

●理解度の確認●

- 問 2.1 MKSA 有理単位系において、電荷に関するクーロンの法則の定数 α の次元式を書け。
- 問 2.2 静電容量の単位ファラド (F) を SI 基本単位で表せ。
- 問 2.3 SI 基本単位である単位 A (アンペア) の定義は、真空の透磁率 μ_0 に独立な単位を認め、その大きさを $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ と決めることと等価であることを示せ。
- 問 2.4 SI 単位において、真の値が確定している量を三つあげよ。
- 問 2.5 2018 年 11 月 16 日、国際度量衡総会は SI 基本単位の定義 (本書表 2.2 の要約を参照) を全面的に改定することを決議し、実際に 2019 年 (令和元年) 5 月 20 日に移行された。改定された七つの基本単位の新定義を読むと、本書の内容に直接関係するメートル、キログラム、秒、アンペアという四つの単位の中で、秒とメートルは、表現の変更のみで、表 2.2 の要約と本質的な違いはない。

一方、質量の単位キログラムの定義は、130 年ぶりの歴史的な大転換があった。「国際キログラム原器の質量」という人工物による定義を廃止し、プランク定数 h (29 ページおよび 154 ページ参照) の数値を定め、周波数 ν の光子 1 個のエネルギー $h\nu$ と等価なエネルギー $E = mc_0^2$ となる質量 m をもとに定義された。

電磁気計測にとって、最も関連があるアンペアも、「平行 2 線の間にくる力」に基づく定義を廃止し、電子 1 個の電荷の数値を定め、1 秒ごとに 1 クーロンの電荷を運ぶ電流を 1 アンペアと定義した。これらによって、メートル、キログラム、秒、アンペアの各基本単位の定義は普遍的な物理定数を介した相互依存性がより明確になった。

上記の基本単位の新定義から、量子電気標準は当面どのような構成となるのか考えてみよ。

(2019.5.21)

理解度の確認：解説

(1 章)

問 1.1 最初に分銅を用いてある程度の平衡（バランス）をとる。残った不平衡分の質量は、天秤の傾きにより測定する。

問 1.2

(1) 精密であるが、正確ではない例

1.234 55 V, 1.234 57 V, 1.234 52 V, 1.234 58 V, 1.234 59 V

(2) (1)よりは正確ではあるが、精密さに欠ける例

1.318 V, 1.312 V, 1.314 V, 1.317 V, 1.311 V

(3) 十分な精度を持つ例

1.315 5 V, 1.315 7 V, 1.315 8 V, 1.315 9 V, 1.315 4 V

問 1.3 式(1.9)から

$$\sigma = \sqrt{\int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \frac{1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \left(y - \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_1}{2} \right)^2 dy} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{2\sqrt{3}}$$

(2 章)

問 2.1 式(2.3)から

$$\alpha = \frac{1}{F_e} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

であり、電荷の次元を Q と書けば

$$[\alpha] = \left[\frac{T^2}{ML} \right] \left[\frac{Q^2}{L^2} \right] = [M^{-1}L^{-3}T^2Q^2]$$

問 2.2 $F = \frac{C}{V} = \frac{A \cdot s}{W/A} = m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$

問 2.3 真空中に間隔 d で平行に置かれた無限長の 2 本の直線状導体に電流 I が流れているとき、長さ l に働く力 F は

$$F = \mu_0 \frac{I^2 l}{2\pi d}$$

である。この式に、 $d = 1\text{m}$ 、 $l = 1\text{m}$ 、 $F = 2 \times 10^{-7} \text{ [N]}$ を代入すれば

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

となる。

問 2.4 真空中の光の速さ c_0 と真空の透磁率 μ_0 、及びこれら二つの値から式(2.9)により一義的に決まる真空の誘電率 ε_0 。これらの量は測定を行う必要がない。

問 2.5 今回 (2019 年) の改定によって、プランク定数 h と電子 1 個の電荷の数値 e が決定されたので、ジョセフソン電圧標準の係数 $2e/h$ の値と量子ホール抵抗の係数 h/e^2 の二つの値は、ただちに誤差（不確かさ）なしで決まる。これらの値を用いたジョセフソン電圧標準と量子ホール抵抗標準から、オームの法則により、電圧、抵抗と同程度の不確かさで電流標準が構成される。

ただし、電流の単位の定義がプランク定数および電子1個の電荷の値を介して長さ、質量、時間の単位と相互依存性があるといっても、電流標準と長さ、質量、時間の各標準との整合性・信頼性が保証されるわけではない。今後研究・開発されるであろう新しい量子電気標準、電流天秤の改善、単位の新定義に沿った「量子質量標準」などの不確かさの向上が期待される。
(2019.5.21)

(3 章)

問 3.1 駆動力と制御力だけでは、回転軸に取り付けられた指針が振動してしまうので、ブレーキをかけるため、摩擦などの制動力が必要である。制動力を付加するために、可動コイル形電流計では主として電磁制動が用いられる。

問 3.2 図 3.7 の回路において、等価内部抵抗は

$$r_e = \frac{ar\{R_A + (1-a)r\}}{R_A + r}$$

問 3.3

- (1) 等価電圧源の起電力 $V_\theta = 5 \text{ V}$ 、等価内部抵抗 $R_\theta = 1.5 \text{ k}\Omega$
- (2) 15Ω 以下であった。

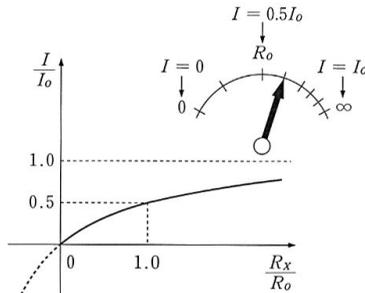
(4 章)

問 4.1 二本巻、エアトン-ペリー巻とも、磁束が打ち消し合う。二本巻のキャパシタンス分は大きくなる。エアトン-ペリー巻のキャパシタンス分は、二本巻よりも小さい。

問 4.2 図 4.6(a) の回路では、電流計の内部抵抗 R_A により電圧が実際よりも大きく測定される。図(b)の回路では、電圧計の内部抵抗 R_V により、電流が実際よりも大きく測定される。

問 4.3 電圧計の内部抵抗が十分大きければ、リード線の抵抗があっても被測定抵抗の両端の電圧が測定できる。また、電流端子側のリード線の抵抗があっても、被測定抵抗を通る電流は電流計で測定できる。

問 4.4 解図 4.4 に示す。



解図 4.4 R_X/R_0 に対する電流計の指針の振れ I/I_0

(5 章)

問 5.1 抵抗 R とリアクタンス X が直列に接続された回路を流れる電流、両端の電圧、角度 φ の関係を考えてみよ。抵抗 R は正の値である。角度 φ は 0° から 90° までとなる。

問 5.2 平均値は $2/3 \text{ V}$ であるから、指示値は

— 著者略歴 —

岩崎 俊 (いわさき たかし)
1975年 北海道大学大学院博士課程修了 (電子工学専攻)
工学博士 (北海道大学)
2008年 電気通信大学名誉教授

電磁気計測

Electric and Magnetic Metrology

©一般社団法人 電子情報通信学会 2002

2002年8月30日 初版第1刷発行
2019年8月25日 初版第21刷発行

検印省略

編者 一般社団法人
電子情報通信学会
<http://www.ieice.org/>
著者 岩崎 俊
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 壮光舎印刷株式会社
製本所 株式会社 グリーン

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10
発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)
ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-01828-8 C3355 Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。
購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。