Egzemplarz dobry, leży bez tablic.

Dr.ing. Stanisław P R Y Z E
professeur de l'Institut Polytechnique
Silésien
P o l o g n e, G l i w i c e
rue Kazubska Nr.20.

Gliwice 25.Novembre 1951.

Remarques au sujet du choix de la 4-ème unité du système M K S,

et nouvelle proposition de la solution du problème.

Dans l'enquête internationale, publiée comme suite à la résolution de la IX. Conférence Générale des Poids et Mesures pendant la session de 1948, fut posée la question suivante:

Laquelle des 7 unités absolues:

coulomb C, ampère A, volt V, ohm Ω, henry H, farad F, weber Wb,

doit être choisie comme quatrième unité principale du système M K S ?

D'après l'avis de l'auteur on ne peut choisir correctement aucune des 7 unités mentionnées comme quatrième unité principale du système M K S, parce qu'elles sont des unités électromagnétiques absolues, dérivées (secondaires), alors dépendantes des étalons mètre, kilogramme, seconde.

La quatrième unité du système M K S à 4 unités doit être l'unité dimensionnelle M de la perméabilité magnétique, indépendante de la rationalisation et fixée par l'expression:

1) $M = 10^{7}$ - voir première partie de l'Exposé, respectivement

2) $M = 10^{7}\mu_0$ - voir deuxième partie de l'Exposé.

Pour la perméabilité magnétique du vide sont alors obligatoires les formules suivantes:

a) dans le système M K S normal (c'est à dire nonrationalisé):

$$\mu_0 = 10^{-7} M \quad \text{, respectivement} \quad \mu_0 = 10^{-7} M$$

b) dans le système M K S rationalisé:

$$\mu_0^R = 4\pi \cdot 10^{-7} M \text{, respectivement } \mu_0^R = 4\pi \cdot 10^{-7} M$$

Les motifs qui nous mènent à un tel choix sont donnés dans l'Exposé, première et deuxième partie.

EXPOSÉ DES MOTIFS.

Première partie.

1. Pour créer un système dimensionel d'unités il faut d'abord choisir les grandeurs fondamentales, c'est-à-dire celles, en fonction desquelles les dimensions de toutes les autres grandeurs seront exprimées. Ces grandeurs fondamentales doivent être indépendantes l'une de l'autre.

Pour les unités mécaniques on a créé le système principal scientifique L M T , avec trois grandeurs fondamentales: longueur, masse et temps.

Les unités fondamentales de ces grandeurs sont:

mètre (m) , kilogramme (kg) , et seconde (sec).

Mètre et kilogramme sont basés sur leurs prototypes; seconde est égale a 1/86400 partie de la journée moyenne solaire.

Maxwell a démontré, que pour créer un système d'unités électriques et magnétiques, il est nécessaire d'adopter une quatrième grandeur fondamentale électrique ε (système L M T ε), ou magnétique μ (système L M T μ).

Les unités pratiques absolues: C , A , V , Ω ect, sont les unités électromagnétiques, qui dimensionellement appartiennent au système électromagnétique L M T μ .

Le système électromagnétique L M T μ est représenté par la T A B L E I. Les unités principales $\langle l \rangle$, $\langle m \rangle$, $\langle t \rangle$, $\langle \mu \rangle$ dans le système L M T μ sont indépendantes l'une de l'autre et peuvent être choisies a volonté.

Par exemple:

a) $\langle l \rangle$ = centimètre, $\langle m \rangle$ = gramme, $\langle t \rangle$ = seconde, $\langle \mu \rangle = \langle \mu \rangle_{CGS}$

b) $\langle l \rangle$ = mètre, $\langle m \rangle$ = kilogramme, $\langle t \rangle$ = seconde, $\langle \mu \rangle = \langle \mu \rangle_{MKS}$

(voir T A B L E S II., III.).

Les unités secondaires dimensionelles $\langle Q \rangle$, $\langle U \rangle$, $\langle J \rangle$, $\langle R \rangle$ ..... $\langle N \rangle$, possèdent en général dans le système L M T μ la forme:

$$\langle N \rangle = \langle l \rangle^{\alpha} \langle m \rangle^{\beta} \langle t \rangle^{\gamma} \langle \mu \rangle^{\delta} \quad \text{- - - - - - - - -} \quad (1)$$

et caractérisent les dimensions des grandeurs dérivées, et non leur genre.

Les T A B L E S . II. et III. contiennent les dénominations des unités significatives x) $\langle Q \rangle$, $\langle U \rangle$, $\langle J \rangle$, $\langle R \rangle$ ..... $\langle N \rangle$

Ces unités caractérisent le genre des grandeurs.

Remarque: Les grandeurs C_0, ε_0, μ_0, sont exprimées dans tous les systèmes dimensionellement:

$$C_0 = c_0 \langle c \rangle \ , \quad \varepsilon_0 = \varepsilon_0 \langle \varepsilon \rangle \ , \quad \mu_0 = \mu_0 \langle \mu \rangle$$

$$\langle c \rangle = \langle l \rangle \langle t \rangle^{-1} \ , \quad \varepsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c_0^2}$$

Les unités dimensionelles $\langle c \rangle$, $\langle \varepsilon \rangle$, $\langle \mu \rangle$ caractérisent les dimensions des ces trois grandeurs (non leur genre !).

Dimensionnellement on peut donc exprimer sans erreur dans le système

EM - CGS: $\mu_0^{EM} = 1$, $\varepsilon_0^{EM} = \frac{1}{c_0^2}$

et dans le système ES - CGS: $\varepsilon_0^{ES} = 1$, $\mu_0^{ES} = \frac{1}{c_0^2}$

Les deux systèmes E M - C G S et E S - C G S, chacun logique et cohérent, sont alors dimensionnellement corrects, ont été et sont encore universellement en usage.

2. Les unités pratiques absolues:

C , A , V , Ω , H , F , Wb , J et W ..... (2)

sont „sui generis" des unités electromagnétiques, dérivées du système électromagnétique L M T μ de Maxwell, dont les unités principales sont

quadrant = 10^9 cm, decapicogrammes = 10^{-11} g, seconds, $\langle \mu \rangle = 1$ (!)

et les constantes du vide sont (dimensionnellement) fixées par l'expression:

$$\mu_0 = 1 \ , \quad \varepsilon_0 = \frac{1}{c_0^2} \quad , \quad c_0 \approx 30 \text{ quadrant sec}^{-1}$$

x) S.Fryze, Unités physiques et techniques, Przegląd Elektrotechnicz= ny, Warszawa 1933.

Dans ce système (Q E S)[x], les unités pratiques absolues (2) sont exprimées dimensionnellement par les formules suivantes:

$$\left.\begin{aligned}
C &= \text{quadrant}^{1/2}\ \text{décapig}^{1/2} \\
A &= \frac{C}{\text{sec}} = \text{quadrant}^{1/2}\ \text{décapig}^{1/2}\ \text{sec}^{-1} \\
V &= \frac{\mathcal{E}}{C} = \text{quadrant}^{3/2}\ \text{décapig}^{1/2}\ \text{sec}^{-2} \\
\Omega &= \frac{V}{A} = \text{quadrant}\ \text{sec}^{-1} \\
R &= \frac{V\ \text{sec}}{A} = \text{quadrant} \\
Y &= \frac{A\ \text{sec}}{V} = \text{quadrant}^{-1}\ \text{sec}^{2} \\
Wb &= V\ \text{sec} = \text{quadrant}^{3/2}\ \text{décapig}^{1/2}\ \text{sec}^{-1} \\
\text{Joule} &= V \cdot C = \text{quadrant}^{2}\ \text{décapig}\ \text{sec}^{-2} \\
\text{Watt} &= V \cdot A = \text{quadrant}^{2}\ \text{décapig}\ \text{sec}^{-3}
\end{aligned}\right\} \quad (3)$$

3. En introduisant dans les formules (3) ci - dessus les unités principales: centimètre et gramme, nous arrivons aux formules du système E M - C G S ; en introduisant dans les formules (3): mètre et kilogramme, nous arrivons à un nouveau système E M - M K S :

$$\left.\begin{array}{lcl}
 & \underline{\text{E M - M K S}} & \underline{\text{E M - C G S}} \\
C = & 10^{-7/2}\ m^{1/2}\ kg^{1/2} & = 10^{-1}\ cm^{1/2}\ g^{1/2} \\
A = \frac{C}{\text{sec}} = & 10^{-7/2}\ m^{1/2}\ kg^{1/2}\ \text{sec}^{-1} & = 10^{-1}\ cm^{1/2}\ g^{1/2}\ \text{sec}^{-1} \\
V = \frac{\mathcal{E}}{C} = & 10^{7/2}\ m^{3/2}\ kg^{1/2}\ \text{sec}^{-2} & = 10^{8}\ cm^{3/2}\ g^{1/2}\ \text{sec}^{-2} \\
\Omega = \frac{V}{A} = & 10^{7}\ m\ \text{sec}^{-1} & = 10^{9}\ cm\ \text{sec}^{-1} \\
R = \frac{V\ \text{sec}}{A} = & 10^{7}\ m & = 10^{9}\ cm \\
Y = \frac{A\ \text{sec}}{V} = & 10^{-7}\ m^{-1}\ \text{sec}^{2} & = 10^{-9}\ cm^{-1}\ \text{sec}^{2} \\
Wb = V\ \text{sec} = & 10^{7/2}\ m^{3/2}\ kg^{1/2}\ \text{sec}^{-1} & = 10^{8}\ cm^{3/2}\ g^{1/2}\ \text{sec}^{-1} \\
\text{Joule} = V \cdot C = V \cdot A\ \text{sec} = & m^{2}\ kg\ \text{sec}^{-2} & = 10^{7}\ cm^{2}\ g\ \text{sec}^{-2} \\
\text{Watt} = \frac{\mathcal{E}}{\text{sec}} = V \cdot A = & m^{2}\ kg\ \text{sec}^{-3} & = 10^{7}\ cm^{2}\ g\ \text{sec}^{-3}
\end{array}\right\} \quad (4)$$

Les formules dimensionnelles (4) <u>ne contiennent aucune quatrième unité</u> ; elles sont obligatoires pour les systèmes 3-unitaires du - EM-C G S et E M - M K S, avec les constantes du vide (dimensionnelles):

$$\mu_0 = 1 . \qquad \varepsilon_0 = \frac{1}{c_0^2} \qquad (5)$$

---

x) Quadrant, Eleventh, Second.

4. Dans les formules M K S (4) se révele le nombre 10^7 avec les mêmes exposants que possède l'unité de la perméabilité magnétique dans le système L M T μ (voir T A B L E I. et III.).

On peut donc mettre $M = 10^7$ avec le nom „décameg" (déca.méga = 10 . 10^6 = 10^7) et écrire les formules (4) en façon:

$$\left.\begin{aligned} V &= M^{1/2}\, m^{3/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-2} \\ A &= M^{-1/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1} \text{ etc} \\ \mu_0 &= 10^{-7} M, \qquad \varepsilon_0 = \frac{10^7}{c_0^2} E \\ M &= 10^7, \qquad c_0 \approx 3 \cdot 10^8, \quad E = m^{-2}\, sec^2\, M^{-1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots.(3a)$$

La sécende façon des formules (4) serait:

$$\left.\begin{aligned} V &= m^{3/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-2}\, \langle\mu\rangle^{1/2} \\ A &= m^{1/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1}\, \langle\mu\rangle^{-1/2} \text{ etc} \\ \mu_0 &= 10^{-7} \langle\mu\rangle, \qquad \varepsilon_0 = \frac{10^7}{c_0^2} \langle\varepsilon\rangle \\ \langle\mu\rangle &= 10^7, \quad c_0 \approx 3 \cdot 10^8, \quad \langle\varepsilon\rangle = m^{-2}\, sec^2\, \langle\mu\rangle^{-1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots.(3b)$$

(voir T A B L E I. II. et III. de l'auteur)

~~R é s u m é.~~

M dans les formules (3a) respectivement $\langle\mu\rangle$ dans (3b) représente la quatrième unité du système M K S à quatre unités.

Cette unité M, respectivement $\langle\mu\rangle$, est une unité dimensionnelle de perméabilité magnétique, ayant le caractère d'un nombre absolu 10^7.

A un tel résultat nous arrivons en sortant du principal système L M T μ de Maxwell (C G S), en introduisant dans les formules (3) le mètre et le kilogramme et adoptant en accord avec Maxwell pour les constantes du vide (dimensionnellement):

$$\mu_0 = 1 \qquad \varepsilon_0 = \frac{1}{c_0^2}$$

Exemples du calcul dans les systèmes M K S μ et E M - M K S .

1. La vérification de la définition de l'ampère absolu:

Le Comité International des Poids et Mesures (C I P M) a introduit dans la résolution de l'an 1946 la définition verbale de l'ampère absolu, basée sur la loi d'Ampère :

$$f_0 = \mu_0 \frac{2 \cdot J^2}{r}$$

Cette définition verbale contient les données suivantes:

$$J = 1\,A, \quad r = 1\,m, \quad f_0 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{m\,kg\,sec^{-2}}{mètre}$$

Nous voulons vérifier ces dates avec les formules dimensionelles des systèmes M K S μ et E M - M K S .

a) Dans le système M K S μ nous écrivons:

$$f_0 = \mu_0 \frac{2 J^2}{r} = 10^{-7} H \frac{2(H^{-1/2} m^{1/2} kg^{1/2} sec^{-1})^2}{1\ mètre}$$

$$= 2 \cdot 10^{-7} \frac{m\,kg\,sec^{-2}}{mètre}$$

b) Dans le système E M - M K S nous écrivons:

$$f_0 = \mu_0 \frac{2 J^2}{r} = 1 \cdot \frac{2(10^{-7/2} m^{1/2} kg^{1/2} sec^{-1})^2}{1\ mètre}$$

$$= 2 \cdot 10^{-7} \frac{m\,kg\,sek^{-2}}{mètre}$$

Tous les deux résultats montrent, que la définition de A abs donnée par C I P M est théorétiquement correcte.

2. Exprimer $U = 300$ volt en unités dimensionnelles dans les systèmes E M - C G S et E S - C G S x).

$$U_{EM} = 300\ H^{1/2} m^{3/2} kg^{1/2} sec^{-2}$$

$$= 300\ (10^7)^{1/2}\ (10^2 cm)^{3/2}\ (10^3 g)^{1/2}\ sec^{-2} =$$

$$= 3 \cdot 10^{10}\ cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}$$

$$U_{ES} = \frac{U_{EM}}{c_0} = \frac{3 \cdot 10^{10}\ cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}}{3 \cdot 10^{10}\ cm\ sec^{-1}}$$

$$= \underline{1\ cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}}$$

Ce résultat est correct, parceque une unité électrostatique de tension $(U)_{ES}$ est l'équivalent de 300 V et possède dans le système E S - C G S la dimension

$$dim\ (U)_{ES} = cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sek^{-1}$$

x) $c_0 \approx 3 \cdot 10^{10}\ cm\ sek^{-1} = 3 \cdot 10^{8}\ m\ sek^{-1}$

Remarque: Sans dimensions on peut écrire: significativement:

$$1\ V = \frac{10^8}{c_0}\ {}_EV \approx \frac{1}{300}\ {}_EV$$

${}_EV$ (électrovolt) l'unité significative de tension dans le système E S - C G S . Elle possède la dimension

$$\dim\ {}_EV = cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}$$

L'auteur emploie depuis l'an 1933 x) pour les unités significatives dans le système E S - C G S les dénotations:

${}_EV$ (électrovolt), ${}_EA$ (électroampère), ${}_E\Omega$ (électroohm) etc

et dans le système E M - C G S les dénotations:

${}_MV$ (magnétovolt), ${}_MA$ (magnétoampere), ${}_M\Omega$ (magnétoohm) etc

$$V = 10^8\ {}_MV = \frac{10^8}{c_0}\ {}_EV$$

$$A = \frac{1}{10}\ {}_MA = \frac{c_0}{10}\ {}_EA$$

$$\Omega = 10^9\ {}_M\Omega = \frac{10^9}{c_0^2}\ {}_E\Omega$$

$$\underline{c_0 \approx 3 \cdot 10^{10}}$$

V , ${}_MV$, ${}_EV$ sont des unités significatives de la tension;

Elles possèdent les dimensions:

$$\dim\ V = H^{1/2}\ m^{3/2}\ kg^{1/2}\ sec^{-2} \qquad H = 10^7$$

$$\dim\ {}_MV = cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}$$

$$\dim\ {}_EV = cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}$$

Les unités dimensionnelles de la tension sont:

$$\langle U \rangle_{MKS} = H^{1/2}\ m^{3/2}\ kg^{1/2}\ sec^{-2} \qquad H = 10^7$$

$$\langle U \rangle_{EM} = cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}$$

$$\langle U \rangle_{ES} = cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}$$

---

x) S. Fryze, Unités physiques et techniques, Przegląd Elektrotechniczny Varsovie 1933.
(voir les T A B L E S I, II, III.)

On peut créer sur la base du système électromagnétique L M T μ de Maxwell (3) un nombre illimité des systèmes électromagnétiques, conservant les unités absolues suivantes:

C , A , V , Ω , H , F , Wb , joule J et Watt W .... (6)

Dans tous ces systèmes L M T μ , l'unité principale de longueur $\langle l \rangle$ peut être choisie arbitrairement, p.ex.

centimètre, mètre, kilomètre, inch (= 2,54 cm) etc.

L'unité principale de la masse s'exprime alors par la formule suivante

$$\langle m \rangle = \left(\frac{\text{quadrant}}{\langle l \rangle} \right)^2 \text{ décapicogramme} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

L'unité principale du temps reste inchangée - la seconde.

Les constantes du vide μ_0 et ε_0 s'expriment par les formules:

$$\left.\begin{aligned} \mu_0 &= \mu_0 \langle \mu \rangle \\ \varepsilon_0 &= \varepsilon_0 \langle \varepsilon \rangle \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Dans ces formules, l'unité de perméabilité magnétique se calcule:

$$\langle \mu \rangle = \frac{\text{quadrant}}{\langle l \rangle} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

La valeur numérique de la perméabilité magnétique du vide (dans le système nonrationalisé x)):

$$\mu_0 = \frac{\langle l \rangle}{\text{quadrant}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

L'unité de la constante diélectrique:

$$\langle \varepsilon \rangle = \langle l \rangle^{-2} \text{sec}^2 \langle \mu \rangle^{-1} \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

La valeur numérique de la constante diélectrique du vide ε_0 peut être calculée de la formule de Maxwell:

$$\varepsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c_0^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

---

x) Dans le système rationalisé $\mu_0^R = 4\pi \mu_0$, $\varepsilon_0^R = \frac{1}{4\pi} \varepsilon_0$

Les formules dimensionnelles des unités V et A dans les systèmes L M T μ , qui conservent les unités (6) sont:

$$V = \langle l \rangle^{3/2} \langle m \rangle^{1/2} \sec^{-2} \langle \mu \rangle^{1/2}$$
$$A = \langle l \rangle^{1/2} \langle m \rangle^{1/2} \sec^{-1} \langle \mu \rangle^{-1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Les formules dimensionnelles pour toutes les autres unités cohérentes peuvent être calculées de ces deux, données ci-dessus, d'après les formules dimensionnelles naturelles:

$$\Omega = \frac{V}{A}, \quad R = \frac{V \sec}{A}, \quad F = \frac{A \sec}{V}, \quad Wb = V \sec \quad \ldots (14)$$
$$\langle B \rangle = \frac{V \sec}{\langle l \rangle^2}, \quad H = \frac{A}{\langle l \rangle}, \quad \langle D \rangle = \frac{A \sec}{\langle l \rangle^2}, \quad \langle K \rangle = \frac{V}{\langle l \rangle} \quad etc$$

Remarque: On voit, que les unités dimensionnelles, contenant l'unité de longueur $\langle l \rangle$, ne se conservent pas.

Exemple a): (Système M K S - Giorgi, resp. V A m sec):

$$\underline{\langle l \rangle = \text{mètre}}$$

$$\langle m \rangle = \left(\frac{\text{quadrant}}{\text{mètre}}\right)^2 \text{décapicogramme} = 10^{14} \cdot 10^{-14} \text{kg} = \underline{1 \text{ kg}}$$

$$\langle \mu \rangle_{MKS} = \frac{\text{quadrant}}{\text{mètre}} = 10^7$$

$$\langle \varepsilon \rangle_{MKS} = \text{mètre}^{-2} \sec^2 \langle \mu \rangle_{MKS}^{-1}$$

$$\mu_0 = 10^{-7} \langle \mu \rangle_{MKS} \qquad \varepsilon_0 = \frac{10^7}{c_0^2} \langle \varepsilon \rangle_{MKS}$$

$$\underline{c_0 \approx 3 \cdot 10^8}$$

Formules dimensionnelles de V et A :

$$\left.\begin{aligned} V &= \langle m \rangle^{3/2} \text{kg}^{1/2} \sec^{-2} \langle \mu \rangle_{MKS}^{1/2} \\ A &= \langle m \rangle^{1/2} \text{kg}^{1/2} \sec^{-1} \langle \mu \rangle_{MKS}^{-1/2} \end{aligned}\right\} \langle \mu \rangle_{MKS} = 10^7$$

Exemple b): (Système Dellinger V A cm sec) :

$$\underline{\langle l \rangle = \text{centimètre}}$$

$$\langle m \rangle = \left(\frac{\text{quadrant}}{\text{cm}}\right)^2 \text{décapicogramme} =$$
$$= (10^9)^2 \, 10^{-11} \text{ gramme} = 10^7 \text{ gramme}$$

$$\langle \mu \rangle_D = \frac{\text{quadrant}}{\text{cm}} = 10^9$$

$$\langle \varepsilon \rangle_D = \text{cm}^{-2} \sec^2 \langle \mu \rangle_D^{-1}$$

$$\mu_0 = 10^{-9} \langle \mu \rangle_D \qquad \varepsilon_0 = \frac{10^9}{c_0^2} \langle \varepsilon \rangle_D$$

$$\underline{c_0 \approx 3 \cdot 10^{10}}$$

Formules dimensionnelles de V et A :

$$\left.\begin{aligned} V &= cm^{3/2}\,(10^7 g)^{1/2}\,sec^{-2}\langle\mu\rangle_D^{-1/2} \\ A &= cm^{-1/2}\,(10^7 g)^{1/2}\,sec^{-1}\langle\mu\rangle_D^{-1/2} \end{aligned}\right\}\langle\mu\rangle_D = 10^9$$

En général, dans tous les systèmes L M T μ , infiniment nombreux, qui conservent les unités indiquées sous (6), ~~est~~ dimensionellement:

$$\mu_0 = \mu_0 \langle u\rangle \text{ égale } 1$$

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_0 \langle \varepsilon\rangle \text{ égale } \frac{1}{c_0^2}$$

$$c_0 = c_0 \langle l\rangle\, sec^{-1}$$

$$\mu_0 = \frac{\langle l\rangle}{\text{quadrant}}, \quad \langle\mu\rangle = \frac{\text{quadrant}}{\langle l\rangle}$$

$\langle l\rangle$ unité principale de la longueur, qui peut être choisie arbitrairement.

Le système M K S avec une quatrième unité „décameg"

$$\langle\mu\rangle_{MKS} = M \text{ égale } 10^7$$

présenté par l'auteur, c'est à dire le système mètre, kilogramme, seconde, décameg, n'est donc pas un système dimensionnel isolé, mais il réprésente le plus simple et pratique de tous les systèmes électromagnétiques L M T μ , infiniment nombreux, qui conservent les unités pratiques absolues:

C , A , V , Ω, H , F , Wb , Joule J et Watt W

Le système M K S avec décameg est cohérant avec le système E M - C G S , qui a été et est en usage, et qui reste dans la physique.

Le système M K S avec une quatrième unité „décameg" est un système électromagnétique. Pour passer de ce système au système électrostatique, on applique donc les mêmes formules, que pour passer du système E M - C G S à E S - C G S (voir exemple 2).

La valeur scientifique essentielle du système M K S avec „décameg" est fondée sur le maintien de la suprématie du système scientifique

L M T , créé par Gauss et Weber.

La quatrième unité „décameg" a le caractère d'un nombre absolu 10^7, indépendant de la rationalisation. On peut ce nombre obtenir des calculs suivants:

$$V = 10^8 \, cm^{3/2} \, g^{1/2} \, sec^{-2} =$$
$$= 10^8 \, (10^{-2} \, m)^{3/2} \, (10^{-3} \, kg)^{1/2} \, sec^{-2} =$$
$$= \underline{(10^7)^{1/2} \, m^{3/2} \, kg^{1/2} \, sec^{-2}}$$
$$A = 10^{-1} \, cm^{1/2} \, g^{1/2} \, sec^{-1} =$$
$$= 10^{-1} \, (10^{-2} \, cm)^{1/2} \, (10^{-3} \, kg)^{1/2} \, sec^{-1} =$$
$$= \underline{(10^7)^{-1/2} \, m^{1/2} \, kg^{1/2} \, sec^{-1}} \qquad \ldots\ldots\ (15)$$
$$\Omega = \frac{V}{A} = (10^7) \, m \, sec^{-1}$$
$$H = \frac{V \, sec}{A} = (10^7) \, m$$
$$F = \frac{A \, sec}{V} = (10^7)^{-1} \, m \, sec^{-2}$$
$$Wb = V \, sec = (10^7)^{1/2} \, m^{3/2} \, kg^{1/2} \, sec^{-1} \text{ etc.}$$

La nécessité du maintien du système fondamental dimensionnel L M T dans la science et dans la métrologie, est motivée par le fait, qu'aucune des unités absolues electriques et magnétiques ne possède un prototype réel du genre de ceux du mètre et du kilogramme. Toutes les unités absolues électriques et magnétiques doivent donc être basées sur les étalons existants du mètre et du kilogramme ainsi que sur la seconde égale à 1/86400 partie de la journée solaire moyenne.

Les formules dimensionnelles du système M K S avec décameg nous indiquent le caractère de cette base.

En écrivant la formule dimensionnelle du système M K S pour le V abs

$$V = m^{1/2} \, m^{3/2} \, kg^{1/2} \, sec^{-2} \qquad (a)$$

nous exprimons, que le V abs dépend de l'étalon du mètre à la puissance $3/2$, de l'étalon du kilogramme à la puissance $1/2$, et de la seconde

(égale a 1/86400 partie de la journée moyenne solaire) à la puissance -2. Ce sont les seules dépendances du V abs des étalons m , Kg et sec , et il n'en existe pas d'autres, puisque M est un nombre absolu 10^7.

Une situation analogique existe pour toutes les unités pratiques absolues dont les formules dimensionnelles dans les systèmes M K S avec décamètre sont:

$$\left.\begin{aligned}
C &= M^{-1/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2} \\
A &= M^{-1/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1} \\
V &= M^{1/2}\, m^{3/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-2} \\
\Omega &= M\ \ m\ \ sec^{-1} \\
H &= M\ \ m \\
F &= M^{-1}\, m^{-1}\, sec^{2} \\
Wb &= M^{1/2}\, m^{3/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1}
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ (16)$$

etc.

Ces formules nous démontrent, que toutes les unités pratiques absolues (C , A , V etc) dépendent exclusivement des étalons du mètre et du kilogramme ainsi que de la seconde égale à 1/86400 partie de la journée solaire moyenne. Il n'existe pas d'autres dépendances réelles, puisque M est un nombre absolu 10^7.

Les formules (16) sont d'accord avec les formules dimensionnelles du système E M - M K S et E M - C G S - voir (4).

Résumé de la première partie.

Tout ce que nous avons dit précédemment, nous indique, que la quatrième unité du système é-unitaire M K S doit être le décameg - l'unité dimensionnelle de la perméabilité magnétique du vide, indépendante de la rationalisation, du caractère d'un nombre absolu 10^7.

Le système M K S avec décameg répréente le système dimensionnel p r i m o r d i a l des unités pratiques absolues:

C , A , V , Ω , H , F , Wb , J , W etc.

Ce système électromagnétique est primordial, parcequ'il est en accord avec le système électromagnétique L M T μ de Maxwell, basé sur les définitions dimensionnelles des constantes du vide

$$\mu_0 = 1 , \qquad \varepsilon_0 = \frac{1}{c_0^2}$$

De ces formules proviennent les définitions dimensionnelles des constantes du vide dans le système primordial M K S <u>nonrationalisé</u>

$$\mu_0 = 10^{-7} M , \qquad \varepsilon_0 = \frac{10^7}{c_0^2} E$$

M décameg, égal 10^7, $E = m^{-2} sec^2 M^{-1}$, $c_0 \approx 3 . 10^8$

$$\varepsilon_0 \mu_0 c^2 = 1 , \qquad c_0 = c_0 m sec^{-1}$$

L'auteur propose pour ce système électromagnétique primordial le signe M K S sans aucun supplément.

Dans le système M K S <u>rationalisé</u> on doit écrire:

$$\mu_0^R = 4\pi . 10^{-7} M , \qquad \varepsilon_0^R = \frac{1}{4\pi} \frac{10^7}{c_0^2} E$$

M décameg, égal 10^7, $E = m^{-2} sec^2 M^{-1}$, $c_0 \approx 3 . 10^8$

$$\varepsilon_0^R \mu_0^R c_0^2 = 1 , \qquad c_0 = c_0 m sec^{-1}$$

On voit, que M et E sont indépendents de la rationalisation.

Deuxième partie.

(Les systèmes quadriunitaires M K S de Giorgi).

1. Le premier système quadriunitaire de Giorgi M K S Ω parut l'année 1901. Il contenait les unités principales: mètre (étalon), kilogramme (étalon), seconde (1/86400 partie de la journée solaire moyenne) et ohm (étalon) déterminé comme suit:

„L'ohm est la résistance offerte a un courant invariable par une colonne cylindrique de mercure ayant une masse de 14,4521 g et une longueur de 106,300 cm à la température de la glace fondante (0° C)"

Pour cette unité est obligatoire la formule dimensionnelle

$$\dim \Omega = \Omega_{\text{étalon}} = \text{int}\,\Omega \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (a)$$

mecanique Les unités électriques et mécaniques sont unies par la formule:

$$A^2\,\Omega_{\text{étal}} = m^2\,kg\,sec^{-3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (b)$$

d'où provient la dimension de l'ampère:

$$A = m\,kg^{1/2}\,sec^{-3/2}\,\Omega^{-1/2}_{\text{étal}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (c)$$

et du volt

$$V = m\,kg^{1/2}\,sec^{-3/2}\,\Omega^{1/2}_{\text{étal}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (d)$$

Les dimensions de toutes les autres unités pratiques électriques nous obtenons des formules naturelles:

$$H = \frac{V\,sec}{A}, \quad F = \frac{A\,sec}{V}, \quad Wb = V\,sec \quad etc$$

Il est évident, que toutes les unités pratiques

C , A , V , H , F , Wb etc

basées sur le système m, kg, sec, $\Omega_{\text{étal}}$ ne sont ni électromagnétiques ni internationales (int) - excepté l'ohm, qui reste int Ω.

Remarque: Dans le système international (int Ω , int A , int V etc) l'int ampère est fixé par la détermination:

„Ampère international est l'intensité du courant invariable qui passant dans une solution aqueuse de nitrate d'argent ($Ag\,NO_3$) dépose 1,11800 mg d'argent métallique par seconde".

Pour cette unité est obligatoire la formule dimensionnelle

$$\dim A = A_{étal} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (e)$$

et non celle ci-dessus (c), et pour int V est obligatoire la formule dimensionnelle

$$\dim V = A_{étal}\, \Omega_{étal} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (f)$$

et non celle ci-dessus (d).

Pour les unités internationales on doit donc écrire dimensionnellement

$$\text{int } A^2 \text{ int } \Omega = k \,.\, m^2 \text{ kg sec}^{-3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (g)$$

et pour les unités de Giorgi est obligatoire la formule

$$\underline{\text{Giorgi } A^2 \text{ int } \Omega = m^2 \text{ kg sec}^{-3}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (h)$$

De ces formules (g) et (h) nous arrivons a la relation

$$\frac{\text{int } A}{\text{Giorgi } A} = \sqrt{k}\ ^{x)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (i)$$

On voit d'ici, que l'int Ampère et Giorgi Ampère sont deux ampères différents numériquement et dimensionnellement.

C'était la cause, pour laquelle le système M K S Ω de Giorgi n'était pas entré en usage dans l'électrotechnique, malgré qu'il possédait une plus grande valeur théorétique que le système international, parcequ'il unit les unités électriques avec les unités mécaniques, sans le coefficient k (voir la formule h).

De même le système de Giorgi n'est pas entré en usage dans la physique, parcequ'il n'était ni électromagnétique ni électrostatique.

En 1934 Giorgi a remplacé dans son système M K S Ω l'ohm étalon (c'est à dire int Ω) par l'ohm absolu et a déclaré, que cette unité peut être remplacée par des autres unités absolues, par exemple coulomb C , ampère A , volt V etc.

x) Numériquement $k = 1,00043$

2. En 1935 C E I a pris la résolution de mettre en usage le système quadriunitaire M K S de Giorgi.

Pour le choix de la quatrième unité principale dans ce système, on nous a présenté les 7 unités pratiques absolues:

C , A , V , Ω , H , F , Wb.

Le choix de la quatrième unité dure 15 ans et jusqu'a présent n'a pas été accompli.

Les physiciens voudraient avoir comme 4-ème unité le coulomb C , parce que la quantité d'électricité Q est la grandeur principale dans la théorie de l'électricité et possède l'étalon naturel sous la forme d'électrons.
(Charge de l'électron $e \approx 1,60 \times 10^{-19}$ coulomb).

Pour les électriciens est préférable comme 4-ème unité l'ampère, parce que l'intensité du courant J est la principale grandeur dans l'électrotechnique.

Les métrologues voudraient avoir comme 4-ème unité l'ohm, parce que l'étalon de l'ohm (autrefois international et maintenant absolu) et l'étalon du volt absolu sous la forme de la pile de Weston, sont l'équipement principal des laboratoires électrotechniques.

~~Du point de vue de la science~~ Dimensionnellement, la 4-ème unité devrait être l'unité de la perméabilité magnétique, parce que toutes les unités pratiques absolues sont des unités électromagnétiques et appartiennent au système L M T μ de Maxwell.

Le plus pratique et le plus simple de tous les systèmes M K S est le système V A m sec, avec V absolu et A absolu. Dans ce système toutes les formules dimensionnelles possèdent les formes naturelles.

Les systèmes M K S μ, M K S A, M K S Ω et V A m sec, sont représentés dans la T A B L E principale (de l'auteur). Elle contient les noms de ces unités significatives, qui sont déjà proposés dans le projet français. Pour les unités significatives qui ne furent pas denommées dans le projet francais, l'auteur propose les noms dans les T A B L E S A et B.

Les T A B L E S A et B montrent, que <u>les unités dimensionnelles sont indépendantes de la rationalisation</u>. La rationalisation entraine le changement de la valeur de plusieurs unités significatives. Les noms des unités rationalisées sont donnés provisoirement (par l'auteur) avec l'avant-mot (préfixe) „rat".

Par exemple: milliersted = 10^{-3} oersted

ratmilliersted = 4π milliersted = $4\pi \cdot 10^{-3}$ oersted.

Pour le champ magnétique terrestre à Paris on peut donc écrire <u>significativement</u>:

$$H = 0{,}197 \text{ oersted} = 197 \text{ milliersted} = \frac{197}{4\pi} \text{ ratmilliersted}$$

<u>Dimensionnellement</u> on doit écrire:

a) dans le système E M - C G S et M K S <u>normal</u>

$$H = 0{,}197 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec}^{-1} = 197 \text{ m}^{-1/2} \text{ kg}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$$

b) dans le système C G S mA et M K S A <u>normal</u>

$$H = 0{,}197 \text{ mA cm}^{-1} = 197 \text{ A m}^{-1}$$

c) dans le système C G S mA et M K S A <u>rationalisé</u>

$$H_R = \frac{0{,}197}{4\pi} \text{ mA cm}^{-1} = \frac{197}{4\pi} \text{ A m}^{-1}$$

$$\underline{H / H_R = 4\pi}$$

3. Tous les systèmes quadriunitaires M K S de Giorgi:

M K S C, M K S A, M K S V, M K S Ω, M K S E, M K S F, M K S ν_b ... (17)

peuvent être dérivés du systeme principal M K S μ avec les suivantes <u>constantes du vide</u>:

a) dans le système <u>normal</u> (c'est a dire nonrationalisé):

$$\left.\begin{array}{ll} \mu_0 = 10^{-7} M, & \varepsilon_0 = \frac{10^7}{c_0^2} E \\ c_0 \simeq 3 \cdot 10^8, & E = m^{-2} \sec^2 M^{-1} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

b) dans le système <u>rationalisé</u>:

$$\mu_0^R = 4\pi \cdot 10^{-7} M, \quad \varepsilon_0^R = \frac{1}{4\pi} \frac{10^7}{c_0^2} E \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

M l'unité (dimensionnelle) de la perméabilité magnétique (indépendante de la rationalisation).

E l'unité (dimensionnelle) de la constante diélectrique (indépendante de la rationalisation).

En accord avec Maxwell on doit écrire:

$$\varepsilon_0 \mu_0 = \varepsilon_0^R \mu_0^R = \frac{1}{c_0^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (20)$$

Les unités dimensionnelles des unités pratiques absolues dans le systeme M K S μ sont:

$$\left.\begin{array}{lll} C = \ldots\ldots = & M^{-1/2} & m^{1/2} kg^{1/2} \\ A = \frac{C}{sec} = & M^{-1/2} & m^{1/2} kg^{1/2} sec^{-1} \\ V = \frac{J}{sec} = & M^{1/2} & m^{3/2} kg^{1/2} sec^{-2} \\ \Omega = \frac{V}{A} = & M & m \quad sec^{-1} \\ H = \frac{V\,sec}{A} = & M & m \\ F = \frac{A\,sec}{V} = & M^{-1} & m^{-1} sec^{2} \\ Wb = V\,sec = & M^{1/2} & m^{3/2} kg^{1/2} sec^{-1} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (I)$$

Des formules (I) nous obtenons directement les formules suivantes pour l'unité (dimensionnelle) M :

$$\left.\begin{array}{l} M = 10^7 \mu_0 = \\ = \frac{m.kg}{C^2} = \frac{m.kg.sec^{-2}}{A^2} = \frac{V^2}{m^5\,kg\,sec^{-4}} \\ = \frac{\Omega\,sec}{m} = \frac{H}{m} = \frac{sec^2}{F.m} = \frac{Wb^2}{m^3\,kg\,sec^{-2}} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots (II)$$

Remarque: Pour le système V A m sec est obligatoire la formule:

$$M = \frac{V\,sec}{A\,m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (III)$$

6 pseudo!

4. Le système M K S μ (I) avec M exprimé par les formules ~~(III)~~ (II), contient tous les 7 systèmes quadriunitaires de Giorgi:

M K S C, M K S A, M K S V, M K S Ω, M K S H, M K S F, M K S Tb.

(Voir A S S E M B L A G E des formules des unités M et E dans les systèmes quadriunitaires M K S de Giorgi et aussi M K S μ_0 et V A m sec).

Si nous voulons introduire p.ex. le système M K S C de Giorgi, nous admettrons dans les formules du système M K S μ (I) pour M selon l'A S S E M B L A G E :

X dire C

$$M_c = \frac{m.kg}{C^2}$$

et nous obtenons d'accord avec le système M K S C :

X dire C

$$\left.\begin{aligned}
C &= M_c^{-1/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2} = \left(\frac{m.kg}{C^2}\right)^{-1/2} m^{1/2}\, kg^{1/2} = C \quad (1)\\
V &= M_c^{1/2}\, m^{3/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-2} = m^2\, kg\, sec^{-2}\, C^{-1}\\
A &= M_c^{-1/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1} = C\, sec^{-1}\\
\mu_0 &= 10^{-7}\, \frac{m.kg}{C^2}\,, \qquad \varepsilon_0 = \frac{10^7}{c_0^2}\, \frac{sec^2\, C^2}{m^3 . kg}
\end{aligned}\right\} \ldots (21)$$

$$\underline{V . A = m^2\, kg\, sec^{-3}}$$

Dans le système M K S C, le coulomb absolu C est l'unité „pseudo - principale", c'est-à-dire il est véritablement l'unité dérivée, mais il joue dans le système M K S C le rôle de la quatrième unité principale. Voir les formules dimensionnelles (21).

La véritable dimension du coulomb C, c'est-à-dire celle qui caractérise les dépendances du coulomb absolu des étalons: mètre, kilogramme et seconde, nous montre la formule dimensionnelle dans le système principal M K S μ_0:

$$\left.\begin{aligned}
C &= M^{-1/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2} = 10^{-7/2}\, m^{1/2}\, kg^{-1/2}\, \mu_0^{-1/2}\\
M &= 10^7\, \mu_0
\end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

Le système M K S C aurait raison d'être, si le coulomb serait l'unité étalon, p.ex.

$$\left.\begin{array}{l} C = 625 \cdot 10^{16} \text{ electrons} \\ \text{alors} \quad \dim C = C_{\text{étalon}} \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

Dans ce cas nous devons déterminer les dépendances des toutes les unités pratiques: V , A , Ω , H , F , Wb etc des étalons principaux: mètre étalon, kilogramme étalon, coulomb étalon et seconde.

Pour le volt et l'ampère (non absolu) dans le système m, kg, $C_{\text{étalon}}$, sec, seraient obligatoires, d'accord avec le système M K S C , les formules dimensionnelles:

$$\left.\begin{array}{l} V = m^2 \, kg \, sec^{-2} \, C_{\text{étal}}^{-1} \\ A = C_{\text{étal}} \, sec^{-1} \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (24)$$

$$V \cdot A = m^2 \, kg \, sec^{-2}$$

$$\mu_o = 10^{-7} \left(\frac{C_{\text{étal}}}{C_{\text{abs}}}\right)^2 \left(\frac{m \cdot kg}{C_{\text{étal}}^2}\right), \quad \varepsilon_o = \frac{1}{C_o^2 \mu_o} \ldots\ldots\ldots \quad (25)$$

La valeur numérique de la perméabilité magnétique du vide sera:

$$\mu_o' = 10^{-7} \left(\frac{C_{\text{étal}}}{C_{\text{abs}}}\right)^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (26)$$

ou $\frac{C_{\text{étal}}}{C_{\text{abs}}}$ doit être trouvé expérimentalement.

5. Le coulomb C déterminé par la formule (23) ne serait pas le coulomb absolu électromagnétique ni numériquement ni dimensionnellement.

Le coulomb absolu peut être déterminé théorétiquement comme suite:

„Le coulomb est une charge électrique, qui dans le vide repousse une charge égale avec la force 10^{-7} newton, si les deux charges se trouvent sur des conducteurs sphériques de dimension négligeables placés l'un de l'autre à la distance passée dans le vide par un rayon lumineux pendant 1 seconde".

Pour le coulomb ainsi défini est obligatoire la formule (22) du système principal M K S μ_o , et non la formule (23).

Généralement pour une charge de 1 coulomb absolu et la détermination ci-dessus on doit donc écrire (dimensionnellement):

$$F = \frac{(1\, M^{-1/2} m^{1/2} kg^{1/2})^2}{\varepsilon_0 \cdot (c_0 m)^2} = 10^{-7}\, m\, kg\, sec^{-2} \ldots\ldots\ldots (27)$$

d'ou résulte pour la constante ε_0 généralement

$$\varepsilon_0 = \frac{10^7}{c_0^2}\, m^{-2} sec^2 M^{-1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (28)$$

Pour la constante μ_0 nous obtenons:

$$\mu_0 = \frac{1}{c_0^2 \varepsilon_0} = 10^{-7} M \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (29)$$

$$\underline{c_0 \approx 3 \cdot 10^8}$$

Si nous posons dans les formules (27), (28), (29) $M = 10^7 \mu_0$. ces formules seront obligatoires pour le système principal M K S μ_0.

Si nous posons dans les formules (27), (28), (29) $M = \frac{m\, kg}{C^2}$ ces formules seront obligatoires pour le système M K S C de Giorgi.

Le systeme M K S C avec C absolu ne possède aucune valeur dimensionnelle, puisqu'il n'existe pas d'étalon du coulomb absolu et lui même est basé sur les étalons du metre et du kilogramme d'apres la formule dimensionnelle

$$C = M^{-1/2} m^{1/2} kg^{1/2}, \qquad M = 10^7 \mu_0$$

Pour trouver les véritables dimensions des unités pratiques absolues nous sommes alors obligés d'introduire cette dimension dans toutes les formules du systeme M K S C , et ainsi nous rétournerons au systeme principal M K S μ :

Exemple:

$$\left.\begin{aligned} V &= m^2\, kg\, sec^{-2}\, C^{-1} = \\ &= m^2\, kg\, sec^{-2}\, (M^{-1/2} m^{1/2} kg^{1/2})^{-1} = \\ &= \underline{M^{1/2} m^{3/2} kg^{1/2} sec^{-2}} \\ A &= C\, sec^{-1} = (M^{-1/2} m^{1/2} kg^{1/2})\, sec^{-1} = \\ &= \underline{M^{-1/2} m^{1/2} kg^{1/2} sec^{-1}} \end{aligned}\right\} \ldots (30)$$

6. Dans la spécification d'unités intitulée „Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures, réunie à Paris en 1948, Proposition concernant un système universel de mesures", nous trouvons dans le „T A B L E A U des <u>unités principales</u> de mesure" les données suivantes:

L'unité principale de longueur est le mètre.

L'unité principale de masse est le kilogramme.

L'unité principale de temps est la seconde.

L'unité principale électrique est l'ampere, l'unité d'intensité du courant, définie conformément aux résolutions du Comité international des Poids et Mesures en octobre 1946.

„L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produit entre ces deux conducteurs une force égale à 2×10^{-7} unité M.K.S. de force par mètre de longueur."

Cette détermination d'ampère absolu est basée sur la formule d'Ampère:

$$f_0 = \mu_0 \frac{2 \cdot J^2}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

En posant dans ces formules:

$$r = 1\,m, \qquad f_0 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{m\,kg\,sec^{-2}}{mètre}$$

nous obtenons pour 1 ampère absolu:

$$\left.\begin{aligned} J &= \left(\frac{r \cdot f_0}{2 \cdot \mu_0}\right)^{1/2} = 10^{-7/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1}\, \mu_0^{-1/2} \\ &= 10^{-1}\, cm^{1/2}\, g^{1/2}\, sec^{-1}\, \mu_0^{-1/2} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots \quad (32)$$

Ce résultat nous montre, que l'ampère absolu, déterminé ci-dessus, est une unité électromagnétique <u>derivée</u> c'est à dire <u>secondaire</u>, avec la dimension:

$$A = 10^{-7/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1}\, \mu_0^{-1/2} = 10^{-1}\, cm^{1/2}\, g^{1/2}\, sec^{-1}\, \mu_0^{-1/2} \quad (33)$$

où μ_0 désigne (dimensionnellement) la perméabilité magnétique du vide, identique dans tous les deux systèmes quadriunitaires M K S μ et C G S μ_0.

En remplacant $10^7 \mu_0$ par M, on peut donc écrire (dimensionnellement) pour l'ampère absolu:

$$A = m^{1/2} kg^{1/2} sec^{-1} M^{-1/2} = 10^{-1} cm^{1/2} g^{1/2} sec^{-1} \mu_0^{-1/2} \quad \ldots (34)$$

$$\underline{M = 10^7 \mu_0}$$

Alors, si nous introduirons dans le système C G S μ_0 comme la quatrième unité la perméabilité magnétique du vide μ_0, nous devons introduire dans le système M K S μ, comme 4-ème unité $M = 10^7 \mu_0$, c'est à dire la perméabilité magnétique 10^7 fois plus grande que μ_0 (μ_0 obligatoire dans le système C G S μ_0 <u>normal</u>, c'est à dire non rationalisé).

Pour créer le système M K S A de Giorgi avec l'ampère absolu, il faut, en sortant des formules (34) exprimer M par A:

$$M = \frac{m\ kg\ sec^{-2}}{A^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (35)$$

et introduire cette formule dans toutes les formules dimensionnelles du système L M T μ.(I).

Mais l'ampère absolu dans (35) est une unité <u>„pseudo-principale"</u>. Le système M K S A avec A absolu ne possede donc aucune valeur dimensionnelle, puisqu'il n'existe pas d'étalon de l'amprère absolu et lui même est basé sur les étalons du mètre, du kilogramme et de la séconde d'après la formule dimensionnelle:

$$A = M^{-1/2} m^{1/2} kg^{1/2} sec^{-1}, \qquad M = 10^7 \mu_0 \ldots\ldots\ldots\ldots (36)$$

Pour trouver les véritables dimensions des unités pratiques absolues nous sommes alors obligés d'introduire cette dimension (36) dans toutes les formules du système M K S A, et ainsi nous rétournerons au système principal M K S μ.

7. La Conférence Générale des Poids et Mésures pris en 1933 la résolution de mettre en usage les unités pratiques absolues: joule J, watt W, coulomb C, ampère A, volt V, ohm Ω, henry H, farad F.

Ce sont des unités électromagnétiques, qui appartiennent dimensionnellement au système électromagnétique L M T μ de Maxwell. (Voir les T A B L E S I, II, III de l'auteur). Alors il est indispensable d'introduire le système M K S μ, dans lequel la quatrième unité est l'unité de la perméabilité magnétique, puisque c'est le seul système M K S quadriunitaire qui donne les véritables dimensions des unités absolues électromagnétiques.

La quatrième unité du système M K S μ nous pouvons déterminer en deux manières:

a) $M = 10^7$ (décameg), si nous voulons conserver dans la physique le système électromagnétique classique K M - C G S, ou

b) $M = 10^7 \mu_0$, si nous voulons introduire dans la physique le système quadriunitaire C G S μ_0, avec la 4-ème unité μ_0.

Dans le 1-er cas sont obligatoires pour V absolu et A absolu les formules dimensionnelles suivantes:

$$\left.\begin{array}{l} V = M^{1/2} m^{3/2} kg^{1/2} sec^{-2} = 10^8 cm^{3/2} g^{1/2} sec^{-2} \\ A = M^{-1/2} m^{1/2} kg^{1/2} sec^{-1} = 10^{-1} cm^{1/2} g^{1/2} sec^{-1} \\ \underline{V . A = m^2 kg sek^{-3}} . \quad \underline{M = 10^7} \end{array}\right\} \ldots\ldots (37)$$

Dans le 2-ème cas sont obligatoires pour V absolu et A absolu les formules dimensionnelles suivantes:

$$\left.\begin{array}{l} V = m^{3/2} kg^{1/2} sec^{-2} M^{1/2} = 10^8 cm^{3/2} g^{1/2} sec^{-2} \mu_0^{1/2} . \\ A = m^{1/2} kg^{1/2} sec^{-1} M^{-1/2} = 10^{-1} cm^{1/2} g^{1/2} sec^{-1} \mu_0^{-1/2} \\ \underline{V . A = m^2 kg sec^{-3}} . \quad \underline{M = 10^7 \mu_0} \end{array}\right\} \ldots (38)$$

Les formules ci - dessus possèdent les exposants fractionnaires. Mais justement ces exposants fractionnaires donnent les véritables dimensions des unités pratiques absolues, alors ils sont théoréti- quement corrects.

Exemple: A la question, quel changement subirait l'ampère absolu, si l'étalon du metre venait a être allongé réellement λ - fois, l'étalon de la masse - augmenté réellement μ - fois et la seconde - allongée réellement τ - fois ? - nous devons répondre: dans ce cas l'ampère absolu augmenterait $\lambda^{1/2}\mu^{1/2}\tau^{-1}$ fois. Cette réponse est obligatoire également si nous introduirons $M = 10^7$ et aussi, si nous introduirons $M = 10^7\mu_0$, parce que le décameg ($M = 10^7$) est le nombre absolu et μ_0 est une constante physique (perméabilité magnétique du vide).

La réponse des physiciens, fondée sur la formule dimensionnelle de l'ampère absolu dans le systeme M M - C G S

$$\dim A = \frac{1}{10}\ cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}$$

sera la même, que celle donnée ci - dessus.

Dans le système M K S A il semblerait apparemment, que l'ampère absolu ne subira aucun changement, puisque dans ce système l' A abs fut créé l'unité principale d'après la formule

$$\dim A = A\ abs.$$

Mais c'est une illusion dimensionnelle, puisqu'il n'existe pas d'autre ampère absolu, que l'ampère absolu électromagnétique, dépendant des étalons du mètre, du kilogramme et de la seconde a la manière donnée plus haut. S'il en est ainsi, nous devons déterminer ces dépendances. Le système M K S avec décameg M les donne directement sous une forme concordante avec le système M M - C G S et le système M K S μ avec $M = 10^7\mu_0$ les donne directement sous une forme concordante avec le système C G S μ_0.

Pour discerner le système M K S μ du système M K S avec décameg, nous les dénommerons: Le prémier - „le système M K S principal", le deuxième - „le système M K S primordial".

8. On a recommandé en 1935 de choisir comme 4-ème unité du système quadriunitaire M K S de Giorgi l'une des 7 unités absolues suivantes:

C , A , V , Ω , H , F , Wb.

Mais nous ne pouvons pas introduire dans le système M K S comme quatrième unité, aucune des 7 unités absolues, parce que cette recommandation mène aux 7 systèmes M K S de Giorgi:

MKSC, MKSA, MKSV, MKSΩ, MKSH, MKSF, MKSWb..... (39)

appartenant respectivement aux 7 systèmes dimensionnels:

L M T Q, L M T J, L M T C, L M T R, L M T L, L M T C, L M T Φ ..... (40)

Ces systèmes sont differents l'un de l'autre et en plus sont différents du système électromagnétique L M T μ de Maxwell. (Voir p.ex. la T A B L E „Dimensions des grandeurs électriques dans les systèmes L M T μ de Maxwell et L M T Q , L M T J , L M T R de Giorgi", élaboré par l'auteur). Dans tous les systèmes quadriunitaires M K S de Giorgi (39), contenants les unités pratiques absolues, les quatrièmes unités : C abs, resp A abs, resp. V abs, resp. Ω abs ete sont des unités „pseudo-principales". Les dimensions véritables de ces unités pseudo - principales nous montrent les formules dimensionnelles du système principal M K S μ.

C'était la cause pour laquelle les systèmes M K S de Giorgi (39) pouvaient être en usage dans la pratique seulement comme systèmes auxiliaires, sans valeur dimensionnelle, puisqu'ils ne nous donnent pas les véritables dimensions des unités pratiques absolues. Pour trouver les véritables dimensions des unités pratiques absolues nous sommes obligés de retourner au système M K S μ, et c'est pourquoi nous avons nommé ce système „le système M K S principal".

9. De tous les systèmes auxiliaires M K S de Giorgi (39) seulement un - M K S C - possède une valeur <u>scientifique</u>, ce qui a montré déjà A. Sommerfeld [x]. Hélas même ce système ne peut pas être introduit comme système dimensionnel universel, ni dans la physique ni dans l'électrotechnique, puisque si le coulomb doit être absolu il est dans le système M K S C une unité dérivée (secondaire), ce qui a été précédemment démontré.

10. Le plus <u>pratique</u> et le plus simple de tous les systèmes auxiliaires M K S est le système V A m sec avec V absolu et A absolu. Dans ce système toutes les formules dimensionnelles possèdent les formes naturelles:

$$\left.\begin{array}{l} \Omega = \frac{V}{A}, \quad H = \frac{V\,sec}{A}, \quad F = \frac{A\,sec}{V}, \quad Wb = V\,sec \\ \text{millioersted} = \frac{A}{m}, \quad \text{miriagauss} = \frac{V\,sec}{m^2} \text{ etc} \end{array}\right\} \ldots\ldots (41)$$

On doit alors établir dans l'électrotechnique le système quadriunitaire V A m sec comme système auxiliaire avec les constantes du vide:

a) <u>normales</u> (non rationalisées):

$$\left.\begin{array}{ll} \mu_0 = 10^{-7}\,\frac{V\,sec}{A\,m} & \varepsilon_0 = \frac{10^7}{c_0^2}\,\frac{A\,sec}{V\,m} \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots (42)$$

$$\underline{c_0 \approx 3 \cdot 10^8}$$

b) rationalisées:

$$\left.\begin{array}{ll} \mu_0^R = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{V\,sec}{A\,m} & \varepsilon_0^R = \frac{1}{4\pi}\,\frac{10^7}{c_0^2}\,\frac{A\,sec}{V\,m} \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots (42\,R)$$

$$\left.\begin{array}{ll} \varepsilon_0 \mu_0 = \varepsilon_0^R \mu_0^R = \frac{1}{C_0} & C_0 = c_0\,m\,sec^{-1} \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots (43)$$

$$\underline{C_0 \approx 3 \cdot 10^8}$$

---

x) A. Sommerfeld, Über die Dimensionen der elektromagnetischen Grössen. Z.Techn.Phys. 16, H.11, 420-426 (1935); Phys.Z.36, 814, (1935); Ann.Phys.36, H.3/4, 335-339 (1939).

Pour trouver les dimensions des unités pratiques absolues dans le système primordial M K S nous mettons dans les <u>formules naturelles</u> du système V A m sec les dimensions du V abs et A abs suivantes:

$$\left.\begin{aligned} V &= M^{1/2}\, m^{3/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-2} \\ A &= M^{-1/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1} \end{aligned}\right\} \quad M = 10^7 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (44)$$

Pour trouver les dimensions des unités pratiques absolues dans le système principal M K S μ nous mettons dans les <u>formules naturelles</u> du système V A m sec les dimensions du V abs et A abs suivantes:

$$\left.\begin{aligned} V &= M^{1/2}\, m^{3/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-2} \\ A &= M^{-1/2}\, m^{1/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1} \end{aligned}\right\} \quad M = 10^7 \mu_0 \quad \ldots\ldots\ldots (45)$$

<u>Remarque 1</u> : Nous obtenons les formules (42) et (45) directement des formules suivantes, obligatoires pour les unités pratiques absolues:

$$V \cdot A = m^2\, kg\, sec^{-3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (IV)$$

$$\frac{V}{A} = 10^7 \cdot m\, sec^{-1}\, \mu_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (V)$$

La formule (IV) lie généralement les unités électriques V abs et A abs avec les unités mécaniques mètre, kilogramme et seconde. La formule (V) est obligatoire généralement pour Ω abs.

<u>Remarque 2.</u>: Le système M K S A , appartenant aux 7 systèmes (39) de Giorgi, doit sa popularité à la circonstance, que dans les travaux sur ce système on se servait des formules dimensionnelles du système V A m sec, ne donnant presque jamais les formules dimensionnelles du système M K S A lui même x), excepté la dimension du volt, déduite de la formule (IV):

$$V = \frac{m^2\, kg\, sec^{-3}}{A}$$

Si nous prenons en considération toutes les deux formules générales (IV) et (V), nous obtenons pour V abs et A abs les formules du système M K S μ :

$$V = m^{3/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-2} (10^7 \mu_0)^{1/2}$$

$$A = m^{1/2}\, kg^{1/2}\, sec^{-1} (10^7 \mu_0)^{-1/2}$$

x) Elles sont demontrées dans la „T A B L E principale" de l'auteur.

A N N E X E .

Le système quadriunitaire universel U J L T .

Il est connu, que dans les systèmes C G S ε_0 et C G S μ_0 les unités dimensionnelles électrostatiques et électromagnétiques peuvent être liées avec les formules suivantes:

a) pour les unités dimensionnelles de la tension électrique:

$$1\ cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}\ \varepsilon_0^{-1/2} = c_0\ cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}\ \mu_0^{1/2}$$

$$\varepsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c_0^2}\ ,\quad C_0 = c_0\ cm\ sec^{-1}\ ,\quad c_0 \approx 3 \cdot 10^{10} \quad \ldots\ldots (46)$$

b) pour les unités dimensionnelles du courant électrique:

$$1\ cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}\ \varepsilon_0^{1/2} = \frac{1}{c_0}\ cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec\ \mu_0^{-1/2} \quad \ldots\ldots\ldots (47)$$

On peut donc mettre pour <u>le volt absolu</u> d'accord avec la formule (46)

$$V = 10^8\ cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}\ \mu_0^{1/2} = \frac{10^8}{c_0}\ cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}\ \varepsilon_0^{-1/2} \quad \ldots\ldots (48)$$

et pour <u>l'ampère absolu</u> d'accord avec la formule (47)

$$A = \frac{1}{10}\ cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}\ \mu_0^{-1/2} = \frac{c_0}{10}\ cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}\ \varepsilon_0^{1/2} \quad \ldots\ldots (49)$$

Si nous supposons pour les unités de la tension:

$${}_M V = cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}\ \mu_0^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (50)$$

$${}_E V = cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}\ \varepsilon_0^{-1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (51)$$

et pour les unités du courant:

$${}_M A = cm^{1/2}\ g^{1/2}\ sec^{-1}\ \mu_0^{-1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (52)$$

$${}_E A = cm^{3/2}\ g^{1/2}\ sec^{-2}\ \varepsilon_0^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (53)$$

nous pouvons écrire:

$$\boxed{V = 10^8\ {}_M V = \frac{10^8}{c_0}\ {}_E V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (54)$$

$$\boxed{A = \frac{1}{10}\ {}_M A = \frac{c_0}{10}\ {}_E A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (55)$$

$$c_0 = \frac{cm}{sec^{-1}} \approx 3 \cdot 10^{10} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (56)$$

$$\left.\begin{aligned} V \cdot A &= m^2\ kg\ sec^{-3} \\ {}_M V \cdot {}_M A &= cm^2\ g\ sec^{-3} \\ {}_E V \cdot {}_E A &= cm^2\ g\ sec^{-3} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (57)$$

Avec les formules (54) et (55) l'auteur a crée le <u>système quadri-unitaire universel U J L T</u>, contenant les trois systèmes suivants:

1) <u>Pratique absolu V A m sec</u>

avec les constantes du vide (normales):

$$\mu_0 = 10^{-7}\frac{V\ sec}{A\ m}, \qquad \varepsilon_0 = \frac{10^{11}}{c_0^2}\frac{A\ sec}{V\ m} \quad \ldots\ldots\ldots (58)$$

$$c_0 \approx 3 \cdot 10^{10}$$

2) <u>Électromagnétique absolu mV, mA cm sec</u>

avec les constantes du vide (normales)

$$\mu_0 = 1\frac{mV\ sec}{mA\ cm} \qquad \varepsilon_0 = \frac{1}{c_0^2}\frac{mA\ sec}{mV\ cm} \quad \ldots\ldots\ldots (59)$$

$$c_0 \approx 3 \cdot 10^{10}$$

3) <u>Électrostatique absolu eV, eA cm sec</u>

avec les constantes du vide (normales)

$$\varepsilon_0 = 1\frac{eA\ sec}{eV\ cm} \qquad \mu_0 = \frac{1}{c_0^2}\frac{eV\ sec}{eA\ cm} \quad \ldots\ldots\ldots (60)$$

Pour ces 3 systèmes sont obligatoires les formules:

$$\mu_0 = 10^{-7}\frac{V\ sec}{A\ m} = 1\frac{mV\ sec}{mA\ cm} = \frac{1}{c_0^2}\frac{eV\ sec}{eA\ cm} \quad \ldots\ldots\ldots (61)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{10^{11}}{c_0^2}\frac{A\ sec}{V\ m} = \frac{1}{c_0^2}\frac{mA\ sec}{mV\ cm} = \frac{1}{c_0^2}\frac{eA\ sec}{eV\ cm} \quad \ldots\ldots\ldots (62)$$

Ces 3 systèmes peuvent être rationalisées d'après les formules générales suivantes:

$$(VI) \ldots\ldots \mu_0^R = 4\pi\,\mu_0 \qquad \varepsilon_0^R = \frac{1}{4\pi}\varepsilon_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (VII)$$

Dans ces formules les valeurs numériques des constantes du vide sont changées, les unités demeurent inchangées.

<u>Remarque</u>: Le système universel U J L T contient aussi le bien connu système rationalisé V A cm sec de Dellinger - Bennett - Mix avec les constantes du vide:

$$\mu_0^R = 4\pi \cdot 10^{-9}\frac{V\ sec}{A\ cm} \qquad \varepsilon_0^R = \frac{1}{4\pi}\frac{10^9}{c_0^2}\frac{A\ sec}{V\ cm} \quad \ldots\ldots\ldots (63)$$

$$c_0 \quad 3 \cdot 10^{10}$$

$$V \cdot A = cm^2\ décatonne\ sec^{-3}$$

Dans tous les 4 systèmes V A m sec , $_M$V $_M$A cm sec , $_E$V $_E$A cm sec et V A cm sec , toutes les formules dimensionnelles d'unités significatives possèdent les formes naturelles semblables. Voir la table intitulée „Exemples des formules naturelles dans le système universel U J L T normal (nonrationalisé)". Cette Table démontre clairement l'application des dénominations et des signes employés par l'auteur pour les unités dans les 3 systèmes auxiliaires absolus V A m sec , $_M$V $_M$A cm sec, $_E$V $_E$A cm sec. (Le système V A cm sec contenait les unités int V et int A, alors il n'était pas absolu et c'est pourquoi il n'est pas considéré dans la table).

Le système universel U J L T sera décrit par l'auteur en détail dans une publication séparée. Dans la table ci-jointe l'auteur voulait seulement démontrer la simplicité des formules dimensionnelles naturelles dans le système universel.

Exemple d'utilisation des formules naturelles:

Exprimer la capacité d'un condensateur des données:

$$Q = 1 \text{ coulomb} = \frac{1}{10} \text{ magnétocoulomb} = \frac{c_0}{10} \text{ électrocoulomb}$$

$$U = 1 \text{ volt} = 10^8 \text{ magnétovolt} = \frac{10^8}{c_0} \text{ électrovolt}$$

$$\underline{c_0 \approx 3 \cdot 10^{10}}$$

Solution:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{1 \text{ A sec}}{1 \text{ V}} = \frac{\frac{1}{10} \text{ MA sec}}{10^8 \text{ MV}} = \frac{\frac{c_0}{10} \text{ EA sec}}{\frac{10^8}{c_0} \text{ EV}} =$$

$$= 1 \frac{\text{A sec}}{\text{V}} = 10^{-9} \frac{\text{MA sec}}{\text{MV}} = \frac{c_0^2}{10^9} \frac{\text{EA sec}}{\text{EV}} =$$

$$C = 1 \text{ farad} = 10^{-9} \text{ magnétofarad} = \frac{c_0^2}{10^9} \text{ électrofarad}$$

d'où dans les systèmes M K S μ , C G S μ_0 et C G S ε_0, nous obtenons

$$C = 1 \, M^{-1} \, m^{-1} \, sec^2 = 10^{-9} \, cm^{-1} \, sec^2 \, \mu_0^{-1} = \frac{c_0^2}{10^9} \, cm \, \varepsilon_0$$

C grandeur significative, C grandeur dimensionnelle

$$\underline{M = 10^7 \mu_0, \quad \varepsilon_0 \mu_0 c_0^2 = 1, \quad c_0 \approx 3 \cdot 10^{10} \text{ cm sec}^{-1}}$$

Tu brak 31a... Exemples....

R E S U M É .

I. Des considérations de la deuxième partie de l'Exposé nous voyons - de même que des considérations de la première partie - <u>que la quatrième unité du système quadrinaitaire M K S doit être l'unité de perméabilité magnétique</u>. Le système M K S μ est indispensable pour fixer les véritables dépendances des unités pratiques absolues des étalons mètre, kilogramme, seconde. Tous les autres systèmes M K S ne peuvent être en usage que comme systèmes auxiliaires.

II. La quatrieme unité du systeme M K S μ peut être déterminée de deux manières:

1) M = 10^7 (décameg), ayant le caractère d'un nombre absolu 10^7, conduit au système primordial M K S, lié avec le système M M - C G S de la physique (voir la prémiere partie de l'Exposé).

2) M = $10^7 \mu_0$, c'est a dire M 10^7 fois plus grand que la perméabilité magnétique du vide μ_0 dans le système C G S μ_0 normal (nonrationalisé). Cette supposition conduit au <u>système principal</u> M K S μ et est plus avantageuse que la précédente, parce qu'elle permet de lier le système M K S μ avec les systèmes C G S μ_0 et C G S ε_0, comme c'était démontré dans l'Annexe.

2

III. Le choix du système <u>M K S auxiliaire</u> doit être motivé par les raisons de <u>simplicité et de commodité</u>.

De tous les systèmes auxiliaires le plus pratique et le plus simple est le système V A m sec, dans lequel toutes les formules dimensionnelles possèdent les formes naturelles et sont en usage général. Ce système devrait donc être recommandé comme système M K S <u>auxiliaire pratique.</u>