สรุปความรู้จลนศาสตร์

เวกเตอร์เฉลี่ยของความเร็วและความเร่งของอนุภาค

• $< \vec{v} >= \dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t},\ < \vec{v} >= \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$

$\Delta\vec{r}$ คือเวกเตอร์การกระจัด

ความเร็วและความเร่งของอนุภาค

•$\vec{v} = \dfrac{d\vec{r}}{dt},\ \vec{a} = \dfrac{d\vec{v}}{dt}$

ความเร่งของอนุภาคที่จุดๆหนึ่งในแนวสัมผัสและตั้งฉากกับเส้นวิถีการเคลื่อนที่

•$a_\tau = \dfrac{dv_\tau}{dt},\ a_n = \dfrac{v^2}{R}$ R คือรัศมีความโค้งของเส้นวิถีที่จุดนั้น

ระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้

•$s = \int vdt$ v คือขนาดของเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค

ความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงมุมของวัตถุแข็งเกร็ง

•$\vec{\omega} = \dfrac{d\vec{\phi}}{dt},\ \vec{\alpha} = \dfrac{d\vec{\omega}}{dt}$

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชิงเส้นและปริมาณเชิงมุมสำหรับวัตถุแข็งเกร็งที่กำลังหมุน

•$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}, \quad a_n = \omega^2 R,\ |a_\tau| = \alpha R$

$\vec{r}$ คือเวกเตอร์ตำแหน่งของจุดที่กำลังพิจารณาเทียบกับจุดใดๆบนแกนหมุนและ

R คือระยะห่างของจุดจากแกนหมุน

สรุปความรู้เรื่องอุณหพลศาสตร์

2.1 สรุปความรู้เรื่องสมการสถานะของก๊าซ

• กฎของก๊าซอุดมคติ $PV = \frac{m}{M}RT$ โดยที่ M คือมวลโมลาร์

• สมการบาโรเมทริก $P = P_0 e^{\frac{-Mgh}{RT}}$ เมื่อ P_0คือความดันที่ระดับ $h = 0$

• สมการสถานะของก๊าซแวน เดอร์ วาลส์ $(P_{van}+\frac{a^2}{V_M^2})(V_M-b) = nRT$ เมื่อ V_Mคือปริมาตรของก๊าซ 1 mol ซึ่งขึ้นกับความดันและอุณหภูมิ
2.2 สรุปความรู้เรื่อง กฏข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ และค่าความจุความร้อน

• กฏข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ $Q = \Delta U+W$ เมื่อ Δ Uเป็นพลังงานภายในที่เพิ่มขึ้นของระบบ

• งานที่ทำโดยระบบ $W = \int pdV$

• พลังงานภายในของระบบ $U = \frac{m}{M}C_V T = \frac{m}{M}\frac{RT}{\gamma-1} = \frac{pV}{\gamma-1}$
ค่าความจุความร้อนต่อโมล ในกระบวนการ โพลีโทรปิก$(pV^n = const)$ $C = \gamma - 1 - \frac{T}{n-1} = \frac{(n-\gamma)R}{(n-1)(\gamma-1)}$

• พลังงานภายใน ของก๊าซแวน เดอ วาลส์ 1โมล $U = C_V T - \frac{a}{V_M}$ โดยที่ V_Mเป็นปริมาตรของก๊าซ 1 โมล

2.3 สรุปความรู้เรื่องทฤษฎีจลย์ของก๊าซ,กฎของโบลซ์แมนและ Maxwell's distribution

• สมการสภาวะของก๊าซอุดมคติ (Equation of an ideal gas state) p=nkT

• พลังงานเฉลี่ยของโมเลกุล $< e >= \frac{i}{2}kT$ โดยที่ iเป็นผลรวม degree of freedom ของการเลื่อนที่ การหมุน และการสั่น

• Maxwellian distribution $dN(v_x) = N(\frac{m}{2\pi kT})^{\frac{1}{2}} e^{\frac{-mv_x{}^2}{2kT}} dv_x dN(v) = N(\frac{m}{2\pi kT}) e^{\frac{-mv^2}{2kT}} dv$

• ความเร็วที่มีโอกาสพบอนุภาคมากที่สุด,ความเร็วเฉลี่ย,รากที่สองของความเร็วกำลังสองเฉลี่ย $v_p = \sqrt{\dfrac{2kT}{m}}; < v >= \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}; v_{sq} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$

• สูตรของ โบลซ์แมน $n = n_0 e^{\frac{U-U_0}{kT}}$ โดยที่ Uเป็นr]พลังงานศักย์ของโมเลกุล

2.4 สรุปความรู้เรื่องกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ และเอนโทรปี

• ประสิทธิภาพของวัฏจักรความร้อน $\eta = \dfrac{W}{Q_1} = 1 - \dfrac{Q_2}{Q_1}$ โดยที่ Q_1เป็นความร้อนที่วัฏจักรได้รับจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงและ Q_2เป็นความร้อนที่วัฏจักรปล่อยไปให้แหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

• ประสิทธิภาพของวัฏจักรคาโนต์ $\eta = 1 - \dfrac{T_2}{T_1}$ โดยที่ T_1เป็นอุณหภูมิ ของแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงและ T_2เป็นอุณหภูมิของแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

• บทบัญญัติของคลอซิอุส $0 > \int \dfrac{\delta Q}{T}$

• เอนโทรปีที่เพิ่มขึ้นในระบบ $\Delta S > \int \dfrac{\delta Q}{T}$

• ความสัมพันธ์พื้นฐานของเทอร์โมไดนามิกส์ $TdS > dU + pdV$

• ควาสัมพันธ์ระหว่าง เอนโทรปี กับ statistical weight (the thermodynamics) $S = k \ln \Omega$

สรุปความรู้เรื่องพลศาสตร์ไฟฟ้า

3.1 สรุปความรู้เรื่องสนามไฟฟ้าในสุญญากาศที่ไม่แปรตามเวลา

• ความเข้มและศักย์ของสนามไฟฟ้าจากประจุจุด q : $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^3}\vec{r}\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}(3.1a)$

• ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้า : $\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi(3.1b)$

• ทฤษฎีบทของเกาส์ และการหมุนวนของเวกเตอร์ $\vec{E}$: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \oint \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0(3.1c)$

• ศักย์ไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าของขั้วคู่ไฟฟ้าของประจุจุดซึ่งมีโมเมนต์ไฟฟ้า $\vec{p}$: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\vec{p}\cdot\vec{r}}{r^3}E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{p}{r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta}(3.1d)$ โดยที่ θ คือมุมระหว่างเวกเตอร์ $\vec{r}$ กับ $\vec{p}$

• พลังงาน W ของขั้วคู่ไฟฟ้า $\vec{p}$ ในสนามไฟฟ้าภายนอก และทอร์ก $\vec{T}$ กระทำต่อขั้วคู่ไฟฟ้า : $W = -\vec{p}\cdot\vec{E}\vec{T} = \vec{p}\times\vec{E}$ (3.1e)

• แรง $\vec{F}$ ที่กระทำต่อขั้วคู่ไฟฟ้า และเงาฉายของมัน F_x : $\vec{F} = p\frac{\partial\vec{E}}{\partial l}F_x = \vec{p}\cdot\vec{\nabla}E_x$ (3.1f)
โดยที่ $\frac{\partial\vec{E}}{\partial l}$ เป็นอนุพันธ์ของเวกเตอร์ $\vec{E}$ เทียบกับทิศทางของขั้วคู่ไฟฟ้า $\vec{\nabla}E_x$ คือเกรเดียนท์ของฟังก์ชัน E_x
3.2 ตัวนำไฟฟ้าและไดอิเล็กทริกในสนามไฟฟ้า

• สนามไฟฟ้าใกล้ผิวของตัวนำในสุญญากาศ: $E_n = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ (3.2a)

• ฟลักซ์ของเวคเตอร์การโพลาร์ไรซ์ $\vec{P}$ ผ่านผิวปิด : $\oint \vec{P}\cdot d\vec{A} = -q'$ (3.2b) โดยที่ q' คือผลบวกเชิงพีชคณิตของประจุไม่อิสระที่ถูกล้อมโดยผิวนี้

• เวคเตอร์ $\vec{D}$ และกฎของเกาส์สำหรับมัน : $\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P} \oint \vec{D}\cdot d\vec{A} = q$ (3.2c) โดย q คือผลบวกเชิงพีชคณิตของประจุอิสระภายในผิวปิดนี้

• ความสัมพันธ์ระหว่างไดอิเล็กทริกสองชนิดที่ผิวขอบ: $P_{2n} - P1n = -\sigma', D_{2n} - D_{1n} = \sigma, E_{2\tau} = E_{1\tau}$ (3.2d) โดย σ และ σ' เป็นความหนาแน่นประจุเชิงพื้นที่ของประจุอิสระและไม่อิสระตามลำดับ และเวคเตอร์หน่วย $\hat{n}$ ชี้ตั้งฉากจากตัวกลาง 1 ไปตัวกลาง 2

• ในไดอิเล็กทริกไอโซทรอปิก: $\vec{P} = \chi\epsilon_0\vec{E}, \vec{D} = \epsilon\epsilon_0\vec{E}, \epsilon = 1 + \chi$ (3.2e)

• ในกรณีไดอิเล็กทริกไอโซทรอปิกที่สม่ำเสมอถูกเติมเต็มเข้าในช่องว่างระหว่างผิวสมศักย์ : $\vec{E} = \dfrac{\vec{E}_0}{\epsilon_0}$

3.3 ความจุไฟฟ้า และพลังงานของสนามไฟฟ้า

• ความจุของตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน : $C = \epsilon\epsilon_0\dfrac{A}{d}$ (3.3a)

• พลังงานที่กระทำระหว่างกันของประจุจุด : $W = \dfrac{1}{2}\sum q_i\varphi_i$ (3.3b)

• พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของระบบซึ่งประจุกระจายอย่างต่อเนื่อง : $W = \dfrac{1}{2}\int \varphi\rho dV$ (3.3c)

• พลังงานไฟฟ้ารวมของวัตถุมีประจุสองตัว 1 และ 2 : $W = W_1 + W_2 + W_{12}$ (3.3d) เมื่อ W_1 และ W_2 คือพลังงานในตัวเองของวัตถุ และ W_{12} คือพลังงานระหว่างกันของวัตถุ 2 ก้อนนั้น

• พลังงานของตัวเก็บประจุที่มีประจุอยู่ : $W = \dfrac{qV}{2} = \dfrac{q^2}{2C} = \dfrac{CV^2}{2}$ (3.3e)

• ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของพลังงานสนามไฟฟ้า : $\omega = \dfrac{\vec{E}\cdot\vec{D}}{2} = \dfrac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2}$ (3.3f)

3.4 กระแสไฟฟ้า

• กฎของโอห์มสำหรับส่วนของวงจรแบบไม่เอกพันธ์ : $I = \dfrac{V_{12}}{R} = \dfrac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R}$ (3.4a) โดยที่ V_{12} คือความต่างศักย์ตกคร่อมส่วนย่อยนั้น

• รูปแบบดิฟเฟอเรนเชียลของกฎของโอห์ม : $\vec{j} = \sigma(\vec{E}+\vec{E}^*)$ (3.4b) โดยที่ $\vec{E}^*$ คือความเข้มสนามจากแรงภายนอ

• กฎของ Kirchhoff (สำหรับวงจรไฟฟ้า) : $\sum I_k = 0, \sum I_k R_k = \sum \varepsilon_k$ (3.4c)

• กำลัง P ของกระแส และกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนเป็นความร้อน Q : $P = VI = (\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12})I, Q = RI^2$ (3.4d)

• กำลังไฟฟ้าจำเพาะ(specific power) P_{sp} และ Q_{sp} ของกระแสไฟฟ้า : $P_{sp} = \vec{j}\cdot(\vec{E}+\vec{E}^*), Q_{sp} = \rho j^2$ (3.4e)

• ความหนาแน่นกระแสในโลหะ : $\vec{j} = en\vec{u}$ (3.4f) โดยที่ $\vec{u}$ คือความเร็วเฉลี่ยของอนุภาคที่นำพากระแส

3.5 สรุปความรู้เรื่องสนามแม่เหล็กที่ไม่แปรตามเวลา และแม่เหล็ก

• สนามแม่เหล็กจากประจุจุดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่สัมพัทธภาพ $\vec{v}$: $\vec{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{q\vec{v}\times\vec{r}}{r^3}(3.5a)$

• กฎของบิโอต์-ซาวาร์ต์ : $d\vec{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{\vec{j}\times\vec{r}}{r^3}dV, d\vec{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{Id\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}(3.5b)$

• การหมุนวนของ $\vec{B}$ และกฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก : $\oint \vec{B}\cdot d\vec{r} = \mu_0 I, \oint \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0$ (3.5c)

• แรงลอเรนตซ์ : $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v}\times\vec{B}$ (3.5d)

• แรงแอมแปร์ : $d\vec{F} = \vec{j}\times\vec{B}dV, d\vec{F} = Id\vec{l}\times\vec{B}$ (3.5e)

• แรงและโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อขั้วคู่แม่เหล็ก $\vec{p}_m = IA\hat{n}$: $\vec{F} = p_m\dfrac{\partial\vec{B}}{\partial n}, \vec{T} = \vec{p}_m\times\vec{B}$ (3.5f) โดย $\dfrac{\partial\vec{B}}{\partial n}$ คืออนุพันธ์ของ $\vec{B}$ เทียบกับทิศทางของขั้วคู่แม่เหล็ก

• การหมุนวนของเวคเตอร์การทำให้เป็นแม่เหล็ก(Magnetization vector)$\vec{J}$: $\oint \vec{J}\cdot d\vec{r} = I'(3.5g)$ โดย I' คือกระแสรวมระดับจุลภาค

• เวคเตอร์ $\vec{H}$ และการหมุนวนของมัน : $\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}, \oint \vec{H}\cdot d\vec{r} = I(3.5h)$ ดดยที่ I

คือผลรวมเชิงพีชคณิตของกระแสระดับมหภาค

• ความสัมพันธ์ที่ขอบนะหว่างแม่เหล็ก 2 ตัว : $B_{1n} = B_{2n}, H_{1\tau} = H_{2\tau}(3.5i)$

• กรณีของแม่เหล็กที่มี $\vec{J} = \chi_m \vec{H}$: $\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}, \mu = 1 + \chi_m(3.5j)$

3.6 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า และสมการของแมกซ์เวลล์

• กฎการเหนี่ยวนำแม่เหล็ฏไฟฟ้าของฟาราเดย์ : $\Phi_m = N\Phi_{1m}(3.6b)$ โดย N คือจำนวนขด Φ_{1m} คือฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านแต่ละขด

• ค่าความเหนี่ยวนำของโซลีนอยด์ : $L = \mu\mu_0 N^2 \dfrac{A}{l}(3.6c)$

• พลังงานภายในตัวเหนี่ยวนำ และพลังงานระหว่างกันของตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว : $W = \dfrac{LI^2}{2}, W_{12} = L_{12}I_1I_2(3.6d)$

• ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของพลังงานสนามแม่เหล็ก : $\omega_m = \dfrac{B^2}{2\mu\mu_0} = \dfrac{\vec{B}\cdot\vec{H}}{2}(3.6e)$

• ความหนาแน่นของกระแสกระจัด (Displacement current density) : $\vec{j}_{dis} = \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}(3.6f)$

• สมการของแมกซ์เวลล์ในรูปแบบดิฟเฟอเรนเชียล : $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t}\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \rho(3.6g)$ โดยที่ $\vec{\nabla}\times$ คือเคิร์ล และ $\vec{\nabla}\cdot$ คือไดเวอร์เจนซ์

• สูตรการแปลงสนามจากกรอบอ้างอิง Σ ไปเป็นกรอบอ้างอิง Σ' ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\vec{v}_0$ เมื่อเทียบกับอับแรก : ในกรณีที่ $v_0 \ll c\, \vec{E}' = \vec{E} + \vec{v}_0 \times \vec{B}, \vec{B}' = \vec{B} - \dfrac{\vec{v}_0 \times \vec{E}}{c^2}(3.6h)$

ในกรณีทั่วไป $\vec{E}'_\parallel = \vec{E}_\parallel, \vec{B}'_\parallel = \vec{B}_\parallel \vec{E}'_\perp = \dfrac{\vec{E}_\perp + \vec{v}_0 \times \vec{B}}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}, \vec{B}'_\perp = \dfrac{\vec{B}_\perp - \frac{\vec{v}_0 \times \vec{E}}{c^2}}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}(3.6i)$

โดยที่เครื่องหมาย $\|$ และ $\perp$ แสดงถึงองค์ประกอบของสนามที่ขนานและตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกรอบ คือเวคเตอร์ $\vec{v}_0$ ตามลำดับ

3.7 การเคลื่อนที่ของอนุภาคมีประจุในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

•แรงโลเร็นตซ์ : $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$ (3.7a)

•การเคลื่อนที่เชิงสัมพัทธภาพของอนุภาค : $\frac{d}{dt}\frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} = \vec{F}$ (3.7b)

•คาบของการวนครบรอบของประจุในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ : $T = \frac{2\pi m}{qB}(3.7c)$ โดยที่ m คือมวลสัมพัทธภาพของอนุภาค, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$

•เงื่อนไขเบตาตรอน คือเงื่อนไขสำหรับอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมภายในเครื่องเร่งเบตาตรอน : $B_0 = \frac{1}{2}\langle B\rangle$ $(3.7d)$ โดยที่ B_0 คือสนามแม่เหล็กที่จุดของวงโคจร และ $\langle B\rangle$ คือค่าเฉลี่ยของสนามแม่เหล็กภายใ