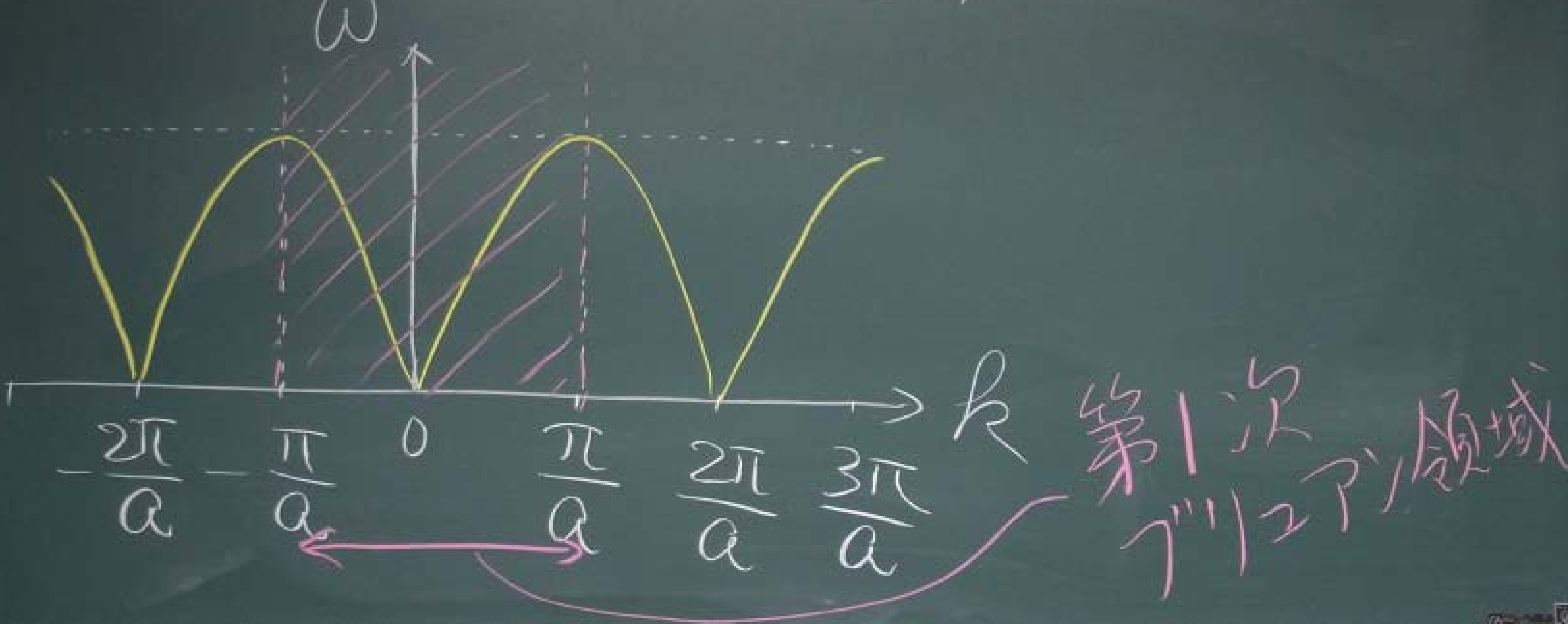
$$-m\omega^2 x_n = f\left(x_{n+1} + x_{n-1} - 2x_n\right)$$

$$-m\omega^2 = f\left(\underbrace{e^{ika} + e^{-ika}}_{2\cos ka} - 2\right)$$

$$\omega^2 = \frac{2f}{m}\left(1 - \cos ka\right)$$

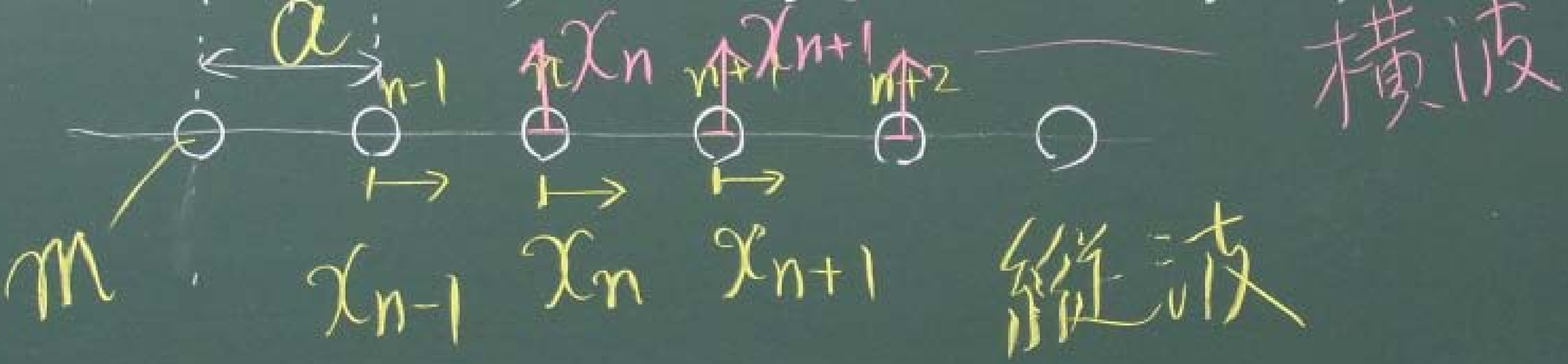
$$= \frac{4f}{m}\sin^2\frac{ka}{2}$$

$$\therefore\ \omega = \sqrt{\frac{4f}{m}}\left|\sin\frac{ka}{2}\right|$$



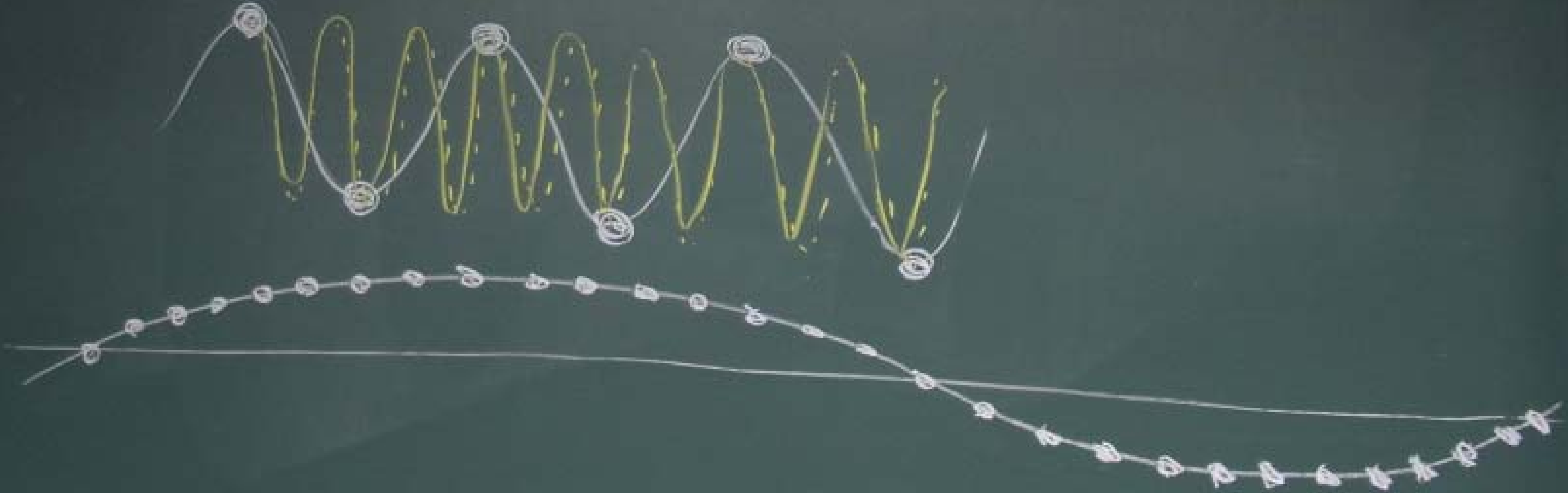
$$k = \frac{\pi}{a} \longleftrightarrow \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{a} \qquad \lambda = 2a$$

(1) 同一原子からなる一次元格子



最近接原子間にのみフックの法則に従う相互作用

$$k = \frac{\pi}{a} \longleftrightarrow \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{a} \qquad \lambda = 2a$$

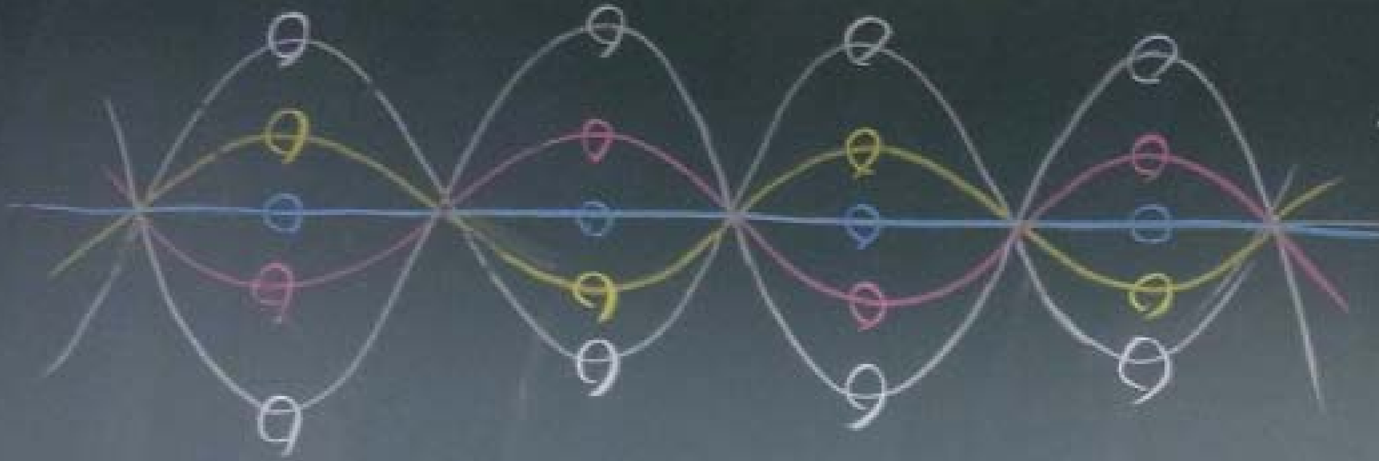


$k = \pm\frac{\pi}{a}$ のとき $v_g = 0.$

群速度 $v_g \equiv \frac{d\omega}{dk} = \sqrt{\frac{f}{m}} \cdot a \cdot \left| \cos\frac{ka}{2} \right|$

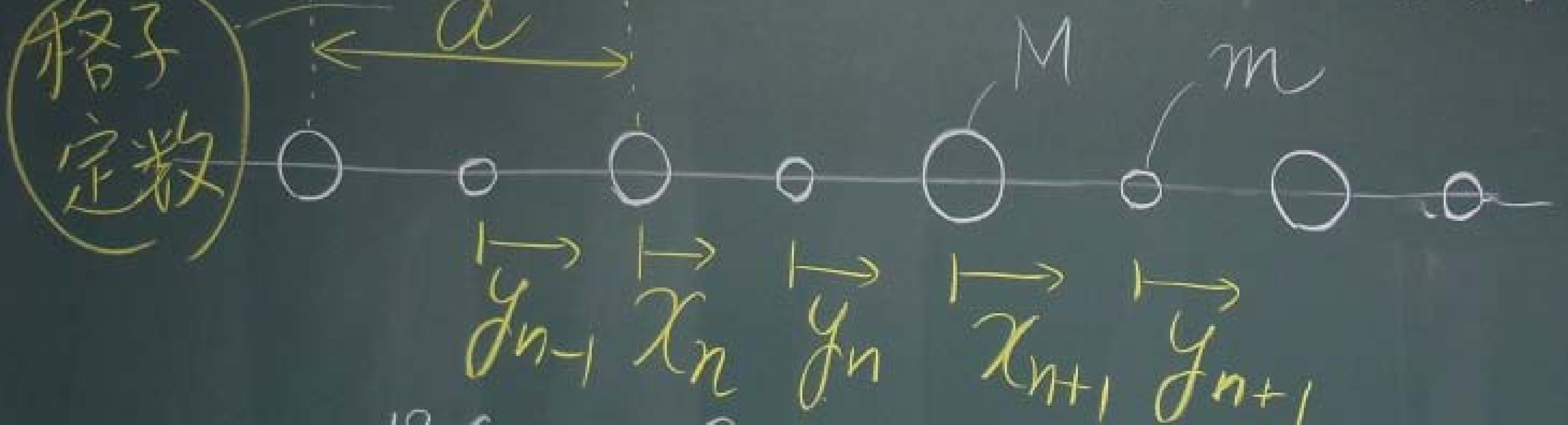
$$x_n = A \cdot e^{-i\omega_m t} \cdot e^{\pm in\pi}$$
$$= (-1)^n A e^{-i\omega_m t}$$

$\lambda = 2a$



定在波

(2) 2種類の原子からなる一次元格子



$$
\begin{cases}
M\dfrac{d^2x_n}{dt^2} = f\left(y_n + y_{n-1} - 2x_n\right) \\
m\dfrac{d^2y_n}{dt^2} = f\left(x_{n+1} + x_n - 2y_n\right)
\end{cases}
$$

$$\begin{cases} x_n = A e^{-i(\omega t - kna)} \\ y_n = B e^{-i(\omega t - kna)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} -M\omega^2 A = f(B + B e^{-ika} - 2A) \\ -m\omega^2 B = f(A e^{ika} + A - 2B) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (2f - M\omega^2) A - f(1+e^{-ika}) B = 0 \\ -f(1+e^{ika}) A + (2f - m\omega^2) B = 0 \end{cases}$$

$A \neq 0,\ B \neq 0$

$$\begin{vmatrix} 2f - M\omega^2 & -f(1+e^{-ika}) \\ -f(1+e^{ika}) & 2f - m\omega^2 \end{vmatrix} = 0$$

$$Mm\underset{\sim}{\omega}^4 - 2f(M+m)\underset{\sim}{\omega}^2 + 2f^2(1-\cos ka) = 0$$

$$\omega^2 = f\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right) \pm f\sqrt{\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right)^2 - \frac{4\sin^2\frac{ka}{2}}{Mm}}$$

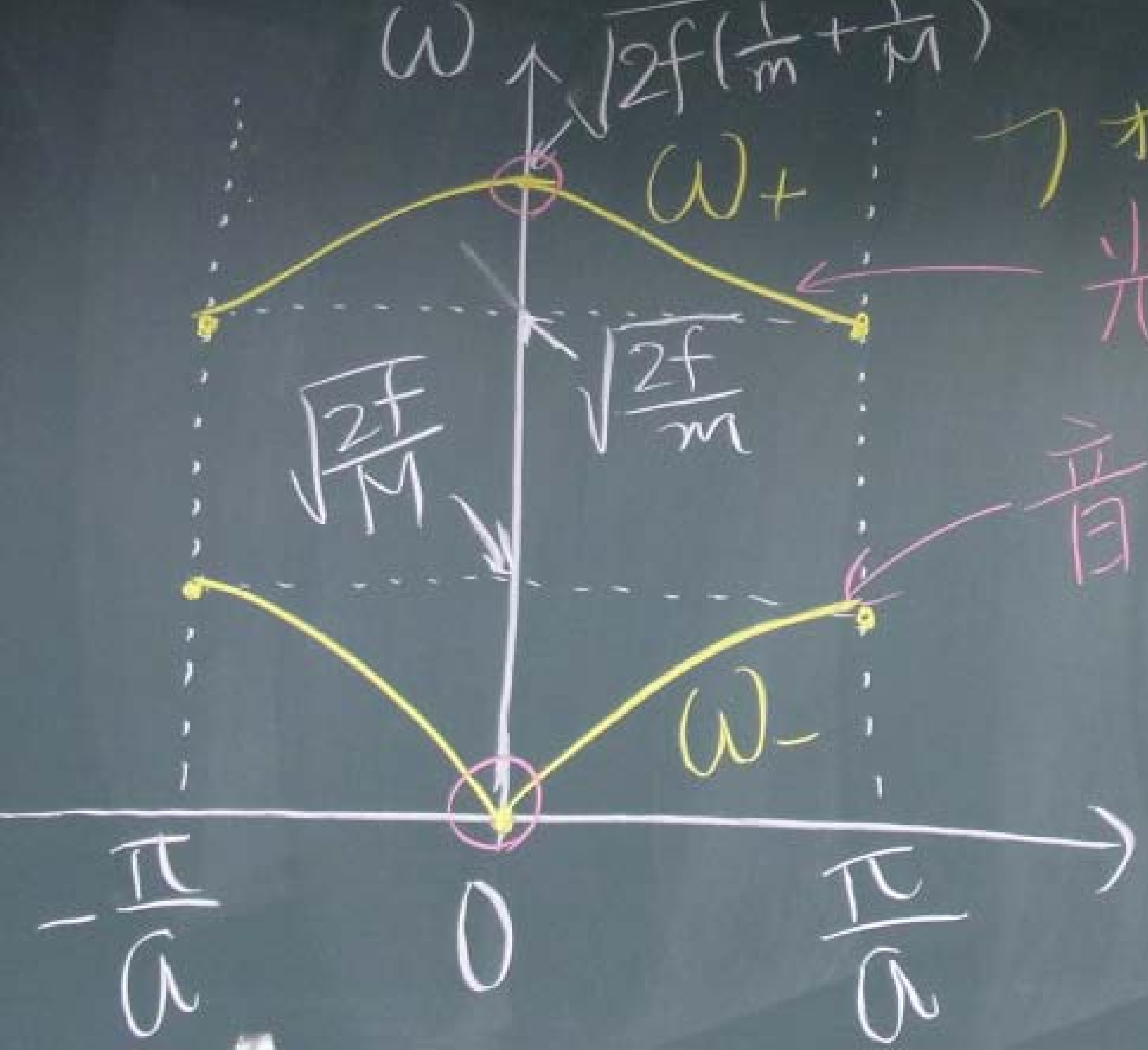
$k=0$のとき. $\omega_- = 0$, $\omega_+ = \sqrt{2f\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{M}\right)}$

$k=\pm\frac{\pi}{a}$のとき. $\omega^2 = f\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{M}\right) \pm f\left(\frac{1}{m}-\frac{1}{M}\right)$

$$\omega_- = \sqrt{\frac{2f}{M}}, \quad \omega_+ = \sqrt{\frac{2f}{m}}$$

$(M>m)$

フォノンの分散関係、



光学モード

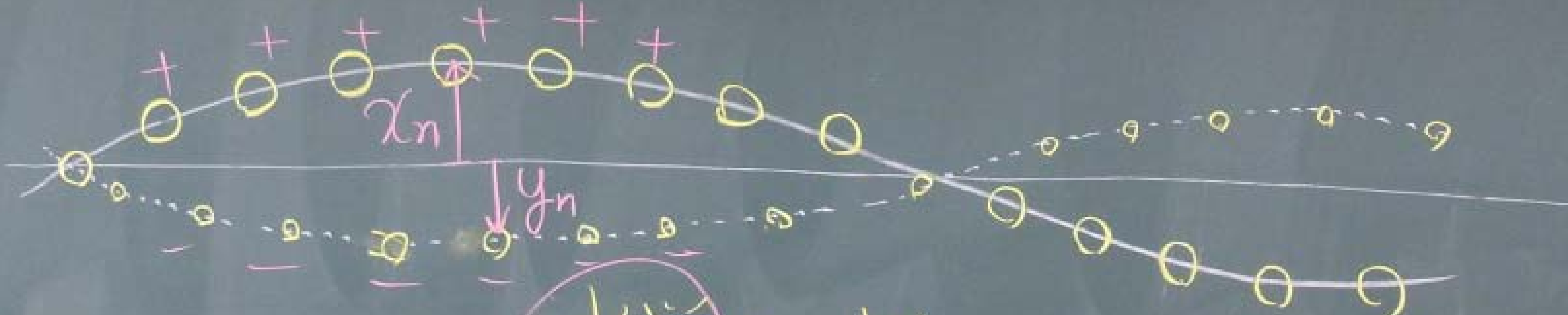
音響モード

波数

$k=\frac{2\pi}{\lambda}$

② $k \simeq 0,\ \omega \simeq \sqrt{2f\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{M}\right)}$ のとき

$$B = -\frac{M}{m}A \quad \therefore\ y_n = -\frac{M}{m}x_n$$



光学モード　赤外光

電気伝導

発光、光の吸収

熱伝導 ……