

## 計量学の基本的諸問題

V. A. アツュコフスキー

普遍的物理不変量と国際単位系 SI の近代化に関する提案

### **ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИИ**

В.А.Ацюковский

**Всеобщие физические инварианты и  
предложения по модернизации Международной  
системы единиц СИ**

本論文では、普遍的物理不変量(物質\*, 空間及び時間)に関する検討にもとづいて、国際単位系 SI の近代化が提案されている。

\*\*\*\*\*日本語版について\*\*\*\*\*

本訳書は、「В.А.Ацюковский, Всеобщие физические инварианты и предложения по модернизации Международной системы единиц СИ, Москва, «Петит», 2004» (ISBN: 5-85101-070-3) (V.A.アツュコフスキー『普遍的物理不変量と国際単位系 SI の近代化に関する提案』, モスクワ, «Petit», 2004) のロシア語原文からの全訳である。原文 (PDF 版) は下記のサイトで入手することができる。

著者： ウラジーミル・アキモヴィッチ・アツュコフスキー (Владимир Акимович Ацюковский, Vladimir Akimovich Atsukovsky)

著者の経歴： 下記のサイトに掲載されている V. A. アツュコフスキー『相対性理論の基礎に関する批判的分析』(第2版, 2012) の「付録 著者の研究業績」を参照されたい。

訳者：吉田 正友 (サイト「物理の旅の道すがら」 <http://naturalscience.world.coocan.jp>)  
日本語版公開：2022年6月

\*訳文中における「物質\*」については末尾の〔訳注〕を参照されたい。

\*本論文における研究の継続・発展として書かれた S.V.パンチュホフ『A ガスと物理量の分類システム』(LIBROKOM 出版社, 2013) の邦訳が上記のサイトに掲載されている。

## 計量学の基本的諸問題

V. A. アツェコフスキー

### 普遍的物理不変量と国際単位系 SI の近代化に関する提案

周知のように、科学の発展過程において様々な単位系が創出されてきた。現在、実践による幅広い検証と国際的承認を得た、最も便利な単位系は国際単位系 SI である [1, 2]。諸量の実践的な計算において大きな便利さをもたらしているこの単位系の長所は、その普遍性 (科学技術のすべての領域を包摂していること)、統一性 (すなわち、比例係数を含んでおらず、そこには比例係数がまったく存在しない方程式にもとづいて作られる組立単位同士が整合していること) およびすべての次元の指数の値の整数性である。SI 単位系は、この整数性という点で、つい最近まで電気工学の実践の場で採用されていた CGS 静電単位系、CGS 電磁単位系およびガウス単位系とは異なっており、これが利点となっている。後者の 3 つの単位系においては、誘電率あるいは透磁率が抽象的な無次元の単位とみなされ、このことがそれらから物理的意味を奪っていた。これらの単位系においては、すべての電気工学的量において、例えば  $g^{1/2}$  あるいは  $cm^{3/2}$  といった分数の指数が現れている。これにはいかなる物理的意味もない。

SI 単位系の便利さにもかかわらず、質量、長さ (空間的延長) および時間のみが現れている力学量が任意の組立量の物理的本質を容易に理解することを可能にしているのに対し、アンペア、カンデラ、ケルビンおよびモルといった基本単位においては、それらの物理的意味を直接的に見て取ることはできない。それゆえ、これら 4 つの量が基本量のリストに含まれていることはどれだけ正当なのか、また、これらの量の物理的本質を突きとめ、さらにそれを通じて、これらの量から組み立てられるすべての量の物理的本質を突きとめようと試みることは正しいのかという疑問が生じてくる。

他のすべての物理量にとっての出発点となる基本量の構成の決定に際して恣意が存在しないようにするためには、基本量の選択は、普遍的物理不変量、すなわち、絶対的にすべての物理的な構造、現象および過程に内在しているカテゴリーにもとづいて行う必要がある。そのようなカテゴリーであるのは、[SI 単位系における] 7 つのカテゴリーではなく、3 つのカテゴリー、すなわち物質\*、空間および時間であることを見て取るのは難しいことではない。なぜなら、すべての物体と構造は物質\*的であり、それらすべては共通の空間の中に存在し、すべての現象と過程は時間の中で進行しているからである。ここには例外はない。それゆえ、これらの量——物質\*量の尺度としての質量、空間の尺度としての長さおよび時間——が他のすべての物理量にとっての出発点となる基本量となることができ、ならなければならない。アンペア (電流の強さの尺度)、カンデラ (光度の尺度)、ケルビン (温度の尺度) およびモル (物質の単位量の尺度) といった量は普遍的量ではなく、それゆえ、基本量から除かれ、組立量の部類に移されなければならない。しかし、そのためには、それらの量の物理的本質を解明し、その本質に従い、基本単位で表されるそれらの量の次元を突きとめる必要がある。

SI 単位系には、平面角 (ラジアン) と立体角 (ステラジアン) という補助的な無次元量も存在している。しかし、空間は 3 次元であること、また 3 つのすべての測定量の単位ベクトルは互いに対して垂直であることを考慮すると、ここでもまた、相異なる方向に配置されている長さの不当な簡約が生じており、このことがラジアンとステラジアンは無次元であるという理解をもたらしている。すべての測定単位の見直しを、まさにこれらの量から始めよう。

## 補助単位：平面角（ラジアン）と立体角（ステラジアン）

SI 単位系においては、ラジアンは無次元量となっている。これは、ラジアンの本質は、円の半径の長さに対する円弧（円周の一部）の長さの比であるという理由によって、実際には、それはまったく無次元量ではない。なぜなら、円弧と半径の方向を示している単位ベクトルは互いに対して垂直であり、したがって簡約されることはできないからである。それゆえ、測定単位としてのラジアンは、

$$[\text{rad}] = L_\varphi/L_R \quad (1)$$

と書き表されなければならない。ここでは、スケール $L_\varphi$ と $L_R$ は任意の単位系において同じであることが念頭におかれている。

SI 単位系においては、ステラジアンも無次元量となっている。これは、ステラジアンの本質は、球の全表面積に対する球の表面積の一部の比であるという理由によって、まさにそれゆえに、球面が占める全角は $4\pi$ となっている。しかし、球の表面積の表式

$$S = 4\pi R^2 \quad (2)$$

には半径 $R$ が現れているのだから、ステラジアンが掃く面積の表式には、その表面を掃く円弧の長さによって決定される面積部分が存在している。それらの円弧は、互いに垂直な $\varphi$ と $\theta$ の方向に横たわっている。それゆえ、ステラジアンの表式は

$$[\text{sr}] = L_\varphi L_\theta/L_R^2 \quad (3)$$

でなければならない。こうして、これら 2 つの補助単位（ラジアンとステラジアン）は補助単位から組立単位に移行する。

## アンペア

かつて J.C.マクスウェルはその有名な方程式を導出するため、エーテルにもとづいたモデル的理解を利用した。彼はエーテルを非圧縮性の理想液体として理解していた [3]。この路線を継続する試みが筆者によってなされた。ただし、筆者は、エーテルは粘性と圧縮性を持つ気体であるという理解を基礎として採用した [4]。荷電粒子の最良の気体力学的アナロジーは、自分の周りにエーテルらせん流を励起している高密度化した気体らせんトロイドであることが判明した。荷電粒子の磁気相互作用および電気相互作用とそのような 2 つのトロイドとの比較は、荷電粒子の磁場の類似物はエーテルのらせん運動のトロイダル成分であり、電場の類似物は円周成分であることを示した。極性の類似物はらせん運動の符号（右巻きか左巻きか）、すなわちトロイダル運動に対する円周運動の配向である。

この場合、電場の単位体積当たりのエネルギー

$$w_e = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}, \text{J/m}^3 \quad (4)$$

とエーテル流の単位体積当たりのエネルギー

$$w_{et} = \frac{\rho_0 v_c^2}{2}, \text{J/m}^3 \quad (5)$$

とを比較することは正当であることが判明した。

これらの表式から出発し、2 つの表式における真空の誘電率 $\epsilon_0$ とエーテルの密度 $\rho_0$ は 1 乗であり、電場強度 $E$ とエーテルの円周運動の流れの速度 $v_c$ は 2 乗であることを考慮すると、次の対応関係が現れる。

$$\varepsilon_0, \text{F/m} = \rho_0, \text{kg/m}^3; E, \text{V/m} = v_c, \text{m/s} \quad (6)$$

これにもとづき、電荷量 $q$ は

$$q = \rho_0 v_c S, \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (7)$$

(ここで $S$ は粒子の表面積,  $\text{m}^2$ ) であることが判明する。

こうして、電荷の次元は

$$[q] = \text{M} \cdot \text{T}^{-1} \quad (8)$$

となる。電流の強さの単位であるアンペアは

$$I = \partial q / \partial t, \text{A} \quad (9)$$

あるいは

$$\text{A} = \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \quad (10)$$

と定義される。こうして、電流の強さの次元は

$$[\text{A}] = \text{M} \cdot \text{T}^{-2} \quad (11)$$

となる。

現実世界の普遍的不変量は物質\*, 空間および時間のみであり, MKS 単位系におけるそれらの単位はそれぞれキログラム, メートルおよび秒であることを考慮すると, MKSA 単位系を MKS 単位系に帰着させる可能性が現れ, これによって電磁気現象のモデル化のために力学的アナロジーをさらに発展させる可能性を示すことができる (表1)。

すべての電気量と磁気量の MKS 単位系への帰着は, 電気量と磁気量のエーテル動力学的モデル化を引き続き発展させることを可能にする。その発展は既に筆者によって [4] において部分的に行われており, これにもとづいていくつかの実験の設定に関する理解が生まれている。

## ケルビン

周知のように, 温度とは物質の熱エネルギーの尺度である。気体の場合, 温度は次の関係式によって定義される。

$$T = \frac{mv^2}{3k} \quad (12)$$

ここで $T$ はケルビンでの気体の温度;  $m$ はキログラムでの気体分子の質量;  $v$ は気体分子の熱速度;  $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ はボルツマン定数である。

したがって, 表式(12)は次のように書き換えることができる。

$$T = k_T mv^2 \quad (13)$$

ここで $k_T$ はケルビン温度の選ばれたスケールの場合における比例係数であるにすぎない。温度の物理的本質はジュールあるいは $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ で表されたエネルギーである。こうして, ケルビンは

$$[\text{K}] = \text{M} \cdot \text{L}^2 \cdot \text{T}^{-2} \quad (14)$$

と書き表されるべき理由を持っており, 温度の測定単位は

$$[K] = k_T \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \quad (15)$$

となる。

ここで比例係数は選ばれた測定単位に依存することになる。メートル単位系およびケルビン温度スケールの場合には、比例係数は

$$k_T = 1/3k = 2.41546 \cdot 10^{22} \text{ K} \cdot \text{J}^{-1} \quad (16)$$

となる。それ以外の単位系と温度スケールの場合には、比例係数は異なる値を持つことになる。

非SI単位であるカロリーは、既に今日、エネルギー単位であるジュールと直接的な関係を持っている。すなわち、

$$1 \text{ cal} = k_c \cdot 1\text{J} \quad (17)$$

$k_c = 4.1868$  (国際蒸気表カロリーの場合)

$k_c = 4.1840$  (熱化学カロリーの場合)

MKS 単位系における主な熱力学の単位を表 2 に示す。

### カンデラ

周知のように、カンデラとは光度の単位である。以前、光度は燭光で表されていた。[6] においては、カンデラとステラジアン積である 1 ルーメン、すなわち

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \times 1 \text{ sr} \quad (18)$$

の光束に対しては、波長  $0.555 \mu\text{m}$  のときの仕事率 (パワー) である  $0.0016 \text{ W}$  という値が対応していることが示されている。一般的な場合には、この大きさは波長に応じて変化することができるが、しかしすべての場合において、ルーメンで表された光束の値に対しては、定義されている仕事率 (パワー) が対応している。したがってステラジアンが無次元であることを考慮すると、

$$[\text{cd}] = \text{M} \cdot \text{L}^2 \cdot \text{T}^{-3} \quad (19)$$

が得られる。MKS 単位系においては、光度の単位であるカンデラは

$$1 \text{ cd} = k_c \text{ W} = k_c \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \quad (20)$$

となる。

波長  $0.555 \mu\text{m}$  の場合、 $k_c$  の大きさは  $k_c = 0.0016/\text{sr}$  である。

MKS 単位系における主な光工学の単位を表 3 に示す。

### モル

周知のように、モルとは物質質量、すなわち物理系に含まれている同じ構造要素 (原子、分子、イオンその他の粒子) の個数によって評価される量の単位である [7]。モルは、質量  $0.012 \text{ kg}$  の炭素核種  $^{12}\text{C}$  中に含まれる原子と同じ数の構造要素 (粒子) を含んでいる系中における物質の構造要素の個数と等しく、アボガドロ数

$$N_A = 6.02252 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad (21)$$

と等しい。

このように、モルは、約束事として単位として取られた、構造の単位 (粒子) の数なのである (千、百万、等々といった数とそのアナロジーとなる)。

任意の構造の単位の数単位は「個」であるから、モルで表されたこの単位は次のようになる。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 個} &= N_A^{-1} \text{ mol} = (6.02252 \cdot 10^{23})^{-1} = \\ &= 1.6604345 \cdot 10^{-24} \text{ mol} = k_m \end{aligned} \quad (22)$$

「個」という単語を英語の«piece»から取った文字«P»で表すのが適当である。こうして、精緻化された MKS 単位系は英語では MKSP 単位系と表されることになる。

MKS 単位系における物質量に関する主な単位を表 4 に示す。

単位の精緻化および測定系のさらなる発展に関するこの提案は、実際上の計算において SI 単位系を厳格に変更する必要があるということの意味しない。しかし、この提案は、一連の場合において、用いられる量の物理的本質に関する理解を本質的に精緻化することを可能とする。

## 例

次元から出発することにより、いくつかの電磁気量の物理的本質に関するいくつかの有益な結論を下すことができる。

導体に沿って流れる電流の大きさは次のようになる。

$$I = eNSv_q = edn/dt = dq/dt \quad (23)$$

ここで  $e$  は電子の電荷であり、 $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  と等しい；  $N$  は導体の単位体積中の電子数；  $S$  は導体の断面積；  $v_q$  は導体の軸に沿った電子の変位速度；  $n$  は導体の断面を通過する電荷  $q$  の中における電子数である。

断面積  $S_{\text{con}}$  の導体に沿った電子の移動速度  $v_{\text{con}}$  は次式によって決定される。

$$v_{\text{con}} = \frac{I}{eNS_{\text{con}}} \quad (24)$$

普通そうされているように、導体中の電子数  $N$  を金属の原子数と等しいとすると、単位体積中にはおよそ  $10^{30} \text{ m}^{-3}$  個の電子が含まれていることになる。したがって電子間の平均距離は  $d = 10^{-10} \text{ m}$  であり、導体の断面積が  $S_{\text{con}} = 1 \text{ mm}^2$  のとき、導体の横断面内には  $n_S = 10^{14}$  個の電子が含まれることになる。これは次の電荷に相当する。

$$q_{\text{cross}} = n_S \cdot e = 10^{14} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 1.6 \cdot 10^{-5} \text{ C} \quad (25)$$

1 A の電流のとき、導体の横断面を 1 秒間に 1 C の電荷が通過しなければならない、したがって  $6.25 \cdot 10^4$  個の電荷  $q_{\text{cross}}$  が通過しなければならない。電子間の距離  $d$  が  $10^{-10} \text{ m}$  であることを考慮すると、導体に沿った電子の平均移動速度

$$v_{\text{con}} = dq_{\text{cross}} = 10^{-10} \cdot 6.25 \cdot 10^4 = 6.25 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \quad (26)$$

が得られる。

磁場の比エネルギーに関する表式より次式が得られる。

$$w_m = \frac{\mu_0 H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0} = \frac{\epsilon_0 c^2 B^2}{2} = \frac{\rho_0 (Bc)^2}{2}, \text{ J/m}^3 \quad (27)$$

ここで  $\mu_0$  は真空の透磁率；  $H$  は磁場強度；  $B$  は磁束密度；  $\epsilon_0$  は真空の誘電率；  $\rho_0$  は真空中のエーテル密度；  $c$  は光速である。これより、磁束密度  $B$  は正式には無次元でなければならないことがただちに分かる。実際には、表式  $Bc$  とはエーテル流の速度  $v_f$  (磁場の構造中におけるエーテル細流の運動速度) なのである。このように、磁束密

度という量は、光速度、すなわち電磁場の伝播速度に対するエーテル流の速度の比

$$B = \frac{v_m}{c}, m_{xy}/m_z \quad (28)$$

なのである。

磁束密度はけっして無次元ではなく、光速度、すなわちエーテル中における方向  $z$  の第 2 音速度に対する平面  $xy$  中におけるエーテル流の速度の比なのである。これら 2 つの速度は互いに垂直であるから、それらを次元について簡約してはならない。

このように、**磁束密度の物理的本質は、光速度に対する割合で表されたエーテル流の速度である。**

磁場強度は

$$H = B/\mu_0 \quad (29)$$

であるから、

$$H = v_m/\mu_0 c = \rho_{et} v_m c \quad (30)$$

が得られる。

これより、**磁場強度の物理的本質は、磁場の構造中におけるエーテル密度の並進速度、すなわちエーテルの比運動量であることが分かる。**

得られた表式より、磁場強度の値  $1 \text{ A/m}$  に対応する、磁場構造中におけるエーテル流の速度を決定することができる。すなわち、

$$v_m = H/\rho_{et} c = 1/8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 10^8 = 376.65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (31)$$

大きさが  $1 \text{ T}$  の磁束密度の値に対しては、次式における光速度に対するエーテル流の速度の比が対応している。

$$B = \mu_0 H = 4\pi 10^{-7} = 1.256 \cdot 10^6 \text{ m}_{xy}/\text{m}_z \quad (32)$$

断面積  $1 \text{ mm}^2$  の導体は半径  $r_{con} = 0.564 \text{ mm}$  を持っているので、導体を  $1 \text{ A}$  の電流が流れると導体の表面上に磁場が現れ、その強度は次のようになる。

$$H = \frac{i}{2\pi r_{con}} = \frac{10^3}{2\pi \cdot 0.564} = 282 \text{ A/m} \quad (33)$$

これは  $1.06215 \cdot 10^5 \text{ m/s} = 106.215 \text{ km/s}$  という速度に対応している。

これより、 $1 \text{ A}$  の電流のとき、速度  $6.25 \text{ } \mu\text{m/s}$  での電子の移動は、導体の外部空間中における磁場の出現の原因にはけっしてなり得ないことがただちに分かる。磁場中におけるエーテル流の速度はそれより  $10$  桁以上大きい値となっているからである。このように、電気工学的量を単一の MKS 単位系に帰着させることは、電気工学的量のメカニズムに注意を払うことを余儀なくさせる。

以上に述べたことから、導体に沿った電子の運動は随伴現象であることが分かる。磁場の出現の原因は、それと同じ電子のそれとは別の運動のうちに見出されなければならない。電子には、導体に沿った並進運動の他には、さらにもう  $1$  つの運動——電子の軸の方向転換、すなわち導体に沿ったスピンの配向——しかなく、それ以外の運動は存在しない。

すべての電子は、それらがそれまでいかなる姿勢にあったとしても、電場の作用の下で、導体の軸上へのそれらのスピンの射影のある共通の成分が形成されるように、自分の軸を方向転換させる。導体表面の任意の領域との関係において、電子のうちの半数はその表面の方を向き、残りの半数はその反対側の表面の方を向いた状態となる。

それゆえ、各電子対から出る循環が全循環 [total circulation] を与え、全循環の軸は導体に沿って配向されることになる。

電子の表面上におけるエーテルの円周運動速度は

$$v_c = 1.64 \cdot 10^{24} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (34)$$

である [4, 312 頁] (相対性理論によって課された制限は考慮されない。なぜなら、それらの制限にはいかなる根拠もないからである)。

導体中のすべての電子が  $1.8 \cdot 10^{-14}$  rad の角度だけ方向転換し、また磁場中におけるエーテル流の計算速度が確保されるためには、上記の速度で十分である。

このように、通電中の導体の周りにおける磁場の出現の原因は、導体に沿った電子の移動ではなく、すべての電子に共通する方向への電子のスピン方向転換なのである。この事実は、もし電磁気量の次元の MKS 単位系への変換がなされなかったならば、突きとめられなかったはずである。

## 文献

1. **Burdun G.D.** 『国際単位系便覧』, モスクワ, 1971.
2. **Shirokov K.P.** 「国際単位系」, 『ソビエト大百科事典』, 第 3 版, モスクワ, ソビエト百科事典, 1974, 第 15 巻, 595 頁.
3. **Maxwell J.C.** A treatise on electricity and magnetism, v. 1-2. Oxf. 1873. ロシア語訳 : **Maxwell J.C.** 『電磁場理論に関する諸章選集』, モスクワ, 国営技術理論文献出版社, 1952 ; 同 『電気磁気論』, モスクワ, Nauka, 1973.
4. **Atsukovsky V.A.** 『一般エーテル動力学. 気体状エーテルに関する理解にもとづく物質と場の構造のモデル化』, モスクワ, Energoatomizdat, 1990. 同第 2 版, モスクワ, Energoatomizdat, 2003.
5. **Atsukovsky V.A.** 『電磁気と電磁気現象の物理的基礎. エーテル動力学的解釈』, モスクワ, URSS 出版社, 2001, 307~309 頁.
6. **Godzhaev N.M.** 『光学』, モスクワ, Vysshaya shkola, 1977, 14~17 頁.
7. 「モル」, 『ソビエト大百科事典』, 第 3 版, モスクワ, ソビエト百科事典, 1974, 第 16 巻, 489 頁.



表 1. MKSA 単位系の MKS 単位系への変換

量	現行 SI 単位系 での単位の名称	記号	MKSA 単位系 での測定単位*	MKS 単位系 での次元	MKS 単位系 での測定単位
仕事, エネルギー	ジュール	J	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}/\text{s}^2$	$\text{ML}^2\text{T}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
仕事率 (パワー), 電力	ワット	W	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}/\text{s}^3$	$\text{ML}^2\text{T}^{-3}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$
電気量 (電荷)	クーロン	C	$\text{A} \cdot \text{s}$	$\text{MT}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
電流の強さ	アンペア	A	A	$\text{MT}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
電気変位 (電束密度) の 流れ	クーロン	C	$\text{A} \cdot \text{s}$	$\text{ML}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
電気変位 (電束密度)	クーロン毎平方メートル	$\text{C}/\text{m}^2$	$\text{A} \cdot \text{s}/\text{m}^2$	$\text{ML}^2\text{T}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
電圧, 電位差, 起電力	ボルト	V	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}/\text{A} \cdot \text{s}^3$	$\text{L}^2\text{T}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
電気容量	ファラド	F	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4/\text{m}^2 \cdot \text{kg}$	$\text{ML}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
電気モーメント	—	$\text{C} \cdot \text{m}$	$\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{m}$	$\text{MLT}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
分極ベクトル (分極強度)	—	$\text{C}/\text{m}^2$	$\text{A} \cdot \text{s}/\text{m}^2$	$\text{ML}^2\text{T}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
誘電率	ファラド毎メートル	$\text{F}/\text{m}$	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4/\text{m}^3 \cdot \text{kg}$	$\text{ML}^{-3}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
電場強度	ボルト毎メートル	$\text{V}/\text{m}$	$\text{m} \cdot \text{kg}/\text{A} \cdot \text{s}^3$	$\text{LT}^{-1}$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
電気抵抗	オーム	$\Omega$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}/\text{A}^2 \cdot \text{s}^3$	$\text{M}^{-1}\text{L}^2\text{T}$	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}$
比電気抵抗	—	$\Omega \cdot \text{m}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}/\text{A}^2 \cdot \text{s}^3$	$\text{ML}^3\text{T}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
比電気伝導率	—	$1/\Omega \cdot \text{m}$	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^3/\text{m}^3 \cdot \text{kg}$	$\text{M}^{-1}\text{L}^{-3}\text{T}^2$	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^2$
イオン移動度	—	$\text{m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{A} \cdot \text{s}^2/\text{kg}$	—	—
磁束	ウェーバー	Wb	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}/\text{A} \cdot \text{s}^2$	$\text{L}^2$	$\text{m}^2$
磁束密度	テスラ	T	$\text{kg}/\text{A} \cdot \text{s}^2$	$\text{L}_{xy}/\text{L}_z$	$\text{m}_{xy}/\text{m}_z$
磁気モーメント	—	$\text{A} \cdot \text{m}^2$	$\text{A} \cdot \text{m}^2$	$\text{ML}^2\text{T}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
磁化強度ベクトル	—	$\text{A}/\text{m}$	$\text{A}/\text{m}$	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
インダクタンス	ヘンリー	H	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}/\text{A}^2 \cdot \text{s}^2$	$\text{M}^{-1}\text{L}^2\text{T}^2$	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2$

(表 1 続き)

透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg/A^2 \cdot s^2$	$M^{-1}LT^2$	$kg^{-1} \cdot m \cdot s^2$
磁場強度	アンペア毎メートル	A/m	A/m	$ML^{-1}T^{-2}$	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
起磁力	アンペアまたはアンペア回数	A または AT	A	$MT^{-2}$	$kg \cdot s^{-2}$
磁気抵抗	—	A/Wb または AT/Wb	$A^2 \cdot s^2/m^2 \cdot kg$	$ML^{-2}T^{-2}$	$kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-2}$

\* 『技術者と大学生のための物理学便覧』(モスクワ, Nauka, 1971, 904 頁) のデータによる。

表 2. SI 単位系における熱力学の単位の MKS 単位系への変換

量	現行 SI 単位系での単位の名称	記号	現行 SI 単位系での次元	MKS 単位系での次元	MKS 単位系での測定単位
熱力学温度	ケルビン	K	K	$M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$	$k_T \cdot kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$L^2 \cdot M \cdot T^{-2} \cdot K^{-1}$	—	$k_T^{-1}$
比熱容量	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg · K)	$L^2 \cdot T^{-2} \cdot K^{-1}$	$M^{-1}$	$k_T^{-1} \cdot kg^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m · K)	$L \cdot M \cdot T^{-3} \cdot K^{-1}$	$L^{-1} \cdot T^{-1}$	$k_T^{-1} \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
熱放射率, 熱伝達率	ワット毎平方メートル毎ケルビン	W/(m <sup>2</sup> · K)	$M \cdot T^{-3} \cdot K^{-1}$	$L^{-2} \cdot T^{-1}$	$k_T^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
温度伝導率		m <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup>	$L^2 \cdot T^{-1}$	$L^2 \cdot T^{-1}$	m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup>

表 3. SI 単位系における光工学の単位の変換

量	現行 SI 単位系 での単位の名称	記号	現行 SI 単位 系での単位	MKS 単位系 での次元	MKS 単位系 での測定単位
光度	カンデラ	cd	cd	$M \cdot L^2 \cdot T^{-3}$	$k_{cd} \cdot kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
光束	ルーメン	lm	cd · sr	$M \cdot L^2 \cdot T^{-3}$	
輝度	ニット	cd/m <sup>2</sup>	cd/m <sup>2</sup>	$M \cdot T^{-3}$	$k_{cd} \cdot kg \cdot s^{-3}$
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>	$M \cdot T^{-3}$	

表 4. SI 単位系におけるモル単位の変換

量	現行 SI 単位系 での単位の名 称と記号	MKSP 単位系 での次元	MKSP 単位系 での測定単位	現行 SI 単 位との比
物質質量	mol	P	p	$k_m$
モル質量	kg/mol	$M \cdot P^{-1}$	$kg \cdot p^{-1}$	$N_A$
モル体積	m <sup>3</sup> /mol	$L^3 \cdot P^{-1}$	$m^3 \cdot p^{-1}$	$N_A$
モル内部エネルギー	J/mol	$L^2 \cdot M \cdot T^{-2} \cdot P^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot p^{-1}$	$N_A$
モル熱容量	J/(mol · K)	$P^{-1}$	$p^{-1}$	$N_A$
モル濃度	mol/m <sup>3</sup>	$P \cdot L^{-3}$	$p \cdot m^{-3}$	$k_m$

## [訳注] 訳文中の「物質\*」について

他の欧米諸語と同様、ロシア語には「物質」を意味する複数の単語がある。物理学で主に使われている用語は「**материя** [materia]」と「**вещество** [veshchestvo]」である。本来、この2つの単語の日常的用法における概念は大きく重なっており、両者の違いを文脈から切り離して定義することは事実上不可能である。しかし、ロシアの物理学界ではこれらの用語の使い分けについてある程度の合意が成立しているように思われる（当然のことながら、両者の概念の具体的な内容は論者の立場によって異なる）。

したがって、ロシア語文献からの訳文の理解に混乱を生じさせないためには、両者を訳し分けなければならない。しかし、訳者の知る限り、これらの用語に対応する日本語の物理学用語は「物質」の1語しか存在しないため、異なる用語によって訳し分けることはできない。そこで訳者は、多少煩わしさを感じさせるかもしれないが、「**материя**」は「物質\*」、**「вещество」**は単に「物質」と表記することで両者の違いが分かるようにしている。

かなり大まかな括り方をすると、「**материя** (物質\*)」は「**вещество** (物質)」の上位概念であり、「**материя** は **вещество** および場などからなる」と言うことができる。おそらく、日常的な語感では、日本語の「物質」から思い浮かぶのは「**вещество**」のほうであろう。

ロシア語版 Wikipedia の記事「**Материя**」は次のように説明している（一部のみ抜粋）。

「**материя** —— 客観的現実、空間の内容物、科学および哲学の主要カテゴリーの一つ、物理学の研究対象。

物理学は、空間と時間（時空）の中に存在する何ものかとしての **материя**（ニュートンに始まる理解——空間は事物の入れ物、時間は事象の入れ物）、または空間と時間の性質をそれ自体が与える何ものかとしての **материя**（ライプニッツに始まり、後にアインシュタインの一般相対性理論において表現された理解）を記述する。時間の中で様々な形態の **материя** とともに生じる変化が物理的現象をなす。物理学の主な課題は、あれこれの種類の **материя** およびその相互作用の性質を記述することにある。

### 主な種類の **материя**

現時点では3つの形態の **материя** が存在する。

・ **вещество** —— ハドロン物質、バリオン物質／古典的理解における物質、反物質／中性子物質／その他の種類の物質／クォークグルーオンプラズマ／仮説上のプレクォーク超高密度物質\*形成物

**вещество** とは異なり、場の内部に空虚はなく、場は絶対的な稠密性を持っている。

・ 場（古典的意味での） —— 電磁場、重力場／量子場

・ 物理的本性が不明な物質\*的对象物 —— 暗黒物質\*、暗黒エネルギー」