

球形コンデンサーに蓄えられるエネルギー

電気容量

$$C = 4\pi \epsilon_0 \frac{ab}{b-a}$$

より、蓄えられるエネルギーは、

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{Q^2}{8\pi \epsilon_0} \frac{b-a}{ab}$$

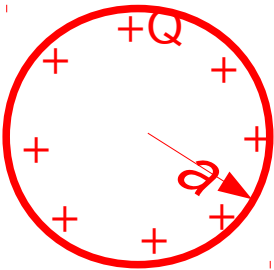
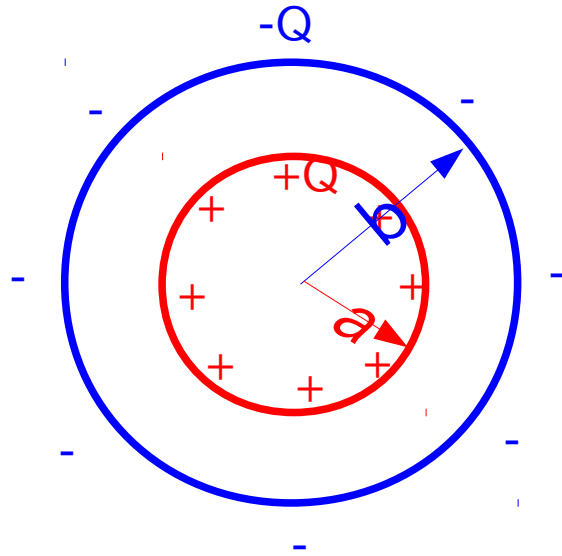
$b \rightarrow \infty$ の時、

$$U = \frac{Q^2}{8\pi \epsilon_0} \frac{1}{a}$$

電気容量も

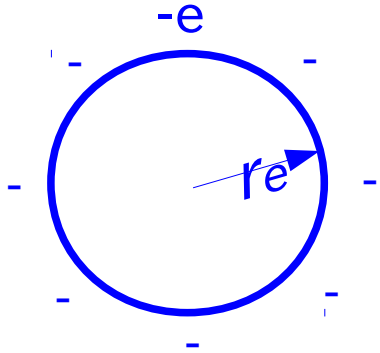
$$C = 4\pi \epsilon_0 a$$

となる。



電子の古典半径

電子が半径 r_e の球と考えると、電子の電場のエネルギーの合計は、コンデンサーとしてのエネルギーに等しい。



$$U = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0} \frac{1}{r_e}$$

これが電子の静止エネルギー (mc^2 、相対性理論より) に等しいと考えると、電子の半径として、

$$r_e = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0} \frac{1}{mc^2}$$

が得られる。これを**電子の古典半径**と呼ぶ。

物理量 : 物理的な量で、単位つきで用いられる。

古典力学で最も基本的と考えられる物理量は、

長さ(m)、時間(s)、質量(kg)

電磁気学ではこれに電荷量加わる。しかし、測定のし易さから、電流(A)が基本物理量として用いられる。(MKSA単位系)

物理量	良く使われる単位	基本単位だけで表すと
力	N(ニュートン)	kg m s^{-2}
電荷	C(クーロン)	A s
電位	V(ボルト)	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-1}$
電場の強さ	$\text{V/m} = \text{N/c}$	$\text{kg m s}^{-3} \text{A}^{-1}$
コンデンサーの容量	F(ファラッド)	$\text{kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^4 \text{A}^2$

注意 ϵ_0 もただの数でなく $8.85418782 \times 10^{-12} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3} \text{ s}^4 \text{ A}^2$
と単位つきで書かれる物理量。(良く使われる単位としては F/m)

物理量 ・物理的か量で 単位つきで用いられる

THE DEFINING CONSTANTS OF THE INTERNATIONAL SYSTEM OF UNITS

Defining constant	Symbol	Numerical value	Unit
hyperfine transition frequency of Cs	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9 192 631 770	Hz
speed of light in vacuum	c	299 792 458	m s^{-1}
Planck constant*	h	$6.626 070 15 \times 10^{-34}$	J Hz^{-1}
elementary charge*	e	$1.602 176 634 \times 10^{-19}$	C
Boltzmann constant*	k	$1.380 649 \times 10^{-23}$	J K^{-1}
Avogadro constant*	N_{A}	$6.022 140 76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
luminous efficacy	K_{cd}	683	lm W^{-1}

*These numbers are from the CODATA 2017 special adjustment. They were calculated from data available before the 1st of July 2017.

導体と不導体(誘電体)

周期表

1 H																	18 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*1	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	*2	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

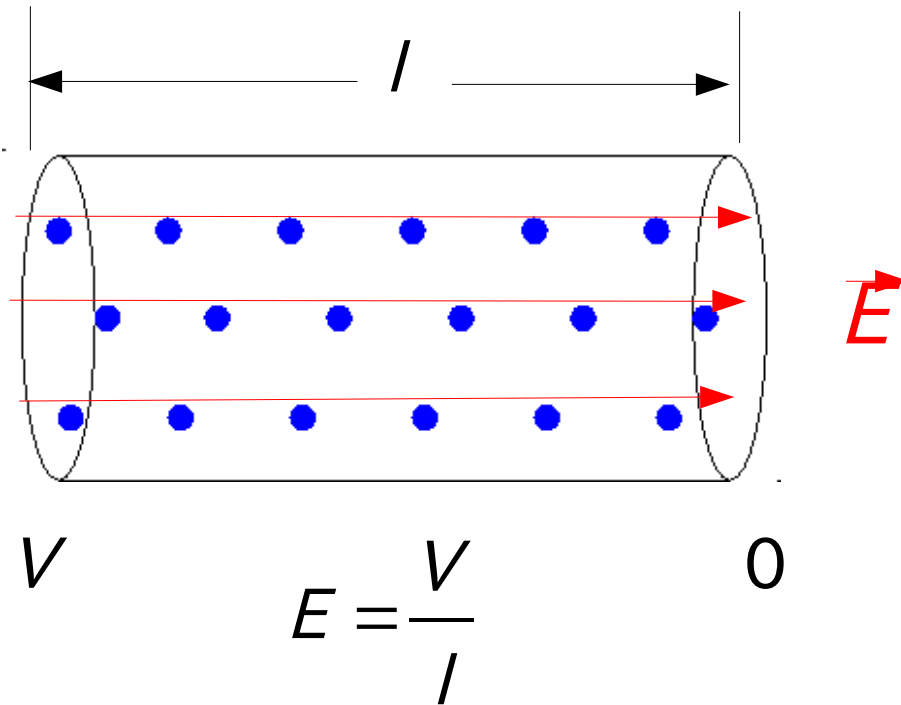
*1 ランタノイド:	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
*2 アクチノイド:	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

- 1 常温で固体
- 金属元素
- アルカリ金属
- 常温で液体
- 半金属元素
- アルカリ土類金属
- 常温で気体
- 非金属元素
- ハロゲン
- 人工元素
- 希ガス
- 遷移元素

注:ほとんどの有機化合物は不導体。

導体

電子が比較的自由に移動できる



電位差があると、内部に電場ができて電子が移動する。

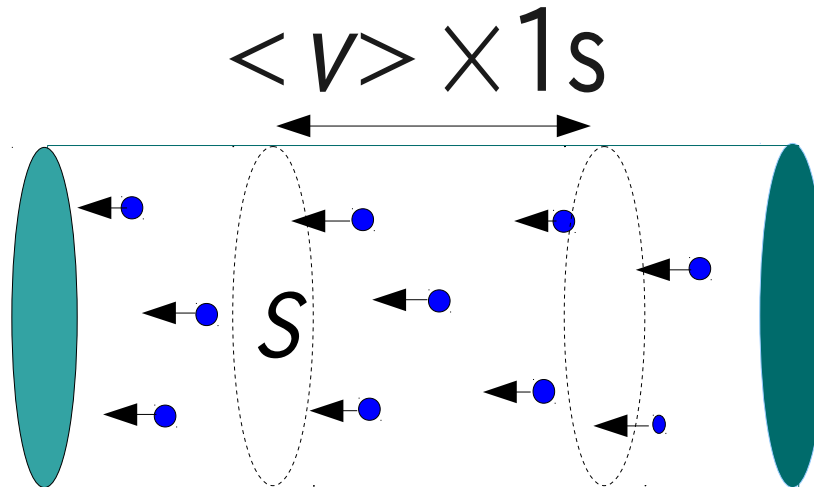
逆に言うと、**電子の移動が無い状態**では、

- 導体の内部に電場は存在しない。
- つまり、導体の電位はどこでも一定。

電流を流しつづけるためには、電位差を維持する必要
==> **起電力**(発電機、電池など)

電流

断面積



単位時間(1s)に断面を通過する電荷の量 = 体積 $[S \langle v \rangle]$ の中の移動できる電荷

(方向も考えて)

$$\vec{I} = -e\rho_e S \langle \vec{v} \rangle$$

ただし、 ρ_e は移動できる電子(自由電子)の密度

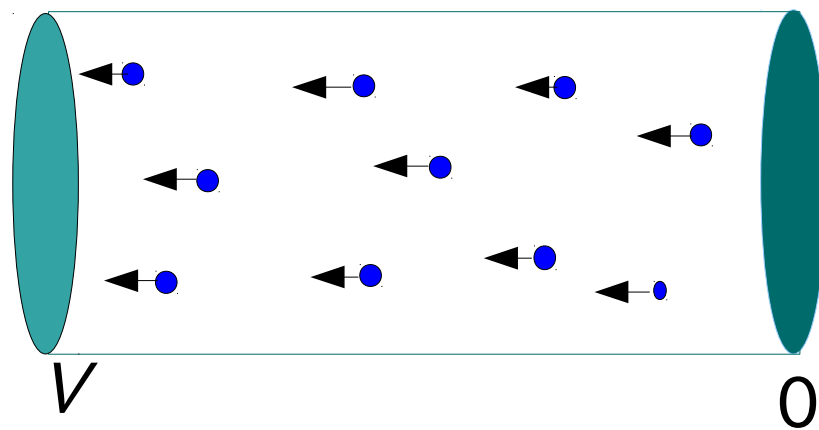
粘性抵抗(速度に比例する抵抗)を仮定すると、 $\langle \vec{v} \rangle = \alpha \vec{E}$

ここで α は導体の性質により決まる定数。

(方向を忘れて、)

$$I = e\rho_e S \cdot \alpha \frac{V}{l} = \frac{S}{l} [e\rho_e \alpha] V$$

電流が電位差に比例する



$[e\rho_e\alpha]$ は、物質の性質だけで決まり、電気伝導度と呼ばれる。

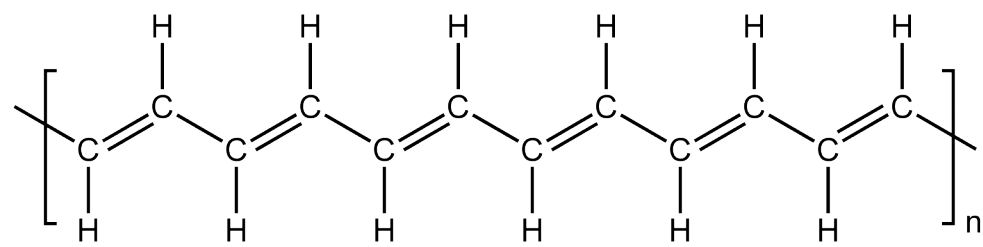
$$R \equiv \frac{l}{S[e\rho_e\alpha]} \quad \text{とおくと} \quad I = \frac{V}{R} \quad (\text{オームの法則})$$

一個の電子が、電位差 V の間を、電場からの力に従って移動すると、 eV だけ、電場による位置エネルギーを失う。粘性抵抗の中を移動したとすると、このエネルギーは熱に変化する。

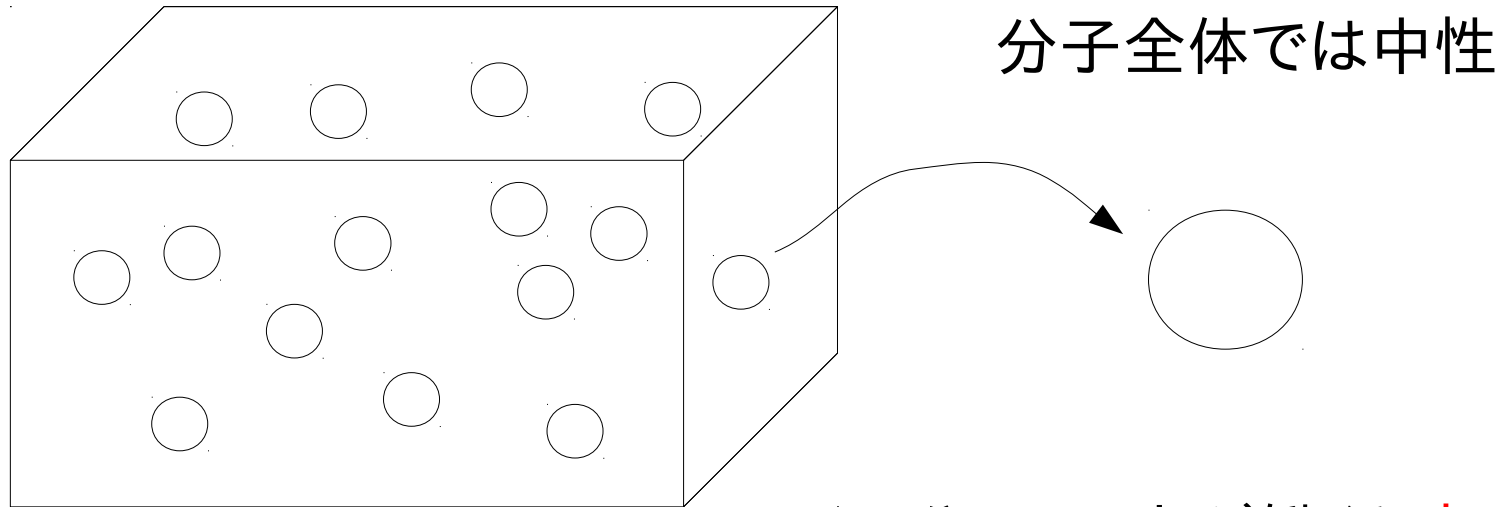
同じ電位差間を電流 I が流れている場合、毎秒 I/e 個の電子が移動するので、毎秒

$$W = eV \cdot \frac{I}{e} = V \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{V^2}{R} \quad \underline{\underline{\text{(ワットの法則)}}$$

熱が発生する。



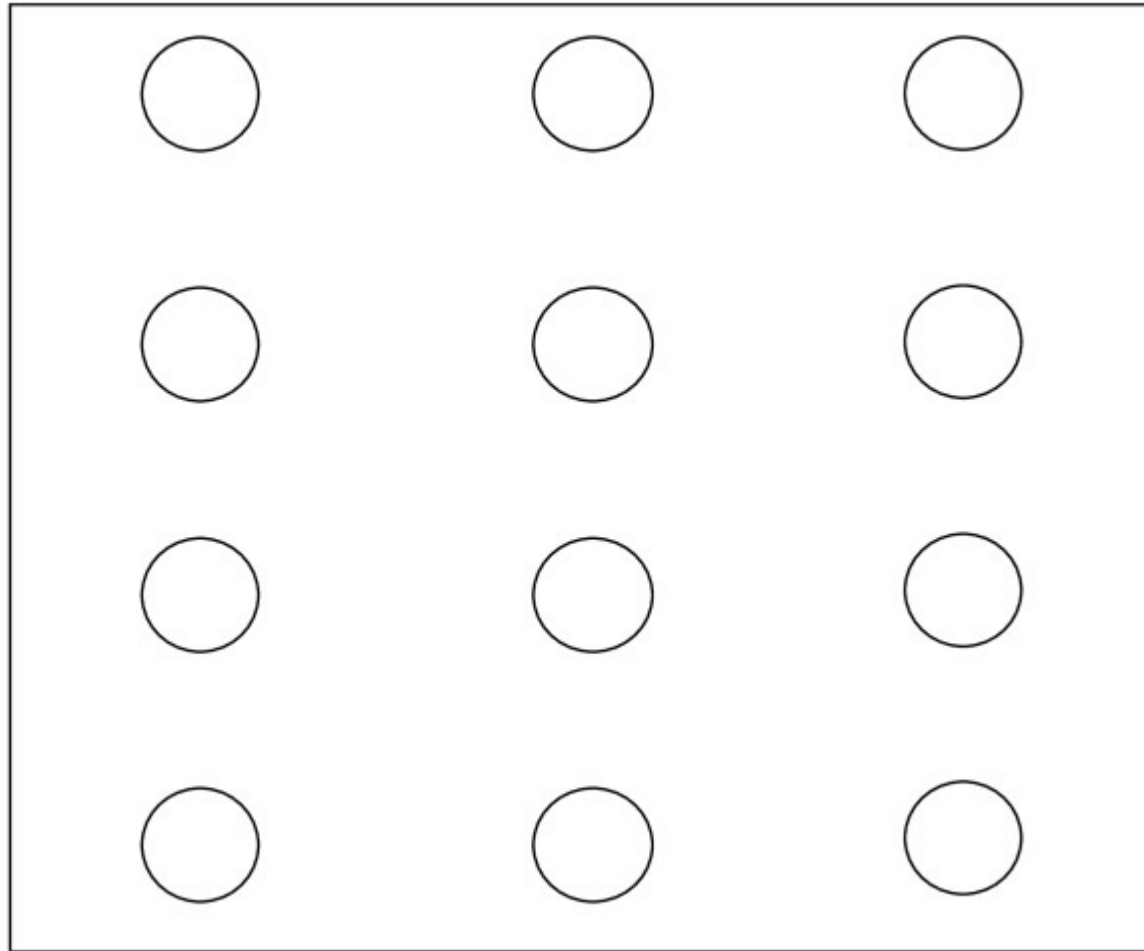
不導体=誘電体 (高分子化合物など)



1. 分子は、力が働くと**変形**する。

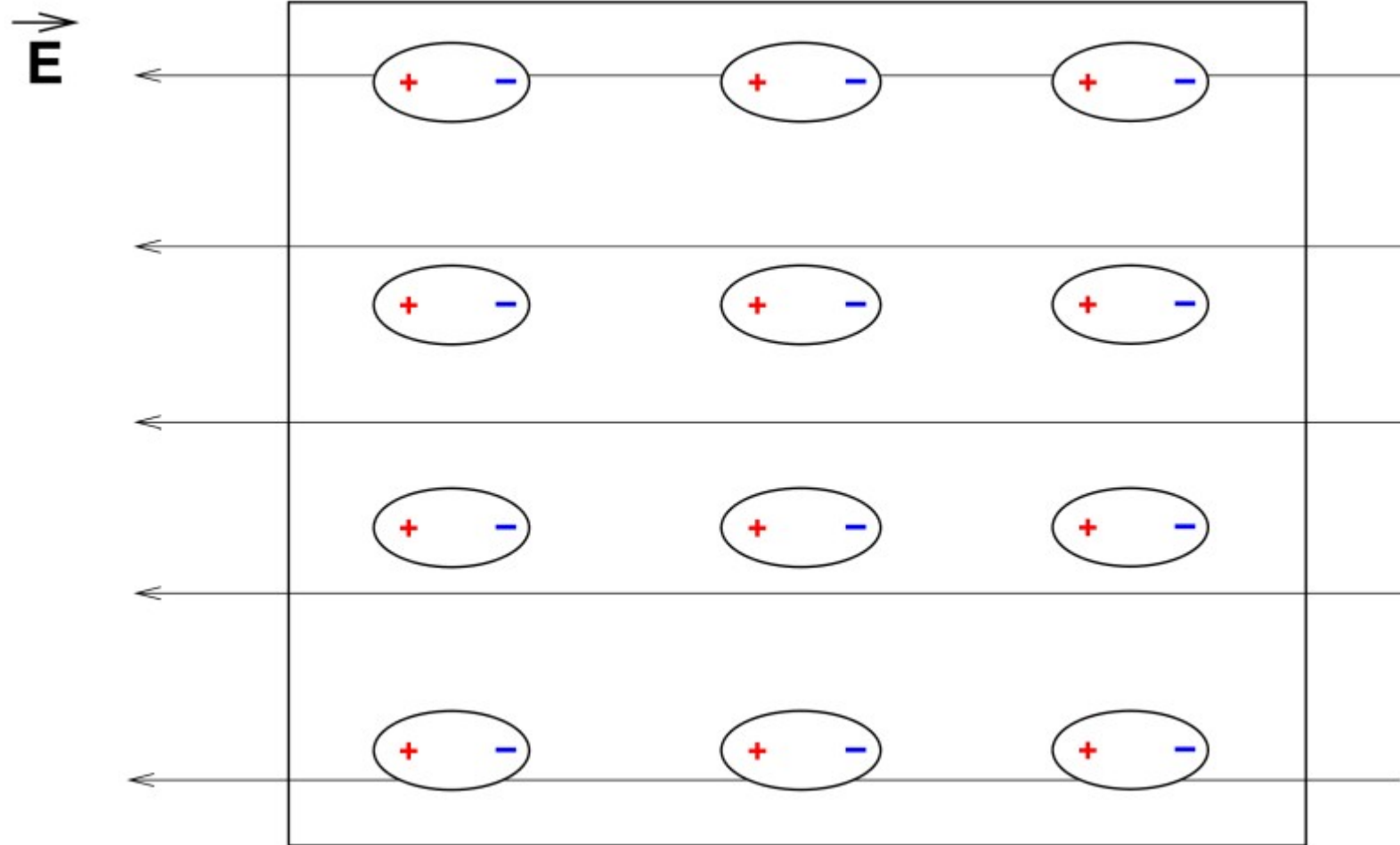
2. 電子は、分子内部では
動くことができるが、
分子の外には出られない。

電場と誘電体分子



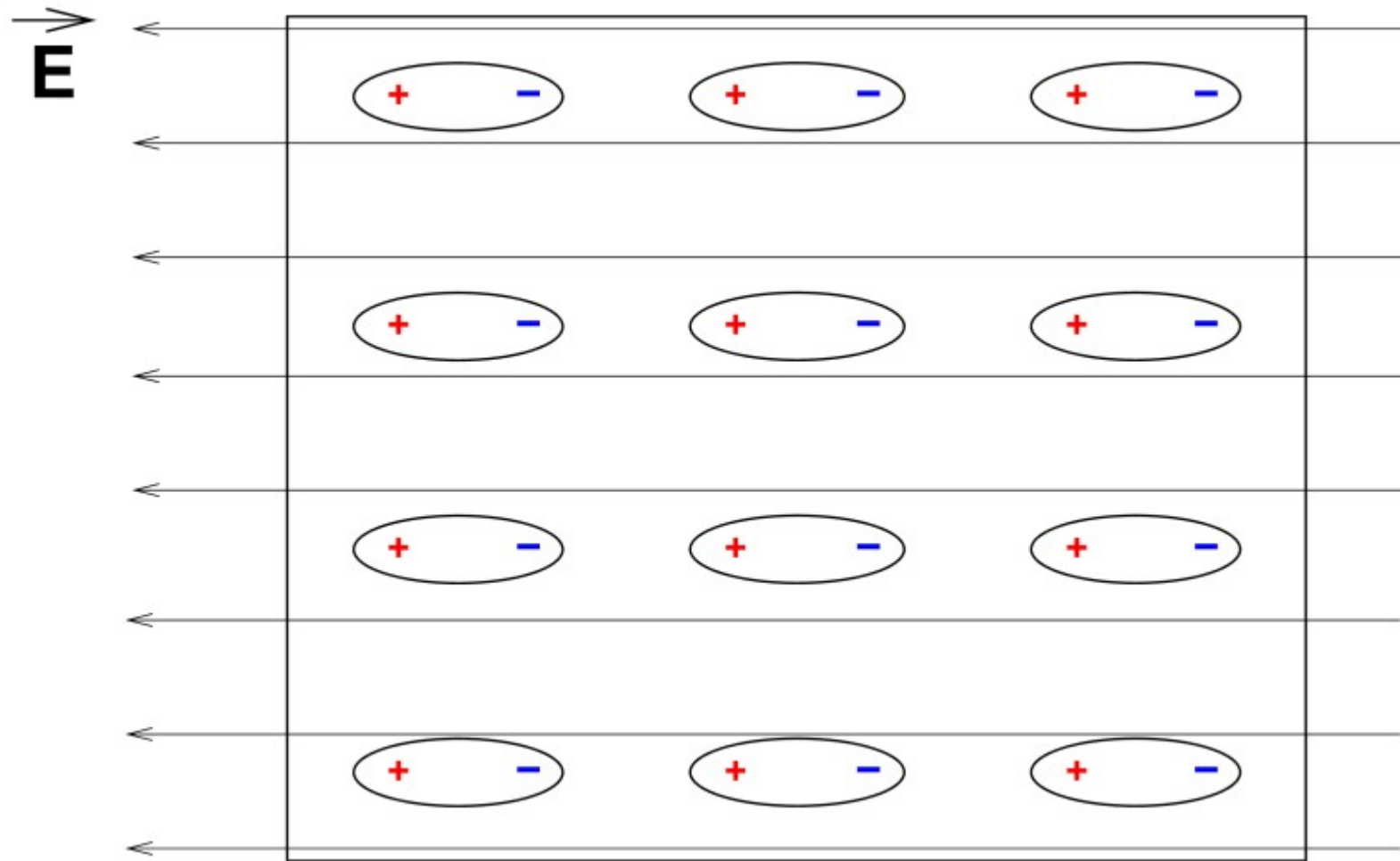
分子の中の電荷は、特に局在していない。

電場と誘電体分子



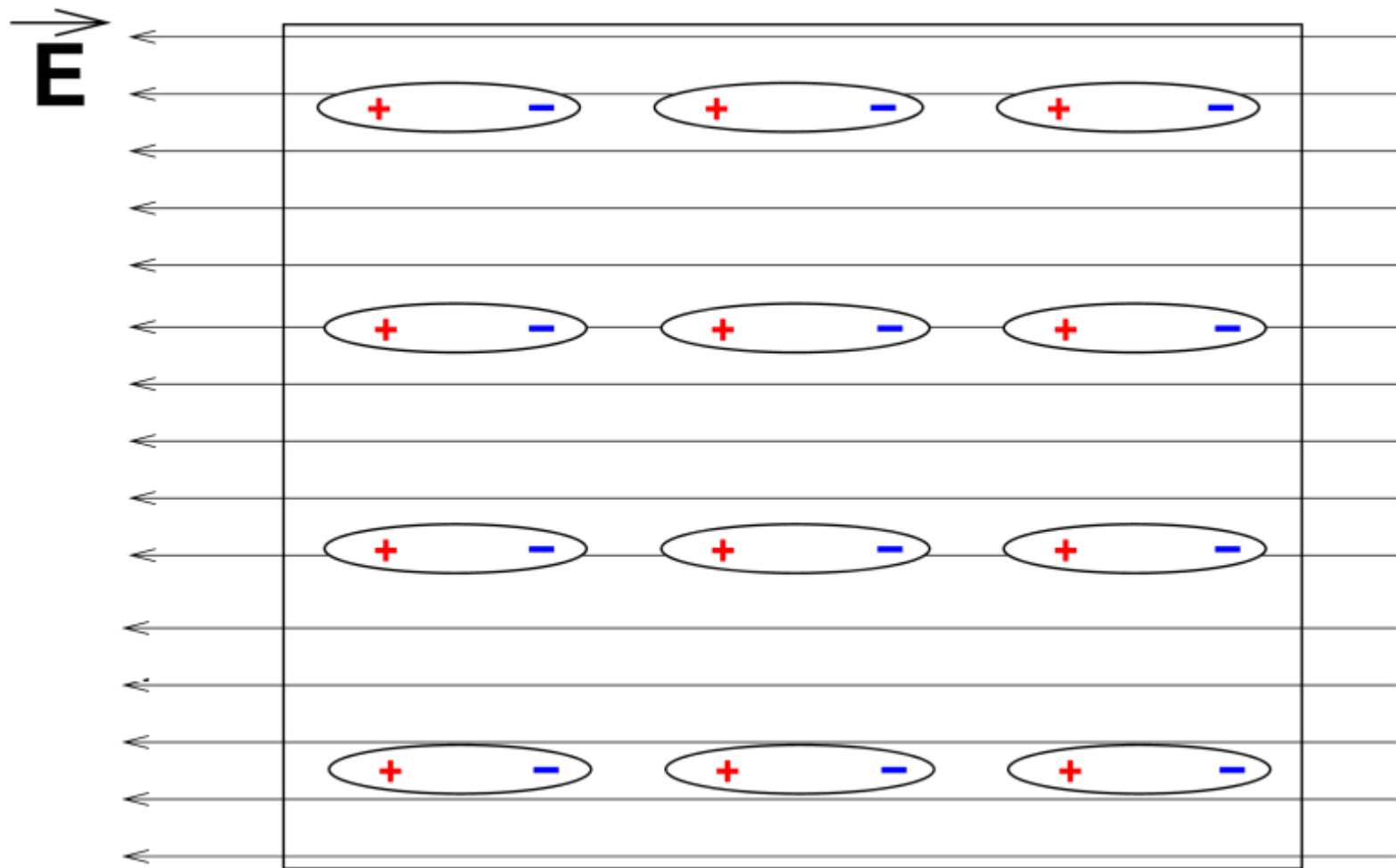
分子の中の電荷が局在しはじめる(分極)

電場と誘電体分子



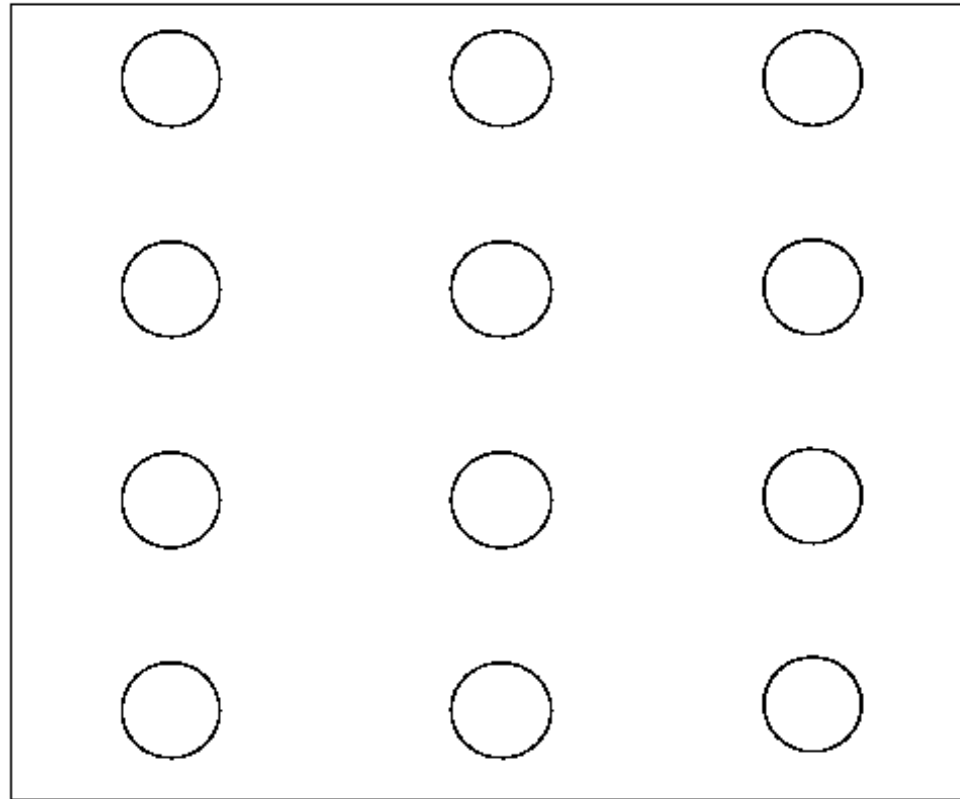
電場とともに **分極** が大きくなる。

電場と誘電体分子



さらに電場が強くなると...

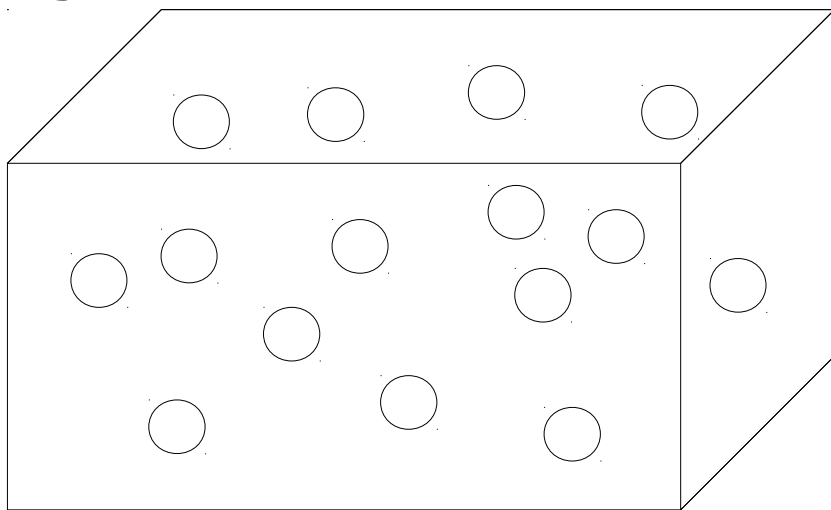
だんだん強くなってゆく電場と誘電体分子



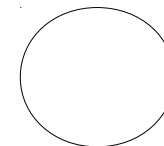
分子の中の電荷が局在する現象を分極と呼ぶ。

不導体=誘電体 (高分子化合物など)

電場が無いとき

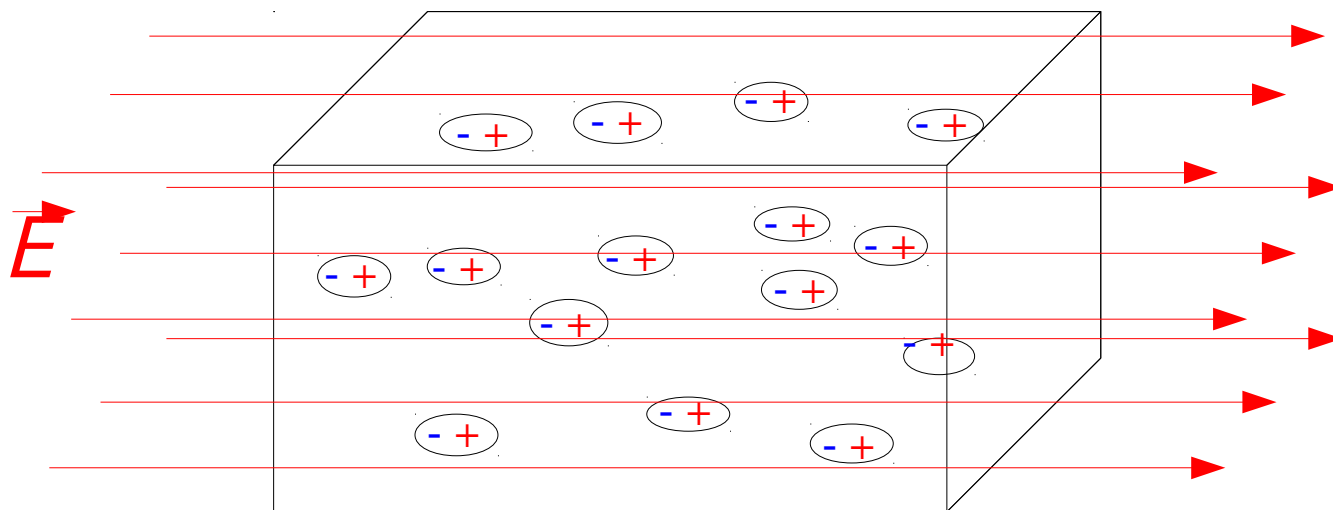


分子全体では常に中性

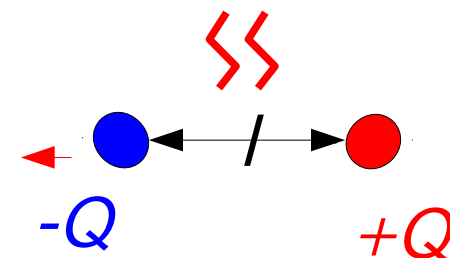
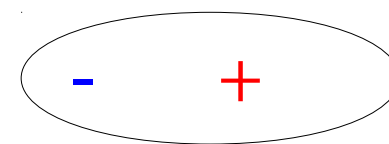


電荷の局在は無い

電場があると

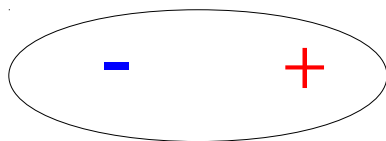


電場により分極

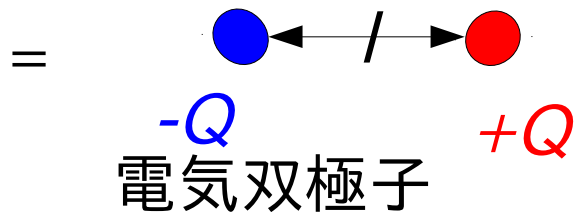


電気双極子

分極による電気双極子は外場と反対方向に電場をつくる。

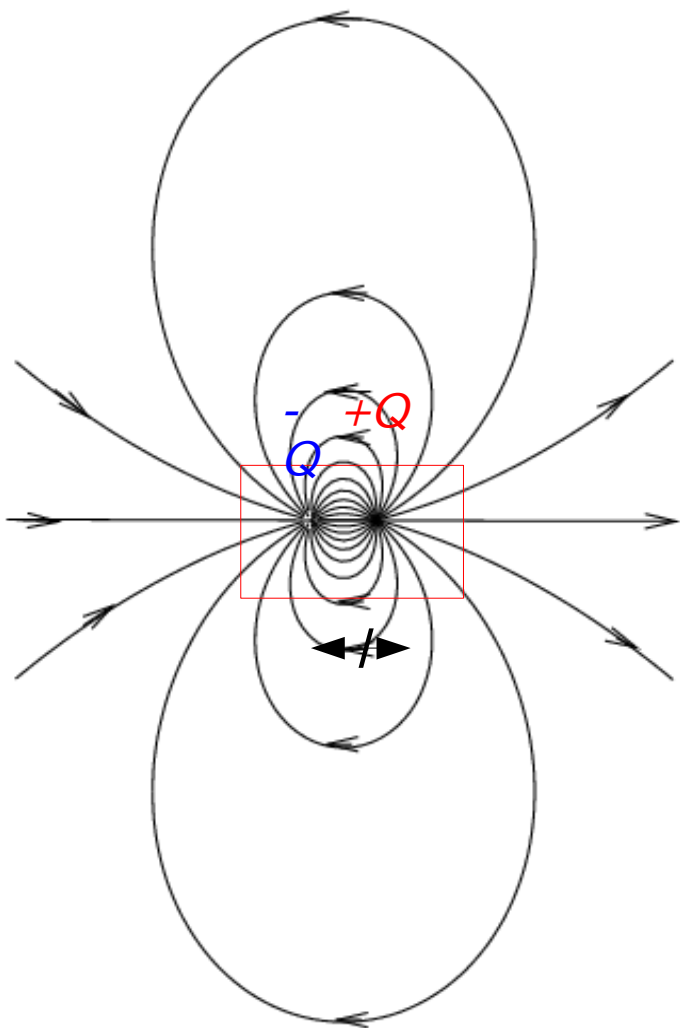


分極



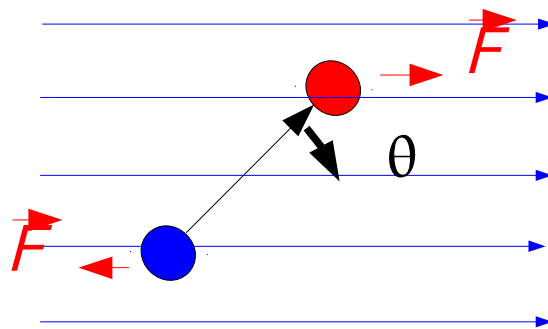
$p \equiv l \cdot Q$: 電気双極子モーメント

l を \vec{l} (負の電荷から正の電荷向かうベクトル) と置き換えることで、ベクトルとして定義することもできる。



電場の強いところ

電場の中で電気双極子に働く力は、回転力



$$N = \sin \theta \cdot l \cdot F$$

$$= E \cdot [lQ] \cdot \sin \theta$$

今日の問題: 電子の古典半径 を簡単に計算する。

$$r_e = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 mc^2} \quad \text{に、具体的な数値}$$

$$e = -1.60217653 \times 10^{-19} [A \cdot sec]$$

$$m = 9.1093826 \times 10^{-31} [kg]$$

$$\epsilon_0 = 8.85418782 \times 10^{-12} [m^{-3} kg^{-1} sec^4 A^2]$$

$$c = 2.99792458 \times 10^8 [m \cdot sec^{-1}]$$

を代入すると、

$$r_e = \frac{(1.6022 \times 10^{-19})^2}{8 \times 3.1416 \times 8.8542 \times 10^{-12} \times 9.1094 \times 10^{-31} \times (2.9979 \times 10^8)^2} \left[\frac{[A \cdot sec]^2}{[m^{-3} kg^{-1} sec^4 A^2] [kg] [m \cdot sec^{-1}]^2} \right]$$

だが、すべての数値を1桁に四捨五入して、1桁の精度で r_e を計算せよ。

