







II

ME

BC

H

M

DE

ST

AU

TO

23.6. Стр. 54223  
ТРУДЫ ВСЕСОЮЗНОГО  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬНОГО  
ИНСТИТУТА  
МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ВЫПУСК 9 (25)

TRAVAUX DE L'INSTITUT  
DE MÉTROLOGIE  
ET DE STANDARDISATION  
DE L'U.R.S.S.  
LIVRAISON 9 (25)

**С О О Б Щ Е Н И Я**

**ВСЕСОЮЗНОГО ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ  
И СТАНДАРТИЗАЦИИ, ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ  
МЕЖДУНАРОДНОМУ КОМИТЕТУ  
МЕР И ВЕСОВ**

(СЕССИЯ 1935 года)

**M É M O I R E S**

**DE L'INSTITUT DE MÉTROLOGIE ET DE  
STANDARDISATION DE L'U.R.S.S. PRÉSENTÉS  
AU COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET  
M E S U R E S**

(SESSION DE 1935)

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ  
„СТАНДАРТГИЗ“  
ЛЕНИНГРАД 1935 МОСКВА

ÉDITION DE L'ÉTAT POUR LA  
STANDARDISATION  
„STANDARTGIS“  
LENINGRAD 1935 MOSCOU

2007

ca

154

TRAVAIL DE L'INSTITUT DE METROLOGIE ET DE  
STANDARDISATION

1954

MEMOIRE

DE L'INSTITUT DE METROLOGIE ET DE STANDARDISATION  
DE LA REPUBLIQUE FRANCAISE AU COMITE  
INTERNATIONAL DES UNIONS PURISTES ET METROLOGIQUES



(Version de 1954)



COMITE INTERNATIONAL DES UNIONS PURISTES ET METROLOGIQUES  
1954

TRAVAUX DE L'INSTITUT DE MÉTROLOGIE ET DE  
STANDARDISATION DE L' U. R. S. S.

---

Livraison 9 (25)

## MEMOIRES

DE L'INSTITUT DE MÉTROLOGIE ET DE STANDAR-  
DISATION DE L'U. R. S. S., PRÉSENTÉS AU COMITÉ  
INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

(SESSION DE 1935)

ÉDITION DE L'ÉTAT POUR LA STANDARDISATION  
„STANDARTGIS“  
LENINGRAD                      1935                      MOSKOU

В 42236

ТРУДЫ ВСЕСОЮЗНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬ-  
СКОГО ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

Выпуск 9 (25)

## СООБЩЕНИЯ

ВСЕСОЮЗНОГО ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ И  
СТАНДАРТИЗАЦИИ, ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ  
МЕЖДУНАРОДНОМУ КОМИТЕТУ МЕР И ВЕСОВ

(СЕССИЯ 1935 ГОДА)



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

„СТАНДАРТИЗ“

ЛЕНИНГРАД

1935

МОСКВА



## PRÉFACE

Les mémoires contenus dans ce recueil expriment le point de vue de l'Institut de Métrologie et de Standardisation de l'U.R.S.S. sur différentes questions de métrologie scientifique et appliquée qui pourront être mises en délibération dans les séances du Comité international des Poids et Mesures de 1935. Une partie de ces questions a surgi à la suite des résolutions de la VIII-e (ainsi que de la VII-e) Conférence générale des Poids et Mesures, tandis que d'autres sont posées sur l'initiative de l'Institut de Métrologie et de Standardisation de l'U.R.S.S. Elles se réduisent principalement aux trois moments suivants:

1. La nouvelle détermination du mètre en longueurs d'ondes lumineuses;
2. L'établissement de l'uniformité dans les mesures des températures;
3. La décision, sur une échelle internationale, de quelques questions de métrologie pratique.

L'Institut de Métrologie et de Standardisation de l'U.R.S.S. estime que les exposés contenus dans ce recueil pourront servir de matériaux utiles pendant les délibérations des questions énumérées au Comité international des Poids Mesures.

*L. W. Zalutzky.*

---

MEMORANDUM

The following information was obtained from a review of the records of the Department of the Interior, Bureau of Land Management, regarding the land grant to the State of California for the purpose of establishing a State University. The grant was made by the United States Congress in 1850, and the land was located in the State of California. The grant was made to the State of California for the purpose of establishing a State University, and the land was located in the State of California. The grant was made to the State of California for the purpose of establishing a State University, and the land was located in the State of California.

J. W. [Name]



## LA LONGUEUR D'ONDE LUMINEUSE COMME UNITÉ FONDAMENTALE DE LONGUEUR

Par B. E. Mourashkinsky

La métrologie, qui s'occupe de l'établissement des unités de mesures et de leurs étalons, doit en même temps considérer le besoin de remplacer certaines unités et certains étalons par d'autres unités et étalons, toutes les fois qu'on constate, que ces derniers peuvent être reproduits et mesurés avec une précision qui surpasse celle des premiers. Le progrès de la pensée scientifique et le développement de la technique rendent ces substitutions inévitables. La métrologie y procède avec une circonspection plus grande peut-être que celle qu'y apportent les autres sciences, ce qui est dicté par la position même de la métrologie vis à vis des autres domaines scientifiques.

Pour ce qui concerne les mesures de longueur, la substitution du mètre prototype international au mètre des Archives, effectuée en 1889, en est l'exemple le plus caractéristique. Cette substitution devint indispensable à cause de l'impossibilité de mesurer le mètre des Archives, qui est une règle à bouts, avec la même précision qu'on pouvait obtenir de ce temps pour les règles à traits.

Actuellement, grâce au perfectionnement des mesures interférentielles, les rôles sont renversés: les règles à bouts peuvent être mesurées par la méthode interférentielle avec une précision plus grande que ne le sont les règles à traits à l'aide des comparateurs. Cette circonstance oblige la métrologie à considérer la substitution d'un nouvel étalon de longueur au prototype international du mètre actuel et, peut être, à procéder à la révision de la question même de l'unité de longueur. Comme telle on propose la longueur d'onde lumineuse.

### L. APERÇU DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES

Toutes les mesures de la longueur du mètre en longueurs d'ondes lumineuses se rapportent jusqu'à présent aux raies du cadmium, et principalement à la raie rouge du cadmium. Les résultats des mesures, donnés ci-après se rapportent uniquement à cette dernière raie.

1) En effectuant en 1892 les mesures du mètre en longueurs d'onde (v. n° 1) Michelson obtint les résultats suivants:

1 mètre = 1553163,5  $\lambda_R$  ou

$$\lambda_R = 0,64384722 \mu \dots \dots \dots (1)$$

Pour ce travail Michelson s'était servi de thermomètres à mercure, sans réduire leurs indications à l'échelle normale. Il n'y avait pas non plus introduit des corrections pour l'humidité de l'air. En introduisant ces corrections, ainsi que les valeurs nouvelles (mais non définitives) du coefficient de dilatation du mètre n° 26, employé par Michelson, et en prenant une valeur conventionnelle de l'humidité, Guillaume (v. n° 3) obtint pour le résultat de Michelson les nombres corrigés suivants:

1 mètre = 1553164,95  $\lambda_R$  ou

$$\lambda_R = 0,64384691 \mu \dots \dots \dots (2)$$

Il faut signaler que dans ces derniers nombres on n'avait pas à ce qu'il paraît pris en considération les corrections pour la teneur en acide carbonique dans l'air. Le coefficient de la dilatation de ce mètre est emprunté aux données de 1927.

2) En 1905—1906 Fabry et Pérot (v. n° 2) effectuèrent la mesure de la longueur du mètre en longueurs d'ondes par une méthode bien qu'également interférentielle, mais en principe différente. Ils obtinrent:

1 mètre = 1553164,13  $\lambda_R$  ou

$$\lambda_R = 0,64384696 \mu \dots \dots \dots (3)$$

Guillaume (v. n° 3), en introduisant les corrections pour la variation de la longueur des mètres n° 26 et T<sub>2</sub>, employés par Fabry et Pérot, ainsi que pour les valeurs nouvelles (mais pas encore définitives) de dilatation, donne les nombres suivants:

1 mètre = 1553163,70  $\lambda_R$  ou

$$\lambda_R = 0,64384703 \mu \dots \dots \dots (4)$$

Malheureusement Guillaume n'indique pas les valeurs précises des coefficients de dilatation anciens et nouveaux, dont il s'était servi pour le calcul des corrections.

Dans leurs travaux, qui avaient trait à la mesure du mètre (v. ci-après), Watanabe et Imazumi (v. n° 4) calculèrent à nouveau les nombres donnés par Fabry et Pérot.

Ils obtinrent les valeurs suivantes:

En adoptant pour les mètres n° 26 et T<sub>2</sub> les équations suivantes pour 1905—1906:

$$\text{No 26} = 1 m + (0,80 + 8,647 t + 0,00100 t^2) 10^{-6}$$

$$T_2 = 1 m + (1,52 + 8,634 t + 0,00106 t^2) 10^{-6}$$

et pour les valeurs nouvelles de ces équations:

$$\text{No 26} = 1 m + (0,70 + 8,622 t + 0,00177 t^2) 10^{-6}$$

$$T_2 = 1 m + (1,24 + 8,622 t + 0,00177 t^2) 10^{-6}$$

la différence pour la température de 15° entre ces valeurs est

pour le n° 26 . . . . .	- 0,304 $\mu$
pour le T <sub>1</sub> . . . . .	- 0,29 $\mu$
Moyenne . . . . .	- 0,29 $\mu$

En introduisant cette correction dans les nombres de Fabry et Pérot, ils obtinrent:

$$1 \text{ mètre} = 1553164,58 \lambda_R \text{ ou}$$

$$\lambda_R = 0,64384677 \mu \dots \dots \dots (5)$$

Watanabe et Imaizumi corrigèrent aussi ce nombre (5) pour la teneur en acide carbonique, en la considérant pendant les mesures exécutées par Fabry et Pérot conventionnellement à 0,05 pour 100, le nombre (5) étant alors:

$$1 \text{ mètre} = 1553164,47 \lambda_R \text{ ou}$$

$$\lambda_R = 0,64384682 \mu \dots \dots \dots (6)$$

En prenant pour la quantité d'acide carbonique non pas 0,05 pour 100, mais 0,03 pour 100, nous avons:

$$\lambda_R = 0,64384680 \mu \dots \dots \dots (7)$$

3) En 1927 Watanabe et Imaizumi procédèrent à une troisième mesure du mètre en longueurs d'onde à l'aide d'une méthode presque identique à celle employée par Fabry et Pérot. Ils obtinrent:

$$1 \text{ mètre} = 1553164,37 \lambda_R \text{ ou}$$

$$\lambda_R = 0,64384685 \mu \dots \dots \dots (8)$$

Cette mesure, ainsi que la mesure originale de Fabry et Pérot fut réduite à 15°, à une pression de 760 mm, étant faite dans un air absolument sec. Pendant ces mesures faites par Watanabe et Imaizumi, l'air ne contenait pas d'acide carbonique.

En réduisant ce nombre à l'air normal (15°C, 760 mm de pression, l'air absolument sec et contenant 0,03 pour cent d'acide carbonique) Sears et Barrell (v. n° 8) obtinrent:

$$\lambda_R = 0,64384682 \mu \dots \dots \dots (9)$$

4) En 1933 Sears et Barrell (v. nos 6, 7, 8) effectuèrent une quatrième mesure du mètre en longueurs d'ondes. Ils obtinrent:

	Le mètre	$\lambda_R$	
Dans l'air à 20°	1553156,33 $\lambda_R$	0,64385019 $\mu$	} . . . (10)
Dans l'air à 15°	1553163,76 $\lambda_R$	0,64384711 $\mu$	
Dans le vide	1552734,52 $\lambda_R$	0,64402510 $\mu$	

On voit d'après les nombres sus-indiqués que Sears et Barrell avaient fait leurs mesures non seulement pour l'air normal, mais aussi pour l'air à 20° et pour le vide. Dans les deux premiers cas l'air ne contenait pas d'acide carbonique. En même temps ils avaient fait des mesures dans d'autres conditions d'air et ils déterminèrent ainsi le coefficient de réfraction de l'air.

Le nombre correspondant pour l'air normal sera:

$$\lambda_R = 0,64384708 \mu \dots \dots \dots (11)$$

Il y a lieu de noter que la mesure de la longueur du yard en longueurs d'ondes fut faite par Sears et Barrell dans les mêmes conditions.

Pour le yard ils obtinrent:

	1 yard
Dans l'air à 20°	1420202,02 $\lambda_R$
Dans l'air à 15°	1420210,81 $\lambda_R$
Dans le vide	1419818,31 $\lambda_R$

D'après ces mesures interférentielles le rapport du mètre au yard est:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mètre} &= 39,370138 \text{ pouces} \\ 1 \text{ yard} &= 0,91439862 \text{ mètre} \end{aligned}$$

Les mesures pour la comparaison du yard au mètre effectuées par Sears, Johnson et Jolly quelques années auparavant à l'aide d'un comparateur donnèrent:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mètre} &= 39,370147 \text{ pouces} \\ 1 \text{ yard} &= 0,91439841 \text{ mètre} \end{aligned}$$

5) En 1933 Kösters et Lampe effectuèrent une cinquième mesure du mètre en longueurs d'ondes. Malheureusement on ignore complètement les méthodes employées et tous les détails de cette mesure. Kösters et Lampe obtinrent la valeur préliminaire suivante de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium pour l'air normal:

$$\lambda_R = 0,64384672 \mu \dots \dots \dots (12)$$

En se basant sur toutes les données déjà citées, on peut donner le tableau suivant des résultats obtenus.

Observations de	Calcul de	Longueur d'onde de la raie rouge du cadmium en microns
1. Michelson . . .	—	0,64384722
2. . . . .	Guillaume	0,64384691
3. Fabry et Pérot.	—	0,64384696

Observations de	Calcul de	Longueur d'onde de la raie rouge du cadmium en microns
4. Fabry et Pérot.	Guillaume	0,64384703
5. . . . .	Watanabe et Imaizumi	0,64384677
6. . . . .	Watanabe et Imaizumi (acide carbonique 0,05 pour 100)	0,64384682
7. . . . .	Watanabe et Imaizumi (acide carbonique 0,03 pour 100)	0,64384680
8. Watanabe et Imaizumi . . . . .	—	0,64384685
9. Watanabe et Imaizumi . . . . .	Sears et Barrell	0,64384682
10. Sears et Barrell	—	0,64384711
11. . . . .	Sears et Barrell (acide carbonique 0,03 pour 100)	0,64384708
12. Kōsters et Lampe . . . . .	—	0,64384672

## II. QUELQUES REMARQUES SUR LES DONNÉES CITÉES CI-DESSUS

Toutes les mesures de la longueur du mètre en longueurs d'ondes lumineuses, que nous avons citées ci-dessus, furent bien entendu effectuées, non pas à même le mètre prototype, mais à l'aide de toute une série d'étalons intermédiaires, ce qui devait inévitablement produire une accumulation d'erreurs. Tous les nombres sus-indiqués peuvent à peine être considérés comme comparables, parce que dans les différents calculs on s'était servi de différentes équations pour les mètres n° 26 et T<sub>2</sub>, qui sont des étalons d'usage du Bureau international des Poids et Mesures et auxquels les étalons d'usage des laboratoires, qui avaient fait les mesures, avaient été comparés. La VIII<sup>e</sup> Conférence générale des Poids et Mesures, réunie en 1933, ratifia l'adoption des nouvelles valeurs des coefficients de dilatation des étalons du mètre, provenant de la coulée principale, ainsi que de la coulée de 1874. La Confé-

rence a aussi ratifié les nouvelles équations des étalons du mètre, mais ces nouvelles équations ne sont-elles que le résultat des nouvelles mesures plus précises et plus sûres, ou témoignent elles du changement des coefficients de dilatation, ainsi que de celui de la longueur des étalons du mètre? Voici ce que l'arrêté de la Conférence ne spécifie pas assez clairement. Il me semble que c'est dans la première de ces interprétations que l'arrêté doit être compris. Mais en ce cas cet arrêté doit avoir une autorité reversible, et les nouvelles équations doivent être considérées comme valables pour toutes les mesures, effectuées depuis 1889 directement ou indirectement avec les étalons du mètre.

Pour une comparaison complète des résultats cités ci-dessus des mesures du mètre en longueurs d'ondes tous les calculs auraient été à refaire, en tenant compte des nouvelles équations des étalons du mètre, ainsi que des nouvelles équations de tous les étalons d'usage qui avaient pris part à chacune de ces mesures, ce qui, étant sinon tout à fait impossible, est du moins très difficile.

N'ayant pas eu la possibilité de faire à nouveau tous ces calculs, j'ai reproduit dans la première partie de ce mémoire les nombres donnés par les dits auteurs dans leurs travaux.

On peut citer à cet endroit un autre tableau intéressant donné par Sears et Barrell (v. n° 8) dans le but de la comparaison des résultats obtenus. Sears et Barrell citent les calculs les plus certains (v. 2, 4, 9, 11 du tableau précédent):

Il est intéressant de noter que la moyenne des valeurs corrigées a accidentellement prouvé être précisément égale à la valeur originale (non corrigée) de Fabry et Pérot.

Observateurs	Valeur donnée	Après la réduction à l'air normal	Différence par rapport à la moyenne $10^{-10} m$
Michelson . . . .	0,64384722	0,64384591	- 0,0005
Fabry et Pérot . . .	0,64384696	0,64384703	+ 0,0007
Watanabe et Imazumi . . . . .	0,64384685	0,64384682	- 0,0014
Sears et Barrell . . .	0,64384711	0,64384708	+ 0,0012
	Moyenne .	0,64384696	

Il est nécessaire d'indiquer que toutes les corrections sus-mentionnées furent introduites pour obtenir les valeurs corrigées, mais les corrections pour l'humidité et pour la teneur en acide carbonique (pour deux premières observations) furent introduites conventionnellement, car ces facteurs n'avaient pas été mesurés pendant les observations mêmes.

Si l'on peut admettre à juger d'après la dernière table, que quelques unes des mesures donnent une coïncidence satisfaisante, cette coïncidence ne peut être considérée que comme étant purement accidentelle, car toutes les mesures indiquées sont basées sur la comparaison à l'aide du comparateur d'une règle à traits (étalon à traits) avec une autre règle à traits (étalon interférentiel avec traits tracés sur des glaces, ou mètre à bouts à lames supplémentaires avec traits), c'est à dire la précision de la mesure du mètre en longueurs d'ondes lumineuses est entièrement basée sur la précision des mesures faites à l'aide du comparateur.

Dans la plupart des mesures indiquées il est même difficile d'établir la précision des mesures interférentielles. Cette question a été nettement posée et résolue exclusivement par Sears et Barrell, qui avaient défini par la méthode interférentielle la longueur de la règle à bouts matérielle, qui fut ensuite comparée à l'étalon à traits à l'aide du comparateur. De cette manière ils séparèrent très nettement la précision des mesures interférentielles de la précision des mesures, exécutées avec le comparateur. La précision de la mesure interférentielle de la règle à bouts, mentionnée ci-dessus, est caractérisée dans le travail de Sears et Barrell de manière suivante: l'erreur probable des résultats est égale à  $\pm 0,025$  de la longueur d'onde, c'est à dire  $2 \cdot 10^{-8}$  environ de la valeur mesurée.

A en juger d'après la communication préliminaire de Kösters et Lampe (v. n° 9) ces derniers ont aussi mesuré la règle à bouts en longueurs d'ondes par la méthode interférentielle et par sa comparaison à l'aide du comparateur avec l'étalon à traits. Ils définissent aussi par  $2 \cdot 10^{-8}$  la précision de la mesure interférentielle de la règle à bouts en longueurs d'ondes. Il faut reconnaître que la mesure du mètre à traits en longueurs d'ondes ne peut servir qu'en guise de contrôle supplémentaire des mesures faites avec le comparateur. Les avantages des mesures interférentielles n'y sont point utilisés, car la précision de ces mesures est dans ce cas complètement absorbée à cause des erreurs de la mesure à l'aide du comparateur. Il faut mentionner ici que quelques auteurs ont proposé d'adopter en qualité de longueur d'onde fondamentale à la place de la raie rouge du cadmium la longueur d'onde de la raie jaune-verte du crypton, ou de la raie verte du crypton, mais jusqu'à présent nous n'avons aucune mesure du mètre effectuée avec ces longueurs d'ondes.

### III. LA QUESTION DE LA LONGUEUR D'ONDE LUMINEUSE ET DE SON RAPPORT À LA LONGUEUR DU MÈTRE, CONSIDÉRÉE AUX CONFÉRENCES GÉNÉRALES DES POIDS ET MESURES

Par suite du rapport sur la mesure du mètre en longueurs d'onde la II<sup>e</sup> Conférence générale des Poids et Mesures adopta la résolution suivante:

„La Conférence approuve à l'unanimité la décision du Comité (des Poids et Mesures) de considérer comme témoin naturel du prototype du Mètre ses relations avec les longueurs d'ondes lumineuses“.

Comme nous le voyons, la Conférence n'a déterminé dans sa décision ni la relation numérique, ni les longueurs d'ondes auxquelles cette décision se rapporte.

La Quatrième Conférence générale des Poids et Mesures réunie en 1907 émit par suite du rapport sur les résultats des travaux de Fabry et Pérot le vote suivant:

„La Conférence s'associe au vœu émis par le Comité (des Poids et Mesures) en vue d'obtenir autant que possible, dans l'avenir, un contrôle rigoureux de la valeur du Mètre étalon par le phénomène physique des radiations lumineuses“.

Ici non plus le rapport de la longueur du mètre à la longueur d'onde lumineuse n'a pas été fixé.

Le Congrès de l'Union Internationale pour la coopération dans les Recherches sur le Soleil réuni à Oxford en 1905 décida (résolution 29):

„La longueur d'onde d'une radiation convenablement choisie sera prise comme étalon primaire des longueurs d'onde. Le nombre qui représente cette longueur d'onde sera fixé une fois pour toutes. Il définira dès lors l'unité des longueurs d'onde, qui devra différer aussi peu que possible de  $10^{-10}$  mètre et s'appellera „Angström“.

Le Congrès de cette Union réuni à Mendon en 1907 confirma, par suite du rapport de Pérot sur la mesure du mètre en longueurs d'onde, les décisions ultérieures et adopta la décision suivante:

„La longueur d'onde de la raie rouge du cadmium produite par un tube à électrodes est 6438,4696 Angström, dans l'air sec à 15° du thermomètre à hydrogène, à la pression de 760 mm de mercure, la valeur de  $g$  étant 980,67 (45°). Ce nombre sert de définition à l'unité de longueur d'onde“.

Benoît, qui fut présent à ce Congrès, protesta énergiquement en qualité de métrologiste contre la fixation définitive de la relation entre le mètre et la longueur d'onde et surtout contre une fixation permanente.

Par la suite l'Union Astronomique Internationale, qui succéda à l'Union pour la Coopération dans les Recherches sur le Soleil, confirma ces dernières décisions.

J'ai cru nécessaire de citer ici ces résolutions à cause de l'influence incontestable qu'elles ont exercé sur le problème de la longueur d'onde lumineuse et de son rôle dans la métrologie.

À la VII-e Conférence générale des Poids et Mesures réunie en 1927 la délégation des États Unis (Burgess) fit la proposition officielle suivante:

„On recommande que la Conférence adopte la longueur d'onde de la radiation rouge émise par la vapeur de cadmium, déterminée par Benoît, Fabry et Pérot, comme étalon fondamental pour la longueur des ondes lumineuses.

La longueur de cette onde est  $6438,4696 \cdot 10^{-10}$  mètre...

Le mètre doit être défini par la relation:

1 mètre = 1553164,13 longueurs d'onde du rayonnement rouge du cadmium...

Les considérations théoriques militent en faveur de l'aptitude, comme unité de longueur permanente et fondamentale, de la radiation rouge du cadmium qui peut être engendrée à volonté, dans un laboratoire quelconque, avec le maximum de précision possible dans les mesures optiques.

La VII-e Conférence générale adhéra au sujet de cette proposition à la décision prise par le Comité International des Poids et Mesures:

„Dans l'état actuel de nos connaissances, il est recommandé que la Conférence adopte, comme étalon fondamental pour la longueur des ondes lumineuses, la longueur d'onde de la radiation rouge émise par la vapeur de cadmium, déterminée par les expériences de M. M. Benoît, Fabry et Pérot.

D'après ces expériences, la longueur d'onde de cette radiation est  $643,84696 \cdot 10^{-9}$  mètre... La valeur du mètre exprimée d'une façon provisoire en longueur d'onde de la raie rouge du cadmium dans les conditions spécifiées ci-dessus est donc égale à 1553164,13 jusqu'à la précision du dernier chiffre inscrit\*.

Il est impossible de comprendre pourquoi ce fut justement la VII-e Conférence qui sanctionna, bien que temporairement, le nombre ancien de Fabry et Pérot, étant donnée l'existence d'un nombre nouveau plus précis: car le fait du changement accidentel de la longueur des étalons d'usage n° 26 et T<sub>0</sub> du Bureau International était connu par la Conférence, ainsi que le nombre nouveau, obtenu par Guillaume à l'aide d'un calcul à neuf du nombre de Fabry et Pérot (v. ci-dessus). Il semble que l'influence de la résolution du Congrès de l'Union International pour les Recherches sur le Soleil, mentionnée ci-dessus, ne fut pas étrangère à cette sanction.

À la VIII-e Conférence générale réunie en 1933 le délégué de la Grande Bretagne (Sears) proposa de nouveau, sous une forme encore plus déterminée, de remplacer le prototype du mètre en platine iridié comme unité de longueur, par la longueur de l'onde lumineuse.

... Il est donc d'avis que le moment est venu d'examiner sérieusement la question du remplacement de la définition du Mètre au moyen de l'étalon en platine iridié par la définition en longueurs d'onde. Il a émis ce vœu au sein du Comité international, et, après une très longue discussion, le Comité a accepté de mettre à l'étude le principe de cette question...\*

Le Président du Comité international confirma que le Comité se déclare disposé à étudier le principe de la définition ultérieure du mètre au moyen d'une longueur d'onde lumineuse.

La Conférence sanctionna cette déclaration.

#### IV. SUR LA POSSIBILITÉ ET LES MÉTHODES DE LA TRANSITION À LA LONGUEUR D'ONDE LUMINEUSE COMME UNITÉ FONDAMENTALE DE LONGUEUR

Toute unité de mesure et en particulier tout prototype doit satisfaire aux conditions suivantes:

1) L'unité doit être reproduite et mesurée avec la précision maximale qui peut être atteinte au moment donné.

2) Pour la transition d'une unité de mesure à une autre une succession stricte doit être observée.

Pour ce qui concerne le prototype actuel du mètre on ne possède jusqu'à présent aucune indication déterminée de la variabilité de sa longueur; au contraire il existe tout une série de preuves de son invariabilité. Ceci n'est sans doute exact que dans les limites d'erreurs des mesures au comparateur.

Quant à la longueur d'onde lumineuse, p. ex. de la raie rouge du cadmium, il n'y a non plus aucune indication de sa variabilité. Il faut noter que le problème de l'isotopie n'a tout de même pas été assez étudié.

Pour ce qui concerne la précision de la reproduction et des mesures, il faut constater que les règles à traits (les étalons du mètre en particulier) ne peuvent être mesurées qu'avec une précision inférieure à celle qu'on obtient en mesurant la longueur d'onde lumineuse. Il est nécessaire de s'arrêter à cette dernière question. Que signifie l'expression „mesurer une longueur d'onde lumineuse”? Sous la mesure d'une longueur quelconque on comprend la comparaison de cette longueur avec l'unité de longueur sanctionnée, dans le cas actuel—la comparaison de la longueur d'onde lumineuse avec la longueur du prototype du mètre. C'est justement le côté métrologiquement obscur de la question, la longueur d'onde lumineuse peut être mesurée d'une manière absolue avec une haute précision, de l'ordre  $2 \cdot 10^{-6}$  (d'après les données de Sears et Barrell, ainsi que d'après celles de Kösters et Lampe) uniquement par rapport à une règle à bouts. Quant à la mesure de la longueur d'onde par rapport à une règle à traits, toute la précision de la mesure optique (interférentielle) y est complètement absorbée par les erreurs des mesures faites au comparateur. C'est pourquoi la longueur de l'onde, rapportée

à la longueur de la règle à traits, ne peut être donnée qu'avec une précision qu'on obtient à l'aide d'un comparateur. Presque toutes les mesures de la longueur d'onde par rapport à la règle à traits (v. section I), même sans nouveaux calculs supplémentaires, coïncident (comme le montre la table des résultats) dans les limites de la précision des mesures faites au comparateur. Les divergences des résultats plus grandes que les erreurs des mesures au comparateur, doivent être mises au compte de la différence qui existe entre les moyens employés pour la réduction des résultats séparés à des conditions d'observation identiques.

Tout ce qui précède nous a forcément amené à conclure que:

Vu l'état actuel de la question de la mesure des longueurs, le prototype du mètre international à traits et ses étalons ne répondent déjà plus à la condition essentielle exigée des prototypes et de leurs étalons: ceux-ci ne peuvent pas être mesurés avec la précision maximale obtenue pour cette unité de mesure.

Par conséquent l'établissement d'une nouvelle unité de longueurs est à l'ordre du jour.

Si même toutes les mesures sus-citées de la longueur du prototype du mètre en longueurs d'onde peuvent être expliquées par le désir d'obtenir une nouvelle méthode indépendante de contrôle des mesures du mètre faites au comparateur et de la permanence de sa longueur, les mesures ultérieures du mètre à traits en longueur d'ondes lumineuses n'auront plus de raison.

Pour ce qui concerne le choix d'une nouvelle unité de longueur deux variantes sont possibles:

1. On adopte comme unité de longueur la longueur d'onde d'une raie spectrale choisie, p. ex., la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium. En ce cas l'existence de la reproduction fondamentale matérielle de cette unité est indubitable (étalon international). Cet étalon international de longueur doit à titre de succession se rapprocher par sa longueur du mètre actuel et être égal à 1552734,52 de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, ou à un autre nombre d'ondes de la même raie, sanctionné par la convention internationale. Ceci aura infailliblement pour conséquence l'établissement, en qualité d'étalon de longueur, d'une certaine règle à bouts, cette dernière pouvant être mesurée en longueurs d'onde avec une précision beaucoup plus grande que celle atteinte pour les règles à traits. De cette manière, la longueur d'onde étant adoptée comme unité de longueur, c'est la règle à bouts qui doit indubitablement lui servir d'étalon. Ici (comme dans la seconde variante) on n'a pas suffisamment élucidé la question de la variation avec le temps de la longueur optique de la règle à bouts, causée par un changement de l'état du poli optique de ses surfaces extrêmes. Ici les étalons à traits ne doivent figurer que comme étalons secondaires, comparés non pas directement



avec la longueur d'onde, mais seulement avec les étalons à bouts primaires.

2. La longueur d'une règle à bouts ou prototype à bouts est reconnue comme unité de longueur. Afin d'établir une succession naturelle des unités, le nouveau prototype à bouts devra être égal au prototype international actuel du mètre, autant que le permettront les méthodes modernes, employées pour la comparaison des règles à bouts et à traits. On devra adopter aussi, par analogie avec la création du prototype à traits actuel, le système de la construction simultanée de tout une série d'étalons, dont l'un serait choisi pour prototype. Les autres étalons à bouts devront servir d'étalons à bouts nationaux primaires. Le nouveau prototype à bouts du mètre sera mesuré d'une manière absolue en longueurs d'ondes lumineuses. Plus directement, c'est à dire sans comparaisons intermédiaires qui introduisent une grande erreur dans les comparaisons faites avec la règle à traits, la longueur d'onde sera comparée au nouveau prototype du mètre avec une précision interférentielle maximum. De cette manière la concordance entre la longueur du prototype du mètre et la longueur d'onde, qui servira d'étalon-témoin du mètre, sera établie avec une précision interférentielle. La comparaison définitive des étalons nationaux primaires au prototype doit être faite par la méthode interférentielle et devra donner la valeur de ces étalons par rapport au prototype avec une précision interférentielle. Dans ce cas les étalons à traits ne peuvent être que des étalons secondaires.

Quant à la valeur numérique de la longueur d'onde, celle-ci doit être définie de nouveau pour la seconde variante par rapport au nouveau prototype du mètre, tandis que dans le premier cas on peut parfaitement se servir des données existantes. Ainsi qu'il a été indiqué, presque toutes les définitions de la longueur d'onde coïncident dans les limites de précision des mesures au comparateur. Par la méthode suivie, par les conditions d'observations, par la précision des mesures, les nombres de Sears et Barrell doivent être considérés comme les plus certains.

D'après les données, présentées par ces mêmes auteurs, il faut reconnaître que la longueur d'onde doit être mesurée non à l'air à 15°C, comme on l'a fait jusqu'à présent, mais au vide, les résultats obtenus étant en ce cas beaucoup plus précis.

## V. CONCLUSIONS

Si l'on adopte la première variante, la définition de l'unité fondamentale de longueur et de ses étalons peut être formulée comme suit:

1. L'unité de longueur fondamentale est la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, dans le vide, émise par la lampe de Michelson (suit la spécification de la lampe et de son régime).

2. L'unité pratique de la longueur est un mètre égal à 1552734,52 de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium.

3. La reproduction internationale matérielle du mètre (étalon international du mètre) est une barre (suit la spécification du matériel et de la forme de la barre) à surfaces optiquement polies et parallèles les unes aux autres, la distance entre elles à 20° C étant égale à 1 mètre.

4. La copie d'usage de l'étalon international est une règle à bouts analogue, comparée avec l'étalon international fondamental du mètre.

5. L'étalon secondaire du mètre est représenté par une barre sectionnée en X, en platine iridié, avec des traits, tracés sur sa surface neutre. La distance entre les axes des traits choisis doit, à 20° C, être égale à 1 mètre. L'étalon (à traits) secondaire est établi d'après la longueur de l'étalon international (à bouts) du mètre ou d'après celle de la copie d'usage.

6. Les étalons fondamentaux nationaux du mètre sont les règles à bouts analogues, comparées à l'étalon fondamental international (à bouts).

Si l'on adopte la seconde variante, la définition peut être formulée comme suit:

1. L'unité de longueur fondamentale est le mètre égal, à 20° C, à la distance entre les surfaces optiques extrêmes de la barre polies et parallèles les unes aux autres (suit la spécification du matériel et de la forme de la barre), déposé au Bureau international des Poids et Mesures et reconnu par la ... Conférence générale des Poids et Mesures être le prototype international du mètre.

2. Le témoin fondamental du prototype international du mètre est la longueur d'onde (dans le vide) de la raie rouge du cadmium, émise par la lampe de Michelson (suit la spécification de la forme de la lampe et de son régime).

3. L'étalon d'usage fondamental international du mètre est une règle à bouts analogue, comparée avec le prototype international du mètre par la méthode interférentielle.

4. L'étalon international secondaire du mètre est une règle à traits (suit la spécification du matériel et de la forme de cette règle) comparée au prototype international du mètre.

5. Les étalons fondamentaux nationaux secondaires du mètre sont les mêmes que dans le cas précédent.

Ce qui précède démontre qu'indépendamment de la variante reconnue être la plus correcte et la plus commodément appliquée, la définition actuelle de l'unité de longueur fondamentale est incontestablement surannée, et qu'une solution immédiate du problème de l'établissement d'une nouvelle unité, ainsi que de sa reproduction matérielle, c'est à dire de l'établissement d'un étalon international est devenue indispensable.

L'Institut de Métrologie et de Standardisation de l'URSS a convoqué une série de réunions pour délibérer sur ce problème et a décidé d'adopter la première variante et de la soumettre, sous forme de proposition, à la prochaine session du Comité international des Poids et Mesures.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Michelson. Détermination expérimentale de la valeur du mètre en longueurs d'ondes lumineuses. Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures. Vol. II, 1895.
2. Benoit, Fabry et Pérot. Nouvelle détermination du rapport des longueurs d'ondes fondamentales avec l'unité métrique. Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures, Vol. 15, 1913.
3. Guillaume. La création du Bureau international des Poids et Mesures, Paris, 1927.
4. Watanabe et Imayumi. Determination of the Length of International Meter in Terms of the Red Cadmium Line. Proceedings of the Imperial Academy of Tokyo. IV, N. 7, 1928.
5. Guillaume. Les récents progrès du système métrique, Extrait des Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures, Vol. 19, 1934.
6. Sears and Barrell. A new Apparatus for Determining the Relationship between Wavelength of Light and Fundamental Standards of Length. Phil. Trans. of the Royal Society, 231, p. 75-145, 1932.
7. National Physical Laboratory. Rapport for the year, 1933.
8. Sears and Barrell. Determinations of the Fundamental Standards of Length in Terms of Wavelength of Light. Phil. Trans. of the Royal Society, 233, p. 143-216, 1934.
9. Kösters et Lampe. Rattachement du mètre aux longueurs d'onde lumineuses. Comptes Rendus des Séances de la Huitième Conférence générale des Poids et Mesures. 1934.

## SUR LES SPECIFICATIONS DANS LE TEXTE CONCERNANT L'ECHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE

Par W. N. Bojovsky

Le texte concernant l'adoption d'une échelle internationale de température et contenant les déterminations et les spécifications correspondantes, fut adopté en 1927 par la VII<sup>e</sup> Conférence générale des Poids et Mesures et subit ensuite quelques corrections en 1931 à la VIII<sup>e</sup> Conférence. Selon l'opinion de l'Institut de Métrologie et de Standardisation de l'URSS ce texte donne lieu à des suppléments ultérieurs, ainsi qu'à de nouvelles corrections.

Les propositions et les remarques qui peuvent être faites à ce sujet se résument comme suit:

1. Dans l'alinéa 2 des spécifications qui ont rapport à la construction d'un tube d'ébullition pour le soufre, la phrase qui commence par les mots: „la colonne de vapeur doit être d'une longueur\* etc., et jusqu'aux mots: „deux centimètres au moins au-dessous de la substance isolante qui protège le tube contre la chaleur environnante“, n'exprime pas tout à fait exactement le phénomène qui a lieu pendant l'expérience, parce que la couche isolante sert non seulement à protéger le tube contre la chaleur environnante, mais elle le protège aussi contre les pertes de chaleur en dehors. E. F. Müller et H. A. Burgess ont déjà découvert que l'absence d'une enveloppe isolante est la cause d'une température anormalement basse des vapeurs du soufre. Les expériences effectuées à l'Institut de Métrologie et de Standardisation ont démontré que la diminution de la température peut dans ce cas atteindre jusqu'à 0,2° C.

C'est pourquoi il a semblé désirable de formuler à nouveau tout cet alinéa de manière suivante: „Le tube d'ébullition est en verre, en silice fondue ou en autre substance analogue, et il a un diamètre intérieur de 4 *cm* minimum et de 6 *cm* maximum. Le chauffage électrique est le meilleur, bien qu'on puisse se servir de gaz; le bord supérieur de l'appareil de chauffage et toute matière bonne conductrice en contact avec ce dernier doivent se terminer à 4 *cm* au moins au-dessous de la surface libre du soufre liquide. La partie du tube, qui se trouve au-dessus de l'appareil de chauffage, est entourée d'une matière thermoisolante, premièrement afin d'éviter un échauffement du tube, causé par les courants d'air chaud, s'échappant de l'appareil de chauffage, et, secondement, afin de préserver le tube d'une perte de chaleur en

dehors. La colonne de vapeur doit être d'une longueur telle que l'extrémité inférieure de l'écran soit à 6 cm au moins au-dessus de la surface libre du liquide, et l'extrémité supérieure à 2 cm au moins au-dessous de la substance isolante. Tout élément employé pour boucher l'extrémité du tube, doit posséder une ouverture libre pour l'égalisation de la pression\*.

2. Pour ce qui concerne le dernier alinéa du même paragraphe 4, on peut noter qu'afin d'éviter l'inflammation des vapeurs du soufre bouillant lors de l'introduction du thermomètre avec son écran dans le tube d'ébullition, il est plus commode de l'introduire plus tôt, quand le soufre est à peine fondu. C'est pourquoi on propose de remplacer les mots: „le thermomètre avec son écran est mis dans la vapeur\* etc. par les termes suivants: „Lors de l'étalonnage le soufre est rechauffé jusqu'à la fusion, le thermomètre avec son écran est mis dans le tube d'ébullition, après quoi le soufre est réduit à l'ébullition, le chauffage étant régularisé de telle manière que la ligne de condensation des vapeurs soit à 1 cm au moins au dessus de la partie supérieure de la substance isolante. Après avoir atteint cela on fait des observations simultanées de la résistance et de la pression barométrique. Dans tous les cas on doit avoir soin de vérifier que la température est indépendante des déplacements verticaux du thermomètre et de son écran.

3. Outre cela, en ce qui concerne la spécification des thermomètres à résistance, il est à désirer qu'elle soit complétée par la normalisation des détails suivants:

- a) la valeur de la résistance du thermomètre à 0° C,
- b) le diamètre de l'enveloppe,
- c) la répartition des parois en mica et en silice fondue,
- d) l'intensité du courant dont on se sert pour les mesures, et ses variations admissibles.<sup>1</sup>

4. On propose d'ajouter au § 5 de la seconde partie des indications sur le degré nécessaire de la pureté de l'or et de l'argent employés dans ce cas, notamment: la quantité des impuretés ne doit pas dépasser 0,01%.

5. Pour ce qui concerne la surfusion de l'antimoine, qui, selon l'indication du § 7, peut être évitée, „si l'on ne chauffe le métal qu'à quelques degrés au dessus de son point de fusion et si l'on agite le métal liquide\*, les expériences de l'Institut de Métrologie et de Standardisation ont démontré que la suppression de la surfusion à l'aide de ce procédé ne présente pas d'avantages et qu'elle a plutôt pour résultat un arrêt moins exact des indications du thermomètre.

C'est pourquoi on propose de substituer dans le dit paragraphe à l'expression „l'antimoine a une forte tendance à la surfusion\*, l'expression sui-

<sup>1</sup> Les remarques sus-indiquées sont suggérées par M-me V. A. Jakowleva du Laboratoire Thermométrique de l'Institut de Métrologie et de Standardisation de l'URSS.

vante: „On peut constater l'absence d'influence des conditions extérieures sur la valeur observée de la force électromotrice à l'aide de quelques expériences effectuées à de différentes profondeurs de l'extrémité du thermomètre dans le métal, dans les mêmes limites que pour l'or et l'argent. Dans le cas où les valeurs de la force électromotrice ne diffèrent pas entre elles d plus d'un microvolt, le point de solidification peut être considéré comme satisfaisant\*.

6. Vu l'absence de spécifications quelconques se rapportant à la réalisation du point de fusion de l'or, l'Institut de Métrologie et de Standardisation considère qu'il semble très désirable d'établir une spécification pour le corps noir, qui serait la même pour la pyrométrie et la photométrie. Cependant, en attendant la réalisation de cette unification, on propose d'adopter pour le point de fusion de l'or la formule suivante, basée sur la pratique du laboratoire des hautes températures de l'Institut de Métrologie et de Standardisation.

„La chambre intérieure en porcelaine réfractaire du corps noir, servant à la réalisation du point de fusion de l'or, doit avoir une longueur de 7—10 mm, un diamètre intérieur de 3,5 mm, et un orifice de rayonnement de 1 mm. L'isothermie axiale du four doit être assurée sur une longueur de 3 cm au moins. Conformément aux calculs, les écarts de la noirceur du corps rayonnant ne doivent pas donner d'erreur dépassant  $\pm 0,1^\circ$ .

Un thermocouple en platine rhodié de 0,5 mm de diamètre doit être introduit dans la chambre, sa soudure chaude consistant en un fil en or du même diamètre et d'une longueur d'environ 5 mm.

Le pyromètre optique, à „filament disparaissant\*, servant à la réalisation d'une échelle de température au-dessus de  $1063^\circ\text{C}$ , doit disposer d'un système optique garantissant la possibilité de viser un corps rayonnant de dimension indiquée. Le pyromètre doit être muni d'un verre rouge d'une longueur d'onde effective étudiée et, afin d'éviter les particularités individuelles de l'oeil, on doit se guider par les facteurs de la visibilité du spectre établis par le Comité Consultatif d'Electricité et de Photométrie.\*

## SUR LA DÉFINITION DE LA CONCEPTION DE LA DENSITÉ DES CORPS

Par A. N. Dobrokhotov

Les physiciens ne sont pas jusqu'à présent complètement d'accord sur la définition exacte de la conception de la densité des corps. Les différents traités de physique, les manuels, les articles spéciaux donnent sur la densité les définitions les plus variées qui ne font que compliquer cette question si simple en elle-même. Cependant une juste conception de la densité, si indispensable lorsqu'il s'agit de caractériser la propriété physique fondamentale d'un corps donné, exige, afin d'éviter les malentendus et les erreurs, une définition claire et précise.

Pour confirmer ce que nous venons de dire, il suffit de citer les lignes suivantes empruntées au „Cours de physique“ du professeur O. D. Chvolson. „Il est impossible, dit l'auteur, d'approuver le dédoublement tout à fait inutile d'une valeur physique, une et même par sa signification intrinsèque, et de considérer l'un des chiffres comme abstrait et l'autre comme concret. Indiquons comme exemple la densité et le poids spécifique. La densité est parfois définie comme étant le poids ou la masse de l'unité de volume, tandis que le poids spécifique est un nombre abstrait égal au rapport du poids ou de la masse du corps au poids ou à la masse d'eau de même volume. Cette définition est non seulement superflue, mais elle est encore fondée sur une interprétation erronée des formules physiques. La densité n'est ni un poids, ni une masse, et il n'est point nécessaire d'introduire la conception d'un poids spécifique comme nombre abstrait. Il existe une certaine valeur qui caractérise une matière. On peut la nommer comme l'on voudra, mais elle est néanmoins une valeur d'un genre spécial (sui generis) et ne saurait donc être ni masse, ni poids, ces derniers étant des valeurs d'un genre différent. Nommons la donc densité“. (Prof. O. D. Chvolson „Cours de Physique“, t. I, éd. 6-me, 1933, p. 38).

Il est à regretter que cet avis du prof. Chvolson soit loin d'être partagé par tous les auteurs de différents traités, manuels et livres de renseignement. La densité est souvent définie comme étant la masse d'une unité de volume rempli par une matière et on l'identifie avec la masse spécifique ou avec la densité absolue. Il n'est pas rare souvent de voir la densité définie comme

étant le rapport de la masse du corps à celle de l'eau dans un volume égal au volume du corps dans les conditions normales de l'eau. Ainsi, une même valeur se définit comme nombre concret et comme nombre abstrait.

Outre le terme „densité“, on rencontre fréquemment dans la littérature scientifique celui de „poids spécifique“ auquel viennent s'ajouter encore les termes „absolu“ ou „relatif“. Par le terme „poids spécifique absolu“ on entend le poids de l'unité de volume d'un corps et par celui de „poids spécifique relatif“, le rapport, à volume égal, du poids du corps à celui de l'eau à 4°C.

En pratique, la détermination du poids spécifique est complètement identifiée avec la densité. Les nombreux ouvrages scientifiques, les manuels en particulier, ne font aucune distinction entre ces deux termes, et ils emploient l'un pour l'autre, usant souvent l'expression: „densité ou poids spécifique“.

La conception du poids étant liée à la force de pesanteur dans un point déterminé, et le poids étant défini comme produit de la masse et de cette force, la valeur numérique du poids spécifique doit se distinguer de la valeur de la densité et dépendre du point où ce poids spécifique est déterminé. Il est donc évident qu'une identification de la notion de la densité avec celle du poids spécifique est impossible.

D'après ce que vient d'être dit, il paraîtrait rationnel, de conserver conformément à la proposition du prof. Chvolson pour la valeur d'un genre spécial, ci-dessus mentionnée, le terme „densité“ et de rejeter complètement celui de „poids spécifique“.

Examinons maintenant la question du point de vue pratique. En déterminant la valeur numérique de la densité des corps, nous nous heurtons à une difficulté qui provient de ce que nous employons pour mesurer le volume des corps deux systèmes d'unités, savoir: les mesures de volume (décimètre cube, centimètre cube, etc) et des mesures de capacité (litre, décilitre, millilitre, etc). Si le rapport entre le décimètre cube et le litre était établi avec une précision parfaite, l'emploi des deux systèmes d'unités de volume n'aurait rencontré aucune difficulté, la transition précise d'un système à l'autre étant toujours possible. Mais vu l'absence au moment actuel, du coefficient de conversion généralement adopté, les résultats calculés pour la transition d'un système à l'autre, peuvent être très différents selon le coefficient employé. Ainsi le „Recueil de constantes physiques“ publié par la Société physique de France, donne deux valeurs de densité pour le mercure, l'une, appelée „densité“, est égale à 13,59552, l'autre, appelée „masse volumique“, est égale à 13,59515: on l'obtient en multipliant la première par le coefficient de transition 0,999973 (valeur du décimètre cube exprimée en litres et obtenue tout récemment par M. M. Guillaume, Chappuis et Benoît). Si l'on employait dans ce cas le coefficient de conversion calculé par D. I. Mendéléeff, savoir 1 décimètre cube = 0,999890 kg, on obtiendrait pour la même valeur numérique de la masse volumique la valeur 13,59402, qui diffère de la valeur rap-

portée dans le Recueil à la troisième décimale. Une pareille divergence est sans doute inadmissible. C'est pourquoi il serait nécessaire d'admettre le coefficient de conversion qui serait universellement adopté. On ne peut complètement supprimer ni les unités de volume, ni les unités de capacité, ainsi que l'ont proposé quelques savants; les unités de capacité étant indispensables pour mesurer le volume des corps avec la précision exigée, tandis que les unités de volume doivent être appliquées dans le système des unités absolues CGS.

Les considérations ci-dessus exposées amènent l'Institut de Métrologie et de Standardisation à soumettre à la VIII<sup>e</sup> Conférence générale des Poids et Mesures la proposition de procéder à l'élucidation de la question si importante de la définition de la densité des corps ainsi qu'à l'établissement d'un coefficient de conversion des unités de volume aux unités de capacité.

De son côté l'Institut de Métrologie et de Standardisation considère que pour caractériser la propriété des corps, qui dépend de la quantité de matière dans le volume donné (Newton), il est nécessaire de ne conserver qu'un seul terme: „densité“, dont la valeur numérique est définie par le rapport de la masse du corps à son volume. Pour effectuer en pratique la détermination de la densité des corps, leur volume est mesuré en dérivés du litre. Pour la transition au système absolu des mesures, on emploie le coefficient de conversion 0,999973, par lequel on multiplie la valeur numérique de la densité obtenue par expérience directe.

Ce coefficient obtenu récemment par les méthodes modernes de mesures de haute précision doit être considéré comme étant actuellement le plus précis.

## L'ARÉOMÈTRE BAUMÉ ET LES AUTRES ARÉOMÈTRES DU MÊME TYPE

Par N. S. Michelson

Parmi les différents types d'aréomètres servant à déterminer la densité des liquides en unités conventionnelles le plus répandu dans l'industrie est sans contredit l'aréomètre dit Baumé. Cet instrument existe depuis plus de cent cinquante ans. Mais si durant ce long laps de temps il s'est acquis une position très stable dans l'industrie, il y a aussi suscité la méfiance quant à sa précision, méfiance due à la divergence des indications entre les différents instruments. La cause de ces divergences réside dans l'instrument même, sa construction étant fondée sur une base trop peu précise. Cette base a été plus d'une fois soumise à de multiples révisions par divers savants et par des institutions scientifiques. Ces révisions avaient pour but de donner une base solide à l'aréomètre Baumé et d'en élaborer un type unique. Néanmoins ces essais multiples n'eurent non seulement aucun succès, mais furent au contraire cause de l'apparition d'une grande variété de nouvelles échelles d'aréomètres Baumé et parfois même de types d'aréomètres à échelle conventionnelle totalement nouveaux, en somme cause de la confusion qui règne aujourd'hui dans ce domaine. Cet état de choses ne peut certainement pas être considéré comme admissible. Il est temps de mettre fin à cette situation. Mais la direction suivie jusqu'à présent dans ce but était fautive. Il suffit pour s'en convaincre de passer en revue l'histoire de l'aréomètre Baumé et des tentatives mentionnées ci-dessus qui avaient pour but de régulariser la divergence de ses indications.

L'inventeur de l'instrument, M. Baumé,<sup>1</sup> construisit deux types d'aréomètres, l'un pour les liquides plus denses que l'eau, l'autre pour les liquides moins denses, qui sont, en somme, d'une construction identique. Dans les deux cas il marque deux points sur l'échelle de l'aréomètre et divise l'intervalle en parties égales. Ces deux points repères sont les niveaux d'enfoncement de l'aréomètre dans de „l'eau pure“ et dans une solution aqueuse „d'un sel marin très sec et très pur“, de 15% pour le premier instrument et de 10% pour le second. Baumé gradue l'intervalle entre ces deux points en 15 et en

<sup>1</sup> Avant Coureur, 1768, N. 45, 50, 51, 52.

10 parties égales, et il divise de la même manière toute l'échelle. Sur l'aréomètre destiné à des liquides plus denses que l'eau il marque zéro à l'endroit où l'aréomètre émerge de l'eau, et pour les liquides plus légers que l'eau à l'endroit où l'aréomètre émerge d'une solution saline de 10%. Quant à la température normale, Baumé en parle assez vaguement. Il conseille de procéder à ces expériences dans une cave en plongeant l'aréomètre dans un liquide qui y serait resté séjourné assez longtemps pour en prendre la température 10° R. Telles sont les bases de la construction de l'instrument décrit par Baumé lui-même.<sup>1</sup>

Son but principal était d'indiquer le moyen de construire des aréomètres comparables entre eux. Mais ce but principal était impossible à atteindre. Comme on vient de le voir, la construction de l'aréomètre reposait sur une base trop peu définie pour que la concordance des instruments pût être pratiquement réalisable. Cette circonstance ne tarda pas à apparaître aussitôt qu'on procéda aux premiers essais ayant pour but d'établir la corrélation entre les degrés de Baumé et les densités.

Les premières investigations entreprises dans ce but furent celles de Nicholson et Gilpin<sup>2</sup> et aussi celles de Gerstner<sup>3</sup>. Les résultats obtenus par ce dernier diffèrent des résultats obtenus par Nicholson et Gilpin à 3 degrés pour les densités moyennes et à 6° pour les densités élevées.

Les divergences dans les indications des aréomètres Baumé observées déjà dès le début, portèrent à l'ordre du jour le problème de régulariser cette question. Dans ce but la Faculté de Médecine d'Amsterdam élabora les concordances légales des degrés de Baumé avec les densités et créa une échelle, qui porte jusqu'à présent le nom d'échelle hollandaise. Elle fut publiée en 1805<sup>4</sup>. L'échelle changea les points constants des solutions salines, établissant comme repère général—une solution saline de 10% pour les deux types d'aréomètres (pour les liquides plus denses et moins denses que l'eau); le zéro dans les deux aréomètres fut établi au point de leur affleurement de l'eau. Les investigations de Gilpin furent prises, comme base, pour l'échelle hollandaise, néanmoins elle diffère déjà de l'échelle de Gilpin dans les troisièmes décimales des densités.

Ces premières tentatives de régler la question concernant l'aréomètre Baumé ne suscitèrent que de nouvelles difficultés: l'introduction de la solution saline de 10% comme repère général et la position du zéro, établie comme identique pour les deux types d'aréomètres ne furent pas unanimement adoptées; il s'ensuivit qu'on eut deux échelles, différant sensiblement entre elles:

<sup>1</sup> Baumé. *Éléments de pharmacie théorique et pratique*. 1784, p. 395.

<sup>2</sup> *Annales de Chimie*, 1797, T. XXIII, p. 185.

<sup>3</sup> Meissner. *Die Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie*, Wien, 1820.

<sup>4</sup> *Pharmacopea, Batava*, 1805.

pour les liquides moins denses que l'eau; pour l'une le point d'affleurement de l'eau fut marqué par zéro, pour l'autre par 10°.

Les investigations ultérieures de Vauquelin<sup>1</sup>, d'Arcet,<sup>2</sup> de Hassenfratz<sup>3</sup> et de Bingley<sup>4</sup> n'apportèrent aucune amélioration, bien au contraire, elles ne firent que rendre cette divergence encore plus considérable. Ainsi la divergence dans les données de Hassenfratz et de Vauquelin est déjà de 5° pour les densités moyennes. Il est clair que cette divergence ne peut être imputée à la différence des températures normales, qui étaient chez Vauquelin—15° C, et chez Hassenfratz — 12,75° C.

A cette période se rapporte l'apparition d'un aréomètre ayant une échelle conventionnelle toute nouvelle. Le constructeur viennois Beck construisit, selon l'idée de Bentley, un aréomètre dont les repères étaient—l'eau à une température de 12,5° C et une solution aqueuse d'alcool d'une densité de 0,850 à la même température. Sur son échelle le niveau d'affleurement de l'eau était marqué par zéro, et celui de la solution d'alcool par 30°. Il est évident que cet aréomètre s'écarte sensiblement quant à son échelle de l'aréomètre Baumé.

Parmi les travaux qui suivirent, on peut indiquer l'investigation de Francoeur<sup>5</sup> qui, en comparant l'aréomètre Baumé à l'aréomètre des densités donna un tableau pour la même température de 12,5° C comme Nicholson et Gilpin, mais obtint des résultats différents. Pour les densités moyennes la différence entre les indications de Francoeur et de Gilpin atteint 1,7°, et pour les densités élevées — 4°.

On avança de beaucoup dans le problème de régulariser les aréomètres Baumé en leur donnant une base non seulement empirique, mais aussi théorique. Les premiers travaux entrepris dans ce but sont ceux de Halström,<sup>6</sup> professeur de physique à Abo, et des investigateurs viennois, Schöber et Pecher.<sup>7</sup> Ces derniers donnèrent une formule qui exprime la relation entre la densité „D“ et le nombre de degrés „n“ de Baumé. On écrit à présent cette formule de la manière suivante:

$$D = \frac{M}{M \pm n}$$

où M est une constante appelée le module de l'aréomètre. Ce sont eux aussi qui effectuèrent une investigation expérimentale des trois sortes de solutions

<sup>1</sup> Annales de Chimie et de Physique, I, ser. v. 76, p. 260.

Gähler's Physikalisches Wörterbuch, 1825, Bd. I, S. 349.

<sup>2</sup> Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, t. XLII, p. 210.

<sup>3</sup> Berzelius, Lehrbuch der Chemie, 1841, p. 212.

<sup>4</sup> Gähler's Physik. Wörterbuch, 1825, Bd. I, S. 363.

<sup>5</sup> Dingler's Polyt. Journal, 1824, Bd. 85, S. 349.

<sup>6</sup> Allgemeine Nordische Annalen der Chemie. S. Scherer-Bd. IV S. 29, 1820.

Petersburg.

<sup>7</sup> Dingler's Polyt. Journal 1828, Bd. 27, S. 66.

salines à 10% et établirent leur densités à 17 $\frac{1}{2}$ ° C. A l'aide de la valeur moyenne de densité 1,0740, Schöber et Pecher définirent le module de l'aréomètre et, s'aidant de leur formule, ils dressèrent ensuite un tableau de densités correspondantes à chaque degré de Baumé. Cette première tentative de comparaison théorique des degrés de Baumé avec les densités détermina la direction de la plupart des travaux ultérieurs touchant l'investigation de l'aréomètre Baumé. Néanmoins cette base théorique donnée aux concordances des densités et des degrés Baumé n'amena en pratique aucun changement favorable dans la question relative à notre aréomètre, car son échelle continua de dépendre quand même de la densité des solutions salines de 10% ou de 15% adoptée comme base.

La précision insuffisante dans la détermination de la densité de la solution saline, due en grande partie à l'hétérogénéité de la composition du sel même, rendait plus difficile l'établissement d'une concordance entre les aréomètres. En effet la différence dans la valeur de la densité de la solution saline de 10% égale à 0,001 change déjà le module de l'aréomètre Baumé de presque 2 unités, ce qui a une grande influence sur la divergence des échelles, montant jusqu'à 1° pour les grandes densités (proches de 1,84).

En même temps les considérations théoriques, qui servent de base à l'aréomètre Baumé et, particulièrement, la circonstance qu'à chaque aréomètre correspond une certaine constante appelée module, ont amené la fabrication d'un grand nombre d'aréomètres à échelle conventionnelle et uniforme, calculée d'après la formule ci-dessus mentionnée avec un module choisi d'avance. Les échelles de ces aréomètres diffèrent plus ou moins de l'échelle Baumé, selon que leurs modules diffèrent plus ou moins sensiblement du module de l'aréomètre Baumé. A ces aréomètres se rapporte l'aréomètre Balling avec un module 200, Brix avec un module 400, Francoeur et Gay-Lussac avec un module 100, Stoppani avec un module 166, l'aréomètre Beck mentionné ci-dessus avec un module 170.

Une circonstance acheva encore de compliquer la question. Les constructeurs, qui procédaient à la fabrication des aréomètres Baumé, trouvèrent incommode de construire l'échelle sur une base de solutions salines, parce que l'échelle construite sur un petit intervalle devait être extrapolée à une longueur considérable. C'est pourquoi ils en vinrent à une graduation à l'acide sulfurique.

On a remarqué qu'un point peu éloigné de 66° de l'échelle Baumé correspondait à la densité de l'acide sulfurique anglais, qu'on trouvait dans le commerce, c'est pourquoi les constructeurs adoptèrent cet acide comme un repère nouveau. Ce qu'était cet acide sulfurique on ne le sait guère.

Ainsi Fahling dans sa traduction du „Cours de Chimie appliquée“ de Payen, nous dit que l'acide sulfurique de commerce doit être préalablement porté à l'ébullition et ensuite refroidi dans un récipient couvert, et alors l'aréomètre Baumé, plongé avec précaution dans cet acide, doit s'arrêter à la

division 66°. Si l'on pense que c'est cette base dont on se servit à la construction des aréomètres Baumé, il n'y a guère lieu de s'attendre à leur concordance.

Néanmoins l'échelle donnée par Soubeiran se base justement sur ce que l'aréomètre plongé dans ce que l'on nommait alors «acide sulfurique anglais» s'arrête à 66° B.<sup>1</sup> Gerlach<sup>2</sup> nous apprend que pendant la construction des aréomètres, les constructeurs identifiaient 66° Baumé à la densité 1,815 de l'acide sulfurique à 15° C, tandis que d'après les anciennes données, empruntées par Nicholson et Guyton de Morveau<sup>3</sup>, les 66° B correspondent à la densité 1,848 à 15° C et, d'après les données de Vauquelin à 1,842 à la même température.

Cette instabilité par rapport à la graduation des aréomètres Baumé à l'aide de l'acide sulfurique obligea les savants à travailler à régénérer le prototype de l'aréomètre Baumé conformément aux indications données par Baumé lui-même pour la construction de l'aréomètre. Le travail le plus important dans ce but appartient à Gerlach<sup>4</sup>. Il fit de nouvelles recherches sur la densité de deux solutions de chlorure de sodium chimiquement pur. Il réduisit ses pesées ad vacuum et obtint en moyenne pour la densité d'une solution saline de 10% à 15° C une valeur 1,07335. Partant de ce nombre, il donna une échelle de densité pour les aréomètres Baumé à cette température, puis à 12 $\frac{1}{2}$ ° C et à 17 $\frac{1}{2}$ ° C. Cette dernière fut extrêmement répandue en Allemagne sous le nom «d'ancienne échelle de Baumé». Un travail identique fut entrepris aussi en France par Baudin.<sup>5</sup> Il étudia aussi, et dans le même but, les densités des solutions salines de 10% et de 15% et donna son échelle. Cette dernière diffère quand même de 0,02 de l'échelle de Gerlach, ce qui constitue quatre unités de la troisième décimale de la densité.

A la même époque parut le travail de Berthelot, Coulier et Almeida<sup>6</sup> sur la vérification de l'aréomètre Baumé, entrepris par eux à la demande des représentants de l'industrie glycérique. Ayant pour but la reconstitution précise du prototype de Baumé, ces savants donnent à dessein un tableau mettant en regard les degrés de Baumé et le poids d'un litre de liquide à une température de 12,5° C pris à l'air, c'est à dire non réduit ad vacuum. Ce tableau ne coïncide naturellement ni avec le tableau de Gerlach, ni avec celui de Baudin. Et si l'on le compare aux indications obtenues par Nicholson-Gilpin, qui opé-

<sup>1</sup> Comptes rendus, t. 63, p. 939, Avril, 1869.

<sup>2</sup> Dingler's Polyt. Journal, 1865, Bd. 176, S. 444.

<sup>3</sup> Berzellius, Lehrbuch der Chemie, 1841, S. 212.

<sup>4</sup> Dingler's Polyt. Journal 1865, V. 26, S. 455.

• • • 1870, V. 48, S. 316.

<sup>5</sup> Comptes rendus t. 68, p. 939, Avril, 1869.

<sup>6</sup> Vérification de l'aréomètre de Baumé, Paris 1873.

raient avec les aréomètres authentiques Baumé, on verra qu'ici non plus il n'y a aucune ressemblance; la divergence étant même de 2,5°.

Après ce qui vient d'être énoncé, il semblerait que tous les efforts pour rétablir le prototype de l'aréomètre Baumé devraient être considérés comme vains; cependant la question fut soulevée à nouveau et, cette fois, par les Etats-Unis. Sous l'influence des réclamations des représentants de l'industrie pétrolière C. F. Chandler<sup>1</sup> tenta de nouveau de se rapprocher du prototype de l'aréomètre Baumé. Remarquant qu'à son avis, personne ne s'était encore conformé aux indications précises données par Baumé, il détermina la densité de la solution saline de 10% et de 15% à 12½° C, ajouta aux résultats de ses recherches les indications données par les quatre autres investigateurs et, se basant sur les valeurs moyennes déduites des densités des solutions salines de 10% et de 15%, il elabora deux tableaux de concordances des degrés de Baumé avec les densités l'une pour les liquides d'une densité inférieure et l'autre d'une densité supérieure à une unité. Le premier se rapproche du tableau de Gerlach, quoique différant quand même de 10-40 unités de la cinquième décimale, et le second ne se rapproche d'aucun des tableaux mentionnés ci-dessous.

L'insuccès de toutes les tentatives de baser l'échelle de Baumé sur les investigations expérimentales des densités des solutions salines ou d'acide sulfurique forcèrent les cercles scientifiques et industriels à des conventions.

Il est à remarquer que Pouillet qui s'était occupé de la question concernant l'aréomètre Baumé<sup>2</sup> avait déjà proposé de prendre comme module de l'aréomètre pour les liquides plus denses que l'eau la constante 150, et pour le second aréomètre la constante 200. Ensuite un groupe de savants convint, selon la proposition de Kolb, de fixer définitivement la graduation de l'aréomètre Baumé en se basant sur les repères suivants: le point de l'enfoncement de l'aréomètre dans l'eau distillée à la température de 15° C est marqué par 0°, et le point de son enfoncement dans l'acide sulfurique d'une densité de 1,842 à la même température est marqué à 66°. Avec ce système de graduation le module de l'aréomètre se trouve être 144,38. Plus tard cette échelle fut remplacée par une échelle à module fixé d'avance — 144,30 à une température normale de 15°. Cette échelle fut nommée échelle rationnelle. Cependant il n'existe pas de raisons sérieuses pour déterminer le choix d'une valeur quelconque du module et l'expression usitée en Allemagne „d'échelle rationnelle“ n'est guère conforme à la vérité. Bien au contraire, il suffit seulement d'examiner l'origine de ce nombre insolite, adopté comme module de l'échelle rationnelle, pour se convaincre, que le choix de ce nombre n'est fondé sur au-

<sup>1</sup> Memoirs of the National Academy of Sciences, 1884, v. III, p. I. The Baumé hydrometers. By C. F. Chandler.

<sup>2</sup> Mémoires de l'Académie des Sciences, 1864, v. 32, p. 793.

cune base scientifique et ne fait que suivre la tradition en rattachant le 66° de Baumé à la densité de l'acide sulfurique.

L'introduction de l'échelle rationnelle ne changea rien à l'affaire: les anciennes échelles ne furent pas oubliées et l'échelle rationnelle ne fit qu'augmenter le nombre des aréomètres Baumé. Et actuellement il n'existe pas moins de six variétés d'aréomètres Baumé proprement dits et en outre des aréomètres comme ceux de Brix, Cartier, Beck, Balling, Stoppani, Gay-Lussac, ayant une conformité directe avec l'aréomètre Baumé, quoique bien différents les uns des autres par leur module, mais adoptés, ainsi que les précédents, par l'industrie et les manuels techniques.

Telles sont, indiquées à grands traits, les principales phases de la triste odyssee de l'aréomètre Baumé, triste en ce que, malgré tous les efforts, elle ne donna pas les résultats définitifs. Toutes les tentatives faites pour donner à l'aréomètre Baumé des bases plus solides, et de lui assurer ainsi une stabilité complète, toutes les tentatives de reconstituer le prototype de l'aréomètre Baumé n'eurent aucun résultat. Tout nouvel effort ne faisait que compliquer encore la question. Il est à considérer qu'outre les échelles énumérées ci-dessus, il en existe un nombre considérable que l'on rencontre dans la littérature. Depuis plus de cent cinquante ans qu'existe l'aréomètre Baumé, il a été proposé sur le témoignage de Domke<sup>1</sup>, plus de cent échelles différentes pour cet aréomètre. Ceci suffit pour prouver clairement l'inutilité désolante de toute tentative de mettre un peu d'ordre dans la question des aréomètres Baumé et d'autres aréomètres en général. Ce qui est surtout fort significatif c'est qu'à la première apparition des aréomètres Baumé, leurs divergences étaient, comme le montrent les indications données ci-dessus, même de 6° et aujourd'hui, après tant d'efforts pour l'établissement d'une échelle définitive, les divergences même entre les aréomètres les plus semblables sont quand même pour les liquides plus denses que l'eau de 1,3° et pour les liquides moins denses que l'eau de 3,1°<sup>2</sup> et cela avec les méthodes contemporaines de mesures précises et avec le perfectionnement technique dans la construction de l'instrument lui-même.

Ce résultat ne prouve-t-il pas qu'à la base de cet aréomètre résident des défauts irréductibles et que le seul moyen de vaincre des constantes difficultés serait de renoncer à l'aréomètre Baumé et aux autres aréomètres à échelle conventionnelle.

La discordance assez notable et tout-à fait inadmissible entre les différentes échelles des aréomètres et l'inutilité des efforts pour les réduire à une échelle unique témoigne suffisamment déjà par elle-même de la défektivité de cet instrument comme instrument à mesurer, mais on peut encore indiquer d'autres circonstances qui nous obligent à en venir au même résultat.

<sup>1</sup> Domke und Reimerdes. Handbuch der Ariometrie, S. 148, Berlin, 1912.

<sup>2</sup> Ibid. Tafel 30, 32.

Sous ce rapport il faut noter le caractère tout conventionnel des indications données par un aréomètre semblable. Qu'est ce que les degrés de Baumé, Balling et autres? Baumé lui-même supposait à tort que ses degrés indiquaient le pourcentage du sel dans les solutions. Mais pour nous ce ne sont que des nombres conventionnels n'ayant de rapport direct avec aucune propriété physique du liquide et par cela même complètement inutiles. En conséquence, un instrument qui donne ses indications en des nombres conventionnels, est un instrument superflu.

La tendance naturelle à réduire le nombre des variétés d'instruments à mesurer est aussi une des raisons poussant à écarter définitivement les aréomètres à échelle conventionnelle. Les mesures aréométriques ont surtout besoin de cette réduction car il semble bien qu'aucun autre domaine de mesures ne se distingue par des instruments aussi multiples, mais servant au fond à un même but.

Pour élucider entièrement cette question on doit indiquer la propriété distinctive de l'échelle des aréomètres étudiés, par laquelle ils ont fixé l'attention — c'est l'uniformité de l'échelle.

Si la construction de l'échelle uniforme offrait par sa simplicité des avantages pour un constructeur de jadis, aujourd'hui, avec le perfectionnement actuel des machines à diviser, ces avantages perdent de leur importance. Néanmoins, il est indispensable de noter encore à propos de l'uniformité de l'échelle la grande importance de la circonstance suivante: la concordance des degrés de l'échelle uniforme et des degrés exprimés par la formule citée au début, ne tient aucun compte de l'influence des phénomènes capillaires sur l'indication de l'aréomètre, d'où résulte une contradiction évidente entre l'uniformité de l'échelle et la formule ci-dessus mentionnée. C'est pourquoi il faut conserver la formule, d'après laquelle on définit aujourd'hui les densités conformément à chaque degré de l'échelle uniforme et en même temps renoncer à l'uniformité de l'échelle ou bien, concernant l'uniformité de l'échelle, chercher une formule nouvelle pour les concordances fondamentales. Une telle formule doit forcément être empirique et particulière pour chaque liquide. Il semble donc inutile de s'obstiner à suivre cette voie.

Il est donc clair que, étant donné l'état actuel des mesures aréométriques, il ne peut guère exister d'aréomètre scientifique d'échelle uniforme.

Toutes ces considérations ont amené l'Institut de Métrologie et de Standardisation de l'URSS à la décision de poser et d'étudier minutieusement la question relative à la mise hors d'usage de l'aréomètre Baumé et des autres aréomètres à échelle conventionnelle. Dès 1927 une commission fut formée à cette intention et, après échange de considérations à ce sujet avec les autres institutions scientifiques et les entreprises industrielles intéressées, on a élaboré et soumis à ratification le projet d'une loi concernant la mise hors d'usage des aréomètres à échelle conventionnelle. Cette loi est aujourd'hui ratifiée.

Afin de compléter ces données il est nécessaire de noter que la question de la mise hors d'usage de l'aréomètre Baumé a été soulevée plus d'une fois

En 1820 déjà Meissner émet cette opinion dans son ouvrage sur l'aréométrie. Beaucoup plus tard cette idée surgit en France.

En Allemagne la question fut récemment discutée, après avoir été soulevée, par des organisations industrielles, notamment par plusieurs branches de l'industrie chimique. On peut juger à quel degré l'aréomètre Baumé rendait difficile le travail des organisations industrielles d'après ce que l'Union de l'industrie d'amidon et de mélasse, par exemple, a pris sur elle l'initiative pour renoncer à la normalisation de ses produits en degrés de Baumé et qu'elle a passé à la densité.

La Physikalisch-Technische Reichsanstalt non plus n'a pas laissé sans attention la question soulevée et, en soutenant par son autorité la décision générale, elle a déjà mis en vigueur un règlement d'après lequel les aréomètres Baumé ne sont plus admis à la vérification.

Pour résoudre définitivement cette question il nous reste à élaborer un type d'aréomètre qui marque la densité, un instrument qui puisse remplacer l'aréomètre Baumé, employé aujourd'hui dans l'industrie et la technique.

Un aréomètre de ce genre ne doit pas être trop long, cependant il doit pouvoir s'étendre à des intervalles de densité assez grands et pouvoir noter la densité de 0,01 d'unité. Dans ce but l'Institut de Métrologie et de Standardisation de l'URSS, a adopté un assortiment de trois aréomètres.

1. Les aréomètres Baumé pour les mesures techniques de la densité des liquides plus lourds que l'eau, aux divisions en degrés entiers sont remplacés:

l'aréomètre Baumé de 0 à 72° — par un aréomètre de 1,00 à 1,85  $g/cm^3$  aux subdivisions minimales de 0,02  $g/cm^3$ ;

le même aréomètre de 0 à 50° par un aréomètre de 1,00 à 1,50  $g/cm^3$  aux subdivisions minimales de 0,01  $g/cm^3$ ;

le même aréomètre de 0 à 30° — par un aréomètre de 1,00 à 1,25  $g/cm^3$  aux subdivisions minimales de 0,1  $g/cm^3$ .

2. Les aréomètres Baumé pour les mesures techniques de la densité des liquides plus légers que l'eau aux divisions en degrés entiers sont remplacés:

l'aréomètre de 70 à 10° — par un aréomètre de 0,65 à 1,00  $g/cm^3$ , aux subdivisions minimales de 0,02  $g/cm^3$ .

3. Les aréomètres Baumé employés pour les mesures techniques de la densité des solutions aqueuses de l'acide sulfurique dans les accumulateurs à échelle de 14° à 32° B aux divisions en 0,5° sont remplacés par des aréomètres de 1,000 à 1,300  $g/cm^3$  aux subdivisions minimales de 0,005  $g/cm^3$ .

4. Les aréomètres Baumé pour les mesures de précision de la densité des liquides plus lourds que l'eau sont remplacés:

par un aréomètre de 1,000 à 1,120  $g/cm^3$   
" " " " 1,120 " 1,240 "  
" " " " 1,240 " 1,360 "

par un aréomètre de 1,360 à 1,480 g/cm<sup>3</sup>

• • • •	•	1,480	•	1,600	•
• • • •	•	1,600	•	1,720	•
• • • •	•	1,720	•	1,840	•

Tous les aréomètres pour la détermination des densités, qui remplacent les aréomètres Baumé, sont gradués à 20° C et aux subdivisions minimales de 0,001 g/cm<sup>3</sup>.

## SUR L'UNITÉ DE CHALEUR

Par S. V. Lipine

Plusieurs questions ayant trait aux problèmes de métrologie, qui avaient été posées à la VIII<sup>e</sup> Conférence générale des Poids et Mesures par la délégation de l'U.R.S.S., n'y ont pas été discutées. D'après la résolution de la Conférence, ces problèmes étaient hors de sa compétence et seraient du ressort de la Conférence de Métrologie pratique. L'une de ces questions — l'établissement d'une uniformité des unités d'énergie — fait l'objet de cet article.

La substitution des unités électriques absolues aux unités internationales, sanctionnée par la VIII<sup>e</sup> Conférence générale des Poids et Mesures, établit l'uniformité des unités d'énergie mécaniques et électriques. Mais il y manque jusqu'à présent non seulement l'uniformité des unités de chaleur et des unités mécaniques, mais encore l'uniformité de diverses unités de chaleur.

Une courte revue historique démontre la diversité des unités de chaleur et leur origine.

Les premières mesures de la chaleur développée au cours d'un phénomène ont été faites par Lavoisier et Laplace<sup>1</sup>. Ils exprimèrent les quantités de chaleur développées pendant le phénomène étudié en livres de glace fondue dans le calorimètre. En déterminant la chaleur spécifique de divers corps, Lavoisier et Laplace rapportèrent les résultats obtenus à la chaleur spécifique de l'eau, en prenant pour unité la quantité de chaleur qui peut élever la température d'une livre d'eau d'un degré du thermomètre français. Pour passer d'une unité à l'autre, ils ont déterminé la chaleur de fusion de la glace en degrés de chaleur. D'après leurs mesures la chaleur de fusion de la glace est égale à 60 degrés de chaleur, c'est à dire la quantité de chaleur, nécessaire pour fondre une livre de glace, peut élever de 60 degrés la température d'une livre d'eau. Le degré de chaleur peut être considéré comme l'ancêtre de la calorie moyenne et de la BTU moyenne.

Dans son travail sur la chaleur spécifique de l'eau Regnault<sup>2</sup> a pris pour unité la calorie à 0°, rapportée à un degré du thermomètre à air et à la masse d'un gramme d'eau. Cette unité était employée jusqu'à la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, quand Schuller et Wartha<sup>3</sup> eurent proposé

<sup>1</sup> Mémoire sur la chaleur, Mém. Acad. 354 (1780).

<sup>2</sup> Mém. Acad. 21, 729 (1857).

<sup>3</sup> Wied. Ann. 2, 359 (1877).

d'adopter comme unité de chaleur la calorie moyenne, déterminée comme 1/100 de la quantité de chaleur, nécessaire pour élever la température d'un gramme d'eau de 0° à 100°C. Ils avaient pris cette unité, la trouvant plus facile à reproduire. Sans s'en rendre compte Bunsen<sup>1</sup> s'était déjà servi de la calorie moyenne, quoiqu'il eût adopté la calorie à 0°<sup>2</sup>.

En 1899 Warburg proposa d'adopter comme unité de chaleur la calorie 15°, c'est à dire la quantité de chaleur qui peut élever la température d'un gramme d'eau de 14,5° à 15,5° sous une pression de 760 mm. Selon Warburg les raisons pour lesquelles il y a lieu d'adopter cette unité consistent en ce que 1) à la température d'environ 15° la chaleur spécifique de l'eau est déterminée avec la précision maximale, 2) auprès de cette température le coefficient thermique de la chaleur spécifique de l'eau est minimal, 3) cette température est très proche de la température de la chambre. Cette unité est aujourd'hui la plus répandue parmi les unités de chaleur et est adoptée comme unité légale en France, en Allemagne et dans quelques autres pays.

Deux ans plus tard Griffiths proposa d'adopter la calorie à 17,5°, déterminée comme la calorie moyenne entre les températures de 15° et 20°C. Cette unité n'a presque pas été employée.

Presque en même temps Callendar<sup>3</sup> proposa de rapporter l'unité de chaleur à la température de 20°C, étant donné que la température de 20° est plus proche de la température ambiante. Cette température est adoptée comme température normale pour la plupart des mesures et ordonnée comme telle en URSS. La calorie 20° est très répandue actuellement dans les pays d'Europe et aux Etats-Unis et a été adoptée par l'URSS en 1933 comme unité légale de chaleur.

Enfin, par la loi de 1924 à coté de la calorie 15°, rapportée à un kilogramme d'eau, l'Allemagne adopta comme unité de chaleur la kilowattheure internationale, égale à 860 kcal 15°.

La diversité des unités de chaleur est augmentée par l'emploi de la calorie rapportée à un gramme ainsi qu'à un kilogramme d'eau.

Outre ces unités, rapportées à l'unité métrique de masse et à un degré de l'échelle internationale de température, on emploie en Angleterre et aux Etats-Unis quelques unités de chaleur, rapportées à la masse d'une livre d'eau et à un degré de l'échelle Fahrenheit aux diverses températures. Ce sont:

La British Thermal Unit (59°F), déterminée comme la quantité de chaleur qui peut élever d'un degré Fahrenheit une livre d'eau à la température de 59°F.

<sup>1</sup> Pogg. Ann. 141, 23 (1870).

<sup>2</sup> Ibid, p.p. 2 et 19.

<sup>3</sup> Une proposition identique avait déjà été faite par Rowland. B. A. Report, Liverpool (1896).

La BTU (36°F), déterminée de la même manière, mais rapportée à la température de 36°F.

La BTU moyenne, c'est à dire 1/180 de la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une livre d'eau de 0° jusqu'à la température de son ébullition.

Enfin la pound-calory moyenne ou la centigrade thermal unit (CTU) est 1/100 de la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une livre d'eau de 0° C à la température d'ébullition.

La première de ces unités est adoptée aux Etats-Unis comme unité légale de chaleur <sup>1</sup>.

Il est évident que toutes ces unités sont rapportées à la pression de 760 mm.

La calorie 20°, la calorie 15°, la BTU (59°F) et la kilowattheure sont les unités actuelles. Cette diversité des unités de chaleur indépendantes des unités d'énergie mécanique exige depuis longtemps une réforme complète.

Au point de vue de l'uniformité des mesures il serait préférable de mesurer la chaleur, comme l'a proposé Jäger <sup>2</sup> en unités mécaniques. Malheureusement les unités spéciales de chaleur ont pénétré trop profondément dans la technique pour pouvoir les en exclure tout d'un coup. Par conséquent, il ne reste qu'à adopter comme unité principale l'une des unités absolues, en conservant l'unité spéciale comme unité facultative, dérivée des unités mécaniques.

La substitution des unités électriques absolues aux unités électriques internationales, sanctionnée par la VIII-e Conférence générale des Poids et Mesures, détermine dans le même sens le choix du système des unités mécaniques. La convention du Mètre oblige d'adopter comme unité spéciale de chaleur l'unité rapportée à l'unité métrique de masse et à l'échelle internationale de température, c'est à dire la calorie. Pour dériver la calorie des unités absolues, l'auteur a proposé de la déterminer comme une quantité de chaleur équivalente à l'unité mécanique choisie, en rejetant l'ancienne détermination de la calorie comme une quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température de l'unité de masse d'eau à la température moyenne de 20°C.

La question sera résolue par le choix de la valeur numérique la plus probable de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Dans un mémoire présenté à la VIII-e Conférence générale des Poids et Mesures <sup>3</sup>, ainsi que dans un second mémoire <sup>4</sup>, présenté à l'Académie des

<sup>1</sup> B. S. Circular, N. 48.

<sup>2</sup> Handb. der Physik, IX, 475 (1926).

<sup>3</sup> Sur la valeur numérique de l'équivalent mécanique de la chaleur et le rapport entre la calorie 15° et la calorie 20°C (1933).

<sup>4</sup> Zur Feststellung einer internationalen Wärmeeinheit auf Grund der mechanischen Energieeinheiten, Bull. Acad. Sciences de L'URSS, 1441 (1933).

Sciences de l'URSS par A. N. Krylow, Membre de l'Académie, l'auteur de cet article fait une revue critique des travaux sur l'équivalent mécanique de la chaleur et sur la chaleur spécifique de l'eau. Après avoir introduit quelques corrections et en admettant pour les résultats des déterminations, produites par la méthode électrique,

1 joule int. = 1,0003<sub>5</sub> joule absolu,

l'auteur a trouvé au moyen de la théorie de probabilité que la valeur numérique probable de l'équivalent mécanique de la chaleur, rapportée à une calorie 20° est égale à  $4,182 \times 10^7$  ergs.

Malgré tous les soins apportés par l'auteur en vue de fournir un mémoire plus complet, deux travaux d'une grande importance lui ont échappé. Ce sont les travaux de Laby et de Laby et Hercus.

Dans une communication faite à la Société Royale Laby<sup>1</sup> a fait une revue critique des résultats des déterminations de l'équivalent mécanique de la chaleur en commençant par les données obtenues par Rowland. En introduisant quelques corrections d'une manière différente de celle qui a été appliquée par l'auteur de cet article, Laby arrive au même résultat; il trouve la valeur probable de l'équivalent mécanique de la calorie égale à  $4,182 \times 10^7$  ergs.

En même temps Laby a produit en collaboration avec Hercus<sup>2</sup> de nouvelles recherches expérimentales sur la valeur de l'équivalent mécanique. Ils ont appliqué la méthode mécanique en se servant de l'électrodynamomètre construit par Roberts et d'un calorimètre à écoulement d'eau. La différence des températures de l'eau a été mesurée au moyen de deux thermomètres à résistance de platine et d'un pont de résistance de Mueller. Ils ont trouvé pour l'équivalent mécanique de la chaleur à la température de 16,7°C la valeur de  $4,1841 \times 10^7$  ergs. En adoptant pour le rapport des chaleurs spécifiques de l'eau aux températures de 16,7° et 20° les données de Griffiths, Laby et Hercus ont trouvé pour l'équivalent mécanique de la calorie 20° la valeur  $4,1809 \times 10^7$  ergs. En se servant des données plus précises de Jaeger et Steinwehr, on obtint pour l'équivalent mécanique

de la calorie 20° =  $4,181_1 \times 10^7$  ergs

. . . 15° =  $4,185_3 \times 10^7$  .

Il résulte des mémoires mentionnés plus haut et consacrés à l'étude des travaux concernant la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, que l'auteur de cet article en est venu à conclure, que jusqu'à présent cette valeur n'est pas déterminée avec la précision correspondante à l'état actuel de la métrologie. Il a signalé la nécessité d'une nouvelle détermination de

<sup>1</sup> Proc. Roy. Soc. 38, 169 (1926).

<sup>2</sup> Phil. Trans. Roy. Soc. A, 227, 53 (1927).

l'équivalent mécanique, qui ne céderait en rien à la détermination produite à la PTR et proposa d'adopter, en attendant la réalisation de cette détermination, la valeur  $4,182 \times 10^7$  ergs à 20°C.

L'étude suivante du travail de Laby et Hercus a montré que la détermination voulue a déjà été faite par ces investigateurs. Un travail de Jessel<sup>1</sup> nouvellement paru montre que la troisième décimale de la valeur numérique de l'équivalent mécanique de la chaleur peut être considérée comme étant établie avec certitude.

Dans ce dernier travail produit au moyen d'un calorimètre à écoulement d'eau par la méthode électrique et consacré à l'étude de l'effet produit par l'air dissous sur la chaleur spécifique de l'eau, Jessel a obtenu pour la chaleur spécifique de l'eau désaérée, conformément aux températures de 16,8 et 22, 1°C les valeurs de 4,1858 et 4,1789 joules absolues. Par l'interpolation on obtient pour l'équivalent mécanique de la calorie 20° la valeur de  $4,1812 \times 10^7$  ergs et en adoptant pour le rapport de la calorie 20° à la calorie 15° la valeur de 0,9990, déduite par l'auteur dans le mémoire ci-dessus mentionné, on trouve l'équivalent mécanique de la calorie 15° égal à  $4,1854 \times 10^7$  ergs.

L'analyse de ces travaux a démontré qu'ils ne le cèdent en rien à celui de Jaeger et Steinwehr. Une comparaison des trois résultats obtenus par deux méthodes différentes, prouve que les valeurs trouvées coïncident entre elles à quelques unités près dans la quatrième décimale.

	Calorie 15°	Calorie 20°
Jaeger et Steinwehr . . . . .	$4,1856 \times 10^7$ ergs	$4,1814 \times 10^7$ ergs
Laby et Hercus . . . . .	4,1853	4,1811
Jessel . . . . .	4,1854	4,1812
Moyenne . . . . .	$4,1854 \times 10^7$ ergs	$4,1812 \times 10^7$ ergs

Une concordance parfaite des valeurs obtenues par trois mesures correspondantes à l'état actuel de la métrologie, permet d'adopter pour l'équivalent mécanique de la calorie 20° la moyenne des trois valeurs c'est à dire  $4,1812 \times 10^7$  ergs. Cette valeur peut y servir à déterminer la calorie.

D'autre part, le fait que l'unité spéciale de chaleur a pour raison d'être son emploi dans la technique, nous oblige à conserver l'unité employée dans ce domaine, c'est à dire, l'unité rapportée à la masse d'un kilogramme d'eau.

Pour ces raisons l'auteur propose:

1. D'adopter comme unité principale de chaleur l'unité d'énergie mécanique — le kilojoule =  $10^{10}$  ergs.
2. De conserver comme unité facultative l'unité spéciale — la calorie 20°, en la déterminant comme une quantité de chaleur équivalente à  $4,181_2 \times 10^{10}$  ergs.
3. De subdiviser la calorie en 1000 millicalories, égales à  $4,181_2 \times 10^7$  ergs.

<sup>1</sup> Jessel, Proc. Phys. Soc. 46, 747 (1934).

4. D'adopter pour indiquer la calorie et la millicalorie les abréviations „cal“ et „mcal“.

Les corrélations des différentes unités de chaleur, nécessaires pour réduire les données exprimées en autres unités, sont indiquées dans la table ci-dessous:

	Calorie (20°)	Kilojoule
Calorie (20°) . . . . .	1	4,1812
Calorie 15° . . . . .	1,0010	4,1854
Calorie moyenne . . . . .	1,0020	4,1896
Calorie = 1/860 kwth int . . . . .	1,0015	4,1875
BTU (59° F) . . . . .	0,2522	1,0545
BTU moyenne . . . . .	0,2525	1,0557
CTU . . . . .	0,4545	1,9009

Pour la réduction de la calorie moyenne, de la BTU moyenne et de la CTU il est admis que le rapport entre la chaleur spécifique moyenne de l'eau et sa chaleur spécifique à 20° C est égal à 1,0020 (moyenne des valeurs obtenues par Callendar, Sutton et Griffiths et Awbery).

### RÉSUMÉ

Dans un court aperçu des unités de chaleur l'auteur a montré la diversité de ces unités et le manque d'uniformité des unités d'énergie.

Dans les deux mémoires qui ont précédé ce travail l'auteur a proposé de mesurer la chaleur en unités mécaniques absolues, en adoptant le kilojoule comme unité internationale principale et de conserver l'unité spéciale de chaleur — la calorie, rapportée à la température de 20° C comme unité facultative, dérivée de l'unité mécanique.

L'étude postérieure des travaux de Laby et Hercus et de Jessel et la comparaison des résultats obtenus par eux pour la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur avec les données de Jaeger et Steinwehr a montré une coïncidence parfaite des trois résultats, ce qui permet d'adopter pour l'équivalent mécanique, rapporté à la température de 20° C, la valeur  $4,1812 \times 10^{10}$  ergs au lieu de la valeur  $4,182 \times 10^{10}$  ergs, proposée par l'auteur dans les deux mémoires, mentionnés plus haut.

L'auteur propose d'adopter comme unité facultative internationale de chaleur la calorie 20° C en la déterminant comme une quantité de chaleur dérivant de l'unité mécanique principale, ainsi:

$$\text{La calorie} = 1000 \text{ millicalories} = 4,1812 \times 10^{10} \text{ ergs.}$$

Les relations nécessaires pour la réduction des données exprimées en d'autres unités de chaleur à l'unité proposée, sont indiquées par l'auteur dans la table ci-dessus.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем сборнике собраны доклады, отражающие точку зрения Всесоюзного Института Метрологии и Стандартизации по различным вопросам научной и прикладной метрологии, которые могут быть поставлены на обсуждение на заседаниях Международного Комитета мер и весов сессии 1935 г. Эти вопросы частично вытекают из постановлений VIII (а также VII) Генеральных Конференций мер и весов, частично ставятся по инициативе Всесоюзного Института Метрологии и Стандартизации и в основном сводятся к следующим трем моментам:

1. Новое определение метра в длинах световых волн;
2. Установление единообразия в измерениях температур;
3. Разрешение в международном масштабе некоторых вопросов практической метрологии.

Всесоюзный Институт Метрологии и Стандартизации рассматривает доклады, содержащиеся в настоящем сборнике, как материалы, которые могут быть полезными при обсуждении в Международном Комитете указанных вопросов.

*Л. В. Залуцкий.*

---

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время в нашей стране...

В заключение...

но  
др  
ед  
то  
че  
бы  
на  
ме  
яв  
по  
ме  
но  
ни  
ре  
по  
о  
эт  
ни  
во  
в  
к  
из

## ДЛИНА СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ, КАК ОСНОВНАЯ ЕДИНИЦА ДЛИНЫ

В. Е. Мурашкинский

Метрология, занимаясь установлением единиц измерений и их эталонов, должна ставить вопрос о замене одних единиц и одних эталонов другими единицами и эталонами всякий раз, когда выясняется, что вторые единицы или эталоны могут быть воспроизведены и измерены с большей точностью, чем первые. С развитием научной мысли, с развитием технических возможностей такие замены являются неизбежными. Метрология, быть может, гораздо более осторожно, чем это имеет место в других науках, производит эти измерения, что диктуется уже той ролью, которую метрология играет среди других областей знаний.

В отношении мер длины наиболее характерной в этом отношении является замена архивного метра современным международным прототипом в 1889 г. Эта замена была вызвана тем обстоятельством, что архивный метр, как мера концевая, не мог в то время измеряться с такой точностью, как штриховые меры.

В настоящее время с развитием техники интерференционных измерений получилась обратная картина. Концевые меры могут быть интерференционно измерены с большей точностью, чем штриховые меры при помощи компараторов. Это обстоятельство заставляет поднять вопрос о замене существующего международного прототипа метра другим эталоном длины, и возможно, даже пересмотреть вопрос о самой единице длины. В качестве такой единицы предлагается длина световой волны.

Рассмотрим положение этого вопроса в настоящее время.

### 1. КРАТКИЙ ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Все произведенные до настоящего времени измерения длины метра в длинах световых волн относятся к линиям кадмия, главным образом к красной линии кадмия. В дальнейшем здесь будут указаны результаты измерений только относительно этой последней линии.

1) 1892 г. Майкельсон (см. № 1) при измерении метра в длинах воли получил следующие числа:

$$1 \text{ метр} = 1553163,5 \lambda_R \text{ или}$$

$$\lambda_R = 0,64384722 \mu \dots \dots \dots (1)$$

Майкельсон в этой работе пользовался ртутными термометрами, не приводя их показаний к нормальной шкале. Он не вводил также поправок на влажность воздуха. Введя эти поправки, а также введя новые значения (но не окончательные) коэффициента расширения метра № 26, которым пользовался Майкельсон, а также задавая условной величиной для влажности, Гильом (см. № 3) получил для результата Майкельсона следующие исправленные числа:

$$1 \text{ метр} = 1553164,95 \lambda_R \text{ или}$$

$$\lambda_R = 0,64384691 \mu \dots \dots \dots (2)$$

Нало сказать, что в этих последних числах не учтены, повидимому, поправки на содержание в воздухе углекислого газа. Коэффициент расширения этого метра взят по данным 1927 г.

2) В 1905—1906 г. Фабри и Перо (см. № 2) измерили длину метра в длинах воли, хотя также интерференционным, но принципиально отличным методом. Они получили:

$$1 \text{ метр} = 1553164,13 \lambda_R \text{ или}$$

$$\lambda_R = 0,64384696 \mu \dots \dots \dots (3)$$

Гильом (см. № 3), введя поправки на изменение длины метра № 26 и  $T_3$ , которыми пользовались Фабри и Перо и на новые (но также не окончательные) значения их коэффициентов расширения, дает такие числа:

$$1 \text{ метр} = 1553163,70 \lambda_R \text{ или}$$

$$\lambda_R = 0,64384703 \mu \dots \dots \dots (4)$$

К сожалению, Гильом не приводит точных значений старых и новых коэффициентов расширения, которыми он пользовался для вычисления поправок.

Ватанабе и Иманзуми при своих работах по измерению метра (см. ниже) произвели новый пересчет чисел Фабри и Перо. Они получили (см. № 4) для них следующие значения:

Для метров № 26 и  $T_3$  даны следующие уравнения для 1905—1906 г.г

$$\text{№ 26} = 1 \text{ м} + (0,80 + 8,647 t + 0,00100 t^2) 10^{-6}$$

$$T_3 = 1 \text{ м} + (1,52 + 8,634 t + 0,00106 t^2) 10^{-6}$$

Новые значения этих уравнений получили вид:

$$\text{№ 26} = 1 \text{ м} + (0,70 + 8,622 t + 0,00177 t^2) 10^{-6}$$

$$T_3 = 1 \text{ м} + (1,24 + 8,622 t + 0,00177 t^2) 10^{-6}$$

Разница для температуры в  $15^\circ$  между этими значениями равна:

для № 26 . . . . .	— 0,304 $\mu$
для $T_2$ . . . . .	— 0,29 $\mu$
	Среднее . . . . . — 0,29 $\mu$

Вводя эту поправку в числа Фабри и Перо, они получили:

1 метр = 1553164,58  $\lambda_R$  или

$$\lambda_R = 0,64384677 \mu \quad \dots \quad (5)$$

Числа (5) Ватанабе и Имаизуми исправил и на количество углекислого газа в воздухе, принимая его во время измерений Фабри и Перо равным условно 0,05%, тогда эти числа для нормального воздуха получают вид:

1 метр = 1553164,47  $\lambda_R$  или

$$\lambda_R = 0,64384682 \mu \quad \dots \quad (6)$$

Принимая для количества углекислого газа не 0,05%, а 0,03%, имеем:

$$\lambda_R = 0,64384680 \mu \quad \dots \quad (7)$$

3) В 1927 г. Ватанабе и Имаизуми произвели третье измерение метра в длинах волн по методу, почти точно совпадающему с методом Фабри и Перо (см. № 4). Они получили:

1 метр = 1553164,37  $\lambda_R$  или

$$\lambda_R = 0,64384685 \mu \quad \dots \quad (8)$$

Это измерение относится, как и первоначальное измерение Фабри и Перо, к температуре  $15^\circ$ , давлению 760 мм и абсолютно сухому воздуху. При этих измерениях Ватанабе и Имаизуми воздух был свободен от углекислого газа.

Сирс и Баррелл (см. № 8), приводя это число к нормальному воздуху ( $15^\circ\text{C}$ , 760 мм давления воздуха, абсолютно сухого и содержащего 0,03 процента углекислого газа), получили:

$$\lambda_R = 0,64384682 \mu \quad \dots \quad (9)$$

4) В 1933 г. Сирс и Баррелл произвели четвертое измерение метра в длинах волн (см. №№ 6, 7 и 8). Они получили:

	Метр	$\lambda_R$
В воздухе при $20^\circ$	1553156,33 $\lambda_R$	0,64385019 $\mu$
В воздухе при $15^\circ$	1553163,76	0,64384711
В вакууме	1552734,52	0,64402511

Как видно из приведенных чисел, Сирс и Баррелл свои измерения произвели не только для обычных условий воздуха (температура  $15^\circ\text{C}$ , давление 760 мм и 0% влажности), но и для воздуха в  $20^\circ$  и для вакуума. В двух первых случаях воздух был свободен от угле-





расширения и об изменении длины эталонов метра. Повидимому, это постановление надо понимать в первом смысле. Тогда, очевидно, оно имеет обратную силу и новые уравнения надо считать действительными для всех измерений, произведенных прямо или косвенно при помощи эталонов метра, начиная с 1889 года.

Для полной сравнимости приведенных выше результатов измерений метра в длинах волны, нужно было бы произвести полный пересчет всех вычислений, принимая во внимание новые уравнения эталонов метра, а также новые уравнения и всех рабочих эталонов, участвовавших в каждом из этих измерений. Сделать это, если и возможно, то не так просто. Я не имел возможности произвести эти пересчеты и привел в разделе I числа, данные указанными авторами в их работах.

Можно здесь привести одну интересную таблицу, данную Сирсом и Баррелл (см. № 8) для сравнения всех полученных результатов по измерению длины волны красной линии кадмия. Сирс и Баррелл приводит наиболее надежные перевычисления (см. 2, 4, 9 и 11 предыдущей таблицы).

Длина волны красной линии кадмия

Наблюдения	Непосредственно полученные числа	После приведения к нормальному воздуху	Отклонение от среднего значения в $10^{-10}$ д
Майкельсон . . . .	0,64384722	0,64384691	- 0,0005
Фабри и Перо . . .	0,64384696	0,64384703	+ 0,0007
Ватанабэ и Иманзуми . . . . .	0,64384685	0,64384682	- 0,0014
Сирс и Баррелл . .	0,64384711	0,64384708	+ 0,0012
	Среднее . . . . .	0,64384696	

Интересно отметить, что среднее из всех исправленных (с приведением к нормальному воздуху) значений случайно получилось равным как раз первоначальному (неисправленному) числу Фабри и Перо.

Необходимо указать, что все указанные поправки введены в числа третьего столбца. Что касается поправок на влажность и на содержание углекислого газа, то они для первых двух чисел введены условно, так как эти величины не измерялись во время самих наблюдений.

Если и можно признать, судя по таблице, что некоторые измерения очень хорошо совпадают одно с другим, то это надо считать совершенной случайностью, так как все указанные измерения базируются на компараторном сличении одной штриховой меры (штриховой эталон) с другой штриховой мерой (интерференционный эталон с нанесенными на зеркалах штрихами или концевой метр с дополнительными пластинками со штрихами), т. е. точность измерения метра в длинах световых волн целиком основана на точности компараторных измерений.

В большинстве указанных измерений трудно даже установить точность интерференционных измерений. Только Сирс и Баррелл вполне отчетливо поставили и разрешили этот вопрос, определив интерференционным методом длину материальной концевой меры, которая затем компараторным способом сличалась со штриховым эталоном. Они таким образом резко отделили точность интерференционных измерений от точности компараторных измерений. Точность интерференционного измерения указанной выше концевой меры в работе Сирса и Баррелл характеризуется так: вероятная ошибка результатов равна  $\pm 0,025$  длины волны, т. е. около  $2 \cdot 10^{-8}$  измеряемой величины.

Судя по предварительному сообщению Кестерса и Лампе (см. № 9), они также измеряли концевую меру в длинах волн интерференционным методом и сравнением ее со штриховым эталоном метра при помощи компаратора. Точность интерференционного измерения концевой меры в длинах волн они определяют также в  $2 \cdot 10^{-8}$ .

Надо признать, что измерение штрихового метра в длинах волн может служить только дополнительным контролем компараторных измерений, оно не использует точности интерференционных измерений, которая в данном случае целиком поглощается ошибками компараторного измерения.

Надо здесь указать, что некоторыми авторами предлагалось принять в качестве основной длины волны вместо красной линии кадмия, длину волны желто-зеленой линии криптона или зеленой линии криптона, но до сих пор мы не имеем ни одного измерения метра с этими длинами волн.

### III. ВОПРОС О ДЛИНЕ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ И ЕЕ ОТНОШЕНИИ К ДЛИНЕ МЕТРА НА ГЕНЕРАЛЬНЫХ КОНФЕРЕНЦИЯХ МЕР И ВЕСОВ

II Генеральная Конференция мер и весов в 1895 г. по докладу об измерении метра в длинах волн постановила:

„Конференция единогласно утверждает решение Комитета (мер и весов) считать естественным свидетелем прототипа метра его отношение к длинам световых волн“.

Как видно из этого постановления, Конференция не установила ни числового соотношения, ни тех длин волн, к которым относится это постановление.

IV Генеральная Конференция мер и весов в 1907 г. по докладу о результатах работы Фабри и Перо постановила:

„Конференция присоединяется к мнению, высказанному Международным Комитетом (мер и весов) о желательности, насколько это возможно, иметь в будущем контроль значения прототипа метра при помощи физических явлений светового излучения“.

Здесь также не фиксируется отношение длины метра к длине световой волны.

Международный Союз по Исследованию Солнца на Конгрессе в Оксфорде в 1905 г. постановил (резолюция 29):

„Длина волны удобно избранной линии должна быть принята, как первичный эталон для длин волн. Число, характеризующее эту волну, должно быть фиксировано раз навсегда. Оно должно определять единицу для длин волн, которая отличается насколько возможно мало от  $10^{10}$  метра и называется „ангстрем“.

На Конгрессе в Медоне в 1907 г. по докладу Перо об измерении метра в длинах волн, Союз по Исследованию Солнца подтвердил предыдущие решения и принял следующее решение:

„... Длина волны красной линии кадмия... равна 6438,4696 ангстрема...“.

Бенуа, присутствовавший на этом Конгрессе, как метролог, резко возражал против окончательного фиксирования соотношения между метром и длиной волны, а тем более фиксирования его раз навсегда.

Впоследствии Международный Астрономический Союз в качестве преемника Союза по Исследованию Солнца подтвердил последние решения.

Я счел необходимым привести здесь эти постановления, так как они оказали несомненное влияние на решение вопроса о длине световой волны и ее роли в метрологии.

На VII Генеральной Конференции мер и весов в 1927 г. делегация США (Берджес) выдвинула следующее официальное предложение:

„Предлагается, чтобы Конференция приняла длину волны красной линии кадмия, определенную Бенуа, Фабри и Перо, как основной эталон для длины световых волн. Длина этой волны равна  $6438,4696 \cdot 10^{10}$  метра... метр должен быть определен отношением: 1 метр = 1,553164,13 длины волны красной линии кадмия... Теоретические соображения говорят за признание, как постоянной и основной единицы длины — длины волны красной линии кадмия,

которая, по желанию, может быть получена в любой лаборатории с максимальной точностью, возможной для оптических измерений...».

VII Генеральная Конференция по этому предложению приняла решение, вынесенное по этому вопросу Международным Комитетом мер и весов. В этом решении Комитет принимает, хотя и в очень неопределенной форме предложение делегации США:

«При современном состоянии наших знаний рекомендовать Конференции принять за основной эталон для длины световых волн длину волны красной линии паров кадмия, определенную из измерений Бенуа, Фабри и Перо.

Согласно этим измерениям, длина волны этой линии равна  $643,81696 \cdot 10^{-9}$  метра... Значение метра, временно выраженное в длинах волн красной линии кадмия... равно 1553164,13 с точностью до последней значущей цифры».

Мне совершенно непонятно, почему именно VII Конференция установила, хотя и временно, старое число Фабри и Перо при наличии нового, более точного, так как факт случайного измерения длины рабочих эталонов Международного Бюро № 26 и Т<sub>2</sub> был Конференции известен, было также известно новое число, полученное Гильомом путем пересчета числа Фабри и Перо (см. выше). Повидимому, и здесь оказало влияние приведенное выше постановление Союза по Исследованию Солнца.

На VIII Генеральной Конференции мер и весов в 1933 г., делегат Великобритании (Сирс) вновь предложил, еще в более определенной форме, заменить платино-иридиевый прототип метра, как единицу длины — длиной световой волны.

Он (Сирс) считает, что наступил момент серьезно изучить вопрос о замене определения метра при помощи платино-иридиевого эталона определением в длинах волн. Он изложил это мнение в Международном Комитете мер и весов. После очень длинной дискуссии Комитет постановил приступить к изучению принципа этого вопроса\*.

Председатель Комитета подтвердил, что Комитет объявляет себя готовым изучить принцип последующего определения метра при помощи длины световой волны.

VIII Конференция санкционировала это сообщение.

#### IV. О ВОЗМОЖНОСТИ И МЕТОДАХ ПЕРЕХОДА НА ДЛИНУ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ, КАК ОСНОВНУЮ ЕДИНИЦУ ДЛИНЫ

К каждой единице измерений, в частности к каждому прототипу, необходимо предъявлять следующие требования:

1. Единица должна воспроизводиться и измеряться с предельной достижимой в данное время точностью,

2. Кроме того, при переходе от одной единицы измерений к другой должна быть сохранена преемственность.

Что касается современного прототипа метра, то до настоящего времени нет никаких определенных указаний на изменяемость его длины; наоборот, есть большой ряд подтверждений его неизменности. Это, конечно, верно только в пределах ошибок компараторных измерений.

Что касается длины световой волны, например, красной линии кадмия, то здесь тоже нет никаких указаний на ее изменяемость. Надо отметить, что вопрос об изотопии все же недостаточно изучен.

Относительно точности измерения и воспроизведения надо сказать, что измерять штриховые меры, в частности эталоны метра, можно с точностью значительно меньшей, чем можно измерять длину световой волны. На этом последнем вопросе необходимо остановиться. Что значит, измерить длину световой волны? Измерить всякую длину, значит сравнить ее с узаконенной единицей длины, в данном случае сравнить длину световой волны с длиной прототипа метра. В этом и заключается вся метрологическая неясность вопроса, так как длина световой волны может быть абсолютно измерена (по данным Сирса и Баррелла, а также Кестерса и Лампе) с большой точностью, порядка  $2 \cdot 10^{-8}$  только по отношению к некоторой концевой мере. Что же касается измерения длины волны по отношению к штриховой мере, то вся точность оптического (интерференционного) измерения целиком поглощается ошибками компараторных измерений. Поэтому длина волны, отнесенная к длине штриховой меры может быть дана только с компараторной точностью. Но почти все измерения длины волны по отношению к штриховой мере (см. раздел 1), даже без дополнительных, совершенно необходимых пересчетов, как видно из сводной таблицы, сходятся в пределах точности компараторных измерений. Расхождения же, превышающие ошибки компараторных измерений, должны быть отнесены за счет различия в способах приведения отдельных результатов к одним и тем же условиям наблюдения.

Из всего сказанного необходимо сделать следующие выводы:

Настоящий международный штриховой прототип метра и эталоны метра при современном положении вопроса об измерении длины, уже не удовлетворяют самому основному требованию, предъявляемому к прототипам и эталонам, они не могут быть измерены с максимальной для данной единицы измерения точностью. Неизбежно, следовательно, встанет вопрос о новой единице длины.

Если все указанные выше измерения длины штрихового прототипа метра в длинах волн и могут быть оправданы желанием иметь новый, независимый метод контроля компараторных измерений метра и установления постоянства его длины, то дальнейшие измерения

штрихового метра в длинах световых волн, уже не имеют абсолютно никакого значения.

Что касается выбора новой единицы длины, то здесь возможны два варианта:

1. В качестве единицы длины устанавливается длина волны избранной спектральной линии, например, длина волны красной линии кадмия. В этом случае несомненно должно существовать основное материальное воспроизведение этой единицы (международный эталон). Этот международный эталон длины по преимущественности должен быть по длине близок к современному метру и равным, допустим 1 552 734,52 длины волны красной линии кадмия или какому-либо другому, установленному международным соглашением, числу волн той же линии. Это неизбежно повлечет за собой установление, в качестве эталона длины, некоторой концевой меры, так как воспроизвести ее и измерить в длинах волн, как сказано выше, можно с точностью значительно большей, чем штриховую меру. Таким образом, если длина волны устанавливается в качестве прототипа, то эталоном для нее несомненно должна быть концевая мера. В этом случае, (так же, как и во втором варианте), остается недостаточно ясным вопрос об изменении оптической длины концевой меры (изменение поправки на скачек фазы) со временем вследствие изменения состояния оптической полировки их концевых плоскостей. Штриховые эталоны в этом случае должны являться только вторичными эталонами, сличаемыми не непосредственно с длиной волны, а с первичными концевыми эталонами.

2. В качестве единицы длины устанавливается длина некоторой концевой меры (концевого прототипа). Для создания преимущественности единиц новый концевой прототип должен быть равен современному международному прототипу метра, насколько это возможно при современных методах сличения концевых мер с штриховыми. Система одновременного изготовления большой серии эталонов, один из которых будет выбран, как прототип, должна быть применена по аналогии с созданием современного штрихового прототипа. Остальные концевые эталоны должны служить национальными первичными эталонами. Новый концевой прототип метра измеряется абсолютно в длинах световых волн. Более непосредственно, т. е. без промежуточных, вводящих большую погрешность, сличений со штриховой мерой, длина волны будет сличена с предельно достижимой интерференционной точностью с новым прототипом метра. Таким образом устанавливается теперь уже с интерференционной точностью соотношение между длиной прототипа метра и длиной волны, которая явится эталоном свидетелем метра. Окончательное сличение первичных национальных эталонов с прототипом должно дать значение этих эталонов по отношению к прототипу также с интерференционной точностью. Штрихо-

вые эталоны их в этом случае могут являться лишь вторичными эталонами.

Что касается самого численного значения длины волны, то для второго варианта оно должно быть определено совершенно заново по отношению к новому прототипу метра. В первом же случае вполне возможно воспользоваться имеющимся материалом. Как было уже указано, почти все произведенные определения длины волны сходятся в пределах точности компараторных измерений. По методу, по условиям наблюдения, по тщательности измерений все же наиболее достоверным надо признать числа Сирса и Баррелла.

Из данных этих же авторов следует признать, что длина волны при всех измерениях метра должна относиться не к воздуху при  $15^{\circ}\text{C}$ , как это делалось до сих пор, а к вакууму, в этом случае результаты получаются значительно точнее.

## V. ВЫВОДЫ

Таким образом, принимая первый вариант, можно определение основной единицы длины и ее эталонов формулировать так:

1. Основной единицей длины является длина волны красной линии кадмия в вакууме, испускаемой лампой Майкельсона (далее следует спецификация лампы и ее режима).

2. Практической единицей длины является метр, равный  $1\,552\,734,52$  длины волны красной линии кадмия.

3. Международным материальным воспроизведением метра (международным эталоном метра) служит стержень (далее следует спецификация материала и формы стержня) с оптически полированными, параллельными друг другу плоскостями, расстояние между которыми при  $20^{\circ}\text{C}$  должно равняться метру.

4. Копией (рабочей) международного эталона служит аналогичная концевая мера, сличаемая с основным международным эталоном метра.

5. Вторичным эталоном метра служит платино-иридиевый стержень X-образного сечения со штрихами, нанесенными по его нейтральной плоскости. Расстояние между осями избранных штрихов должно быть при  $20^{\circ}\text{C}$  равно метру.

Вторичный (штриховой) эталон устанавливается по длине международного (концевого) эталона метра.

6. Основными национальными эталонами метра служат аналогичные концевые меры, сличаемые с основным международным (концевым) эталоном.

Принимая второй вариант, соответствующее определение можно формулировать так:

1. Основной единицей длины является метр, равный при  $20^{\circ}\text{C}$  расстоянию между оптическими полированными и параллельными друг

другу конечными плоскостями стержня (далее идет спецификация материала и формы стержня), хранимого в Международном Бюро мер и весов и признанного . . . . . Генеральной Конференцией мер и весов международным прототипом метра.

2. Основным свидетелем международного прототипа метра служит длина волны (в вакууме) красной линии кадмия, излучаемой лампой Майкельсона (далее следует спецификация формы лампы и ее режима).

3. Основным международным (рабочим) эталоном метра является аналогичная кошечая мера, сличаемая с международным прототипом метра при помощи интерференционного метода.

4. Вторичным международным эталоном метра служит штриховой метр (далее следует спецификация материала и форма этой меры), сличаемой с международным прототипом метра.

5. Основными и вторичными национальными эталонами метра в этом случае будут такие же, как и в первом случае.

Из всего вышесказанного ясно, независимо от того, какой из этих вариантов будет признан наиболее удобным и правильным, что существующее определение основной единицы длины несомненно уже устарело и требует скорейшего решения вопроса как о новой единице, так и об ее материальном воспроизведении, т. е. международном и национальных эталонах.

Всесоюзный Институт Метрологии и Стандартизации, рассмотрев в ряде специальных совещаний этот вопрос, постановил присоединиться к первому варианту и представить его в виде предложения ближайшей сессии Международного Комитета мер и весов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Michelson. Détermination expérimentale de la valeur du mètre en longueurs d'ondes lumineuses.

Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures. Vol. 11. 1895.

2. Benoit, Fabry et Pérot. Nouvelle détermination du rapport des longueurs d'ondes fondamentales avec l'unité métrique. Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures, Vol. 15, 1913.

3. Guillaume. La création du Bureau international des Poids et Mesures. Paris. 1927.

4. Watanabe et Imaizumi. Determination of the Length of International Meter in Terms of the Red Cadmium Line.

Proceedings of the Imperial Academy of Tokyo. IV, № 7, 1928.

5. Guillaume. Les récents progrès du système métrique. Extrait des Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures, Vol. 19, 1934.



## О СПЕЦИФИКАЦИЯХ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ПОЛОЖЕНИЮ О МЕЖДУНАРОДНОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ШКАЛЕ

В. Н. Божовский

Положение о международной температурной шкале, содержащее соответствующие определения и спецификации было принято в 1927 г. VII Генеральной Конференцией мер и весов и затем подверглось некоторым исправлениям в 1933 г. на VIII такой же Конференции. По мнению Всесоюзного института метрологии и стандартизации здесь возможны и необходимы дальнейшие уточнения и дополнения.

Предложения и замечания, которые могут быть по этому поводу сделаны, сводятся к следующему:

1. В отношении спецификаций, относящихся к устройству кипятильника для серы в абзаце 2-м фраза, начинающаяся словами: „столб пара должен быть такой высоты“ и т. д., до слов „...на два сантиметра ниже изолирующего материала, защищающего трубку от притока окружающего тепла“ не совсем точно выражает явление, имеющее место при опыте, так как изолирующий слой служит не только для защиты от притекающего тепла, но и предохраняет от потерь тепла наружу. Еще Е. Мюллером и Г. Берджем была обнаружена ненормально низкая температура паров серы при отсутствии теплоизолирующей оболочки. По опытам, сделанным во Всесоюзном Институте Метрологии и Стандартизации, понижение температуры в подобном случае может достигать до  $0,2^{\circ}$  С. Поэтому представляется желательным переформулировать весь этот абзац следующим образом:

„Кипятильная трубка делается из стекла, плавленого кварца или другого аналогичного материала с внутренним диаметром не менее 4 см и не более 6 см. Лучше всего пользоваться электрическим нагревом, хотя можно пользоваться и газом; верхний край нагревателя и все соприкасающиеся с ним проводящие материалы должны кончатся по крайней мере на 4 см ниже свободной поверхности серы. Часть трубки, находящаяся над нагревателем, окружается теплоизолирующим материалом, с тем, чтобы, во-первых, защитить трубку от нагревания потоками горячего воздуха, исходящего от нагревателя и, во-вторых, для предохранения трубки от потери тепла в окружающий воздух. Столб пара должен

быть такой высоты, чтобы нижний край экрана был по крайней мере на 6 см выше свободной поверхности жидкости, а верхний край его по крайней мере на 2 см ниже изолирующего материала. Всякое приспособление, закрывающее конец трубки, должно иметь свободное отверстие для выравнивания давления\*.

2. В отношении следующего абзаца того же § 4 можно отметить, что для избежания воспламенения паров кипящей серы при введении термометра с экраном в кипятильник, удобнее это делать раньше, когда сера только лишь расплавится. Поэтому слова: „термометр вместе с экраном погружается в пар“ и т. д. предлагается заменить следующей формулировкой: „При эталонировании сера нагревается до расплавления, термометр вместе с экраном вводится в кипятильник, после чего сера доводится до кипения, причем нагревание регулируется так, чтобы линия конденсации паров была по крайней мере на 1 см выше верхней части изолирующего материала. Когда это достигнуто, производится одновременное наблюдение сопротивления и барометрического давления. Во всех случаях следует тщательно убеждаться, что температура не зависит от вертикальных перемещений термометра и его экрана“.

3. Кроме того, по отношению к спецификации для термометра сопротивления можно высказать пожелание, чтобы была введена нормализация по следующим пунктам:

- а) величина сопротивления термометра при 0°C ( $R_0$ );
- б) диаметр оболочки;
- в) распределение слюдяных или кварцевых перегородок;
- г) сила тока, применяемого при измерениях и допустимые ее колебания во время опыта.<sup>1</sup>

4. § 5 второй части предлагается дополнить указанием на необходимую здесь степень чистоты применяемых золота и серебра, а именно: содержание примесей не должно превосходить 0,01%.

5. Относительно содержащегося в § 7 указания на то, что переохлаждение сурьмы можно устранить перемешиванием, из практики Всесоюзного Института Метрологии и Стандартизации следует, что устранение таким способом переохлаждения металла не дает преимуществ, скорее наоборот сказывается меньшей отчетливостью остановки. Поэтому формулировку в указанном параграфе, начиная со слов: „сурьма обладает свойством сильного переохлаждения...“, предлагается заменить следующей: „Убедиться в отсутствии влияния внешних условий на наблюдаемую величину в.д.с. можно путем нескольких опытов, произведенных при различной глубине погружения конца термопары в металл в тех же пределах, как и для золота и серебра, и если значения в.д.с. не отличаются между собою более,

\* Вышеприведенные соображения выдвинуты термометрической лабораторией в лице В. А. Яковлевой.

чем на один микровольт, точку затвердевания можно считать удовлетворительной\*.

6. Ввиду отсутствия каких-либо спецификаций, относящихся к осуществлению точки плавления золота, Всесоюзный Институт Метрологии и Стандартизации полагает, что в дальнейшем представляется желательным установить спецификацию для черного тела, единую как для пиromетрических, так и фотометрических целей. Однако, ввиду до указанной унификации, для установления точки плавления золота предлагается нижеследующая формулировка, вытекающая из практики лаборатории высоких температур:

«Изготовленная из огнеупорного фарфора внутренняя камера черного тела, служащего для осуществления точки плавления золота, должна иметь размер в 7—10 мм длины, при внутреннем диаметре в 3,5 мм и излучательном отверстии в 1 мм. Осевая изотермичность печи должна быть обеспечена по крайней мере на протяжении 3 см. Отступления от черноты излучателя, согласно подсчетам, не должны давать погрешности, превышающей  $\pm 0,1^\circ$ .

В камеру должна быть введена платина-платинородиевая термopара, диаметром 0,5 мм, горячий спай которой состоит из золотой проволоки того же диаметра, длиной около 5 мм.

Оптический пиromетр с «исчезающей нитью», служащий для осуществления температурной шкалы выше  $1063^\circ\text{C}$ , должен обладать оптической системой, обеспечивающей возможность визирования излучателя указанного размера. Пиromетр должен быть снабжен красным фильтром излученной эффективной длины волны, причем для исключения индивидуальных особенностей глаза должно руководствоваться факторами видимости спектра, установленными Консультативным Комитетом по Электричеству и Фотометрии».

## К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОНЯТИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕЛ

А. Н. Доброхотов

До настоящего времени среди работников науки и техники нет полной договоренности относительно определения понятия „плотности тел“. В различных курсах физики, в справочниках, в учебниках, в специальных статьях даются различные определения этого понятия, которые вносят в этот простой вопрос неясность. Между тем понятие о плотности, которым постоянно приходится пользоваться для характеристики существенно важного физического свойства данного тела, требует, во избежание недоразумений и ошибок, внесения в него полной ясности и определенности.

Для подтверждения сказанного достаточно привести следующие строки из „Курса физики“ проф. О. Д. Хвольсона. „Нельзя, говорит проф. Хвольсон, одобрить совершенно излишнего раздвоения одной и той же по внутреннему ее значению физической величины, из которых одна считается за число именованное, а другая за число отвлеченное. Как на пример, укажем на плотность и удельный вес. Иногда говорят, что плотность есть вес или есть масса единицы объема, а удельный вес есть отвлеченное число, равное отношению веса или массы тела к весу или массе воды. Все это не только совершенно излишне, но и прямо основано на ошибочном толковании физических формул. Плотность не есть ни вес, ни масса, и нет никакой надобности вводить понятие о каком-то удельном весе, как отвлеченном числе. Существует особого рода величина, характерная для данной материи. Ее можно назвать как угодно, но она во всяком случае величина особого рода (*suū generis*) и уже поэтому не может быть ни массой, ни весом, ибо эти последние суть величины другого рода. Назовем ее плотностью“. (Проф. О. Д. Хвольсон, Курс физики, т. I, изд. 6-е 1933 г., стр. 38).

К сожалению, эти соображения проф. Хвольсона разделяются далеко не всеми авторами различных руководств, учебников, справочников и т. п. Плотность часто определяется как масса единицы объема, наполненного данным веществом, причем этот термин отождествляется с удельной массой или абсолютной плотностью. Нередко плотность опреде-

ается как отношение массы тела к массе воды в объеме, равном объему тела при нормальных условиях состояния воды. Таким образом одна и та же величина определяется и как число именованное, и как число отвлеченное.

Кроме термина „плотность“ в литературе постоянно встречается термин „удельный вес“, к которому еще прибавляются слова абсолютный или относительный. Под абсолютным удельным весом понимается вес единицы объема тела, а под относительным — отношение веса данного объема тела к весу такого же объема воды при 4°C. На практике определение удельного веса свелось к полному отождествлению его с плотностью, и во многих сочинениях, в особенности в учебниках, эти термины не различаются, один термин применяется вместо другого и нередко встречаются выражения „плотность или удельный вес“.

Так как с понятием о весе связано представление о напряжении силы тяжести в данном месте, и вес или сила определяются, как произведение массы на эту величину, то численное значение удельного веса должно отличаться от значения плотности и зависеть от места, где он определяется. Очевидно, что отождествление понятий плотность и удельный вес невозможно.

На основании изложенного казалось бы целесообразным, согласно предложению проф. Хвольсона, сохранить для вышеупомянутой особого рода величины один термин плотность, а от применения для этой цели термина удельный вес совершенно отказаться.

Переходя затем к практическому вопросу о способе определения численного значения плотности тел, мы встречаем здесь затруднение, связанное с применением для измерения объемов тел двух систем единиц, именно: производных линейных мер (куб. дециметра, куб. сантиметра и др.) и производных мер вместимости (литра, миллилитра и др.). Если бы соотношение между куб. дециметром и литром было установлено с несомненной точностью, то применение двух названных единиц объема не встречало бы никаких затруднений, так как была бы всегда возможность точного перехода от одной системы к другой. Но ввиду отсутствия в настоящее время такого общепризнанного переводного коэффициента, результаты, рассчитанные при переходе от одной системы к другой, могут получиться разнообразными в зависимости от принятого коэффициента. Так например, в известном сборнике физических констант, изданном французским физическим обществом, приводятся для ртути два значения плотности, одно — названное *densité*, равно 13,59552, а другое, названное *masse volumique*, равно 13,59515 и получено из первого значения путем умножения его на переводный коэффициент 0,999973 (величина куб. дециметра, выраженная в литрах, полученная в последнее время Гильомом, Шапюи и Бенуа). Если бы в этом случае принять переводный коэффициент, рассчитанный Д. И. Менделеевым на основании известных

ему трудов различных исследователей этого вопроса, а именно — 1 куб. дециметр = 0,999890, то для того же численного значения *masse volumique* мы получили бы значение 13,59402, отличающееся от приведенного в сборнике в третьем десятичном знаке. Такое расхождение конечно недопустимо, и потому представляется настоятельно необходимым в международном масштабе установить определенный коэффициент для перехода от системы кубических единиц измерений к системе объемных мер производных литра. Совершенно отказаться либо от кубических единиц, либо от мер производных литра, как то предлагалось некоторыми исследователями, не представляется возможным, так как с одной стороны система литра и его производных необходима, как единственное средство возможно точного измерения объемов тел, а с другой — система кубических мер является совершенно необходимой, входящей в систему абсолютных единиц CGS.

По изложенным соображениям Всесоюзный Институт Метрологии и Стандартизации СССР признал необходимым внести на обсуждение VIII Генеральной Конференции по мерам и весам предложение о внесении требуемой ясности в вопрос об определении понятия о плотности тел и об установлении коэффициента для перехода от кубических единиц измерения объемов к измерениям при посредстве литра и его производных.

Со своей стороны Всесоюзный Институт Метрологии и Стандартизации считает, что для характеристики того свойства тел, которое зависит от количества материи в данном объеме (Ньютон), необходимо сохранить только один термин — плотность, численная величина которой определяется отношением массы данного тела к его объему. При определении на практике плотности тел объем их измеряется в литрах и его производных, а для перехода к абсолютной системе измерений применяется переводный коэффициент 0,999973, на который умножается численное значение плотности, полученное на опыте. Этот коэффициент, полученный в последнее время, при современных методах точнейших измерений мер длины и массы, надлежит признать в настоящее время наиболее достоверным.

## АРЕОМЕТР БОМЕ И ДРУГИЕ АРЕОМЕТРЫ ТОГО ЖЕ ТИПА

Н. С. Михельсон

Среди различных типов ареометров, служивших для определения плотности жидкостей особенным распространением в промышленности пользуется так называемый ареометр Боме. Прибор этот насчитывает за собой больше подутора столетия своего существования. За это время, с одной стороны, он завоевал себе весьма прочное место в промышленности, а с другой возбудил в тех же промышленных кругах большое недоверие к себе, возникшее на почве расхождений показаний отдельных приборов между собой. Причина этих расхождений кроется в самом приборе, в устройстве которого положены слишком шаткие основания. Эти основания подвергались неоднократно ревизии как со стороны отдельных ученых, так и научных общественных групп. Целью этих ревизий было подвести твердую базу под ареометр Боме и выработать один тип его. Однако эти многочисленные попытки не только не увенчались успехом, а напротив они то и были причиной появления большого разнообразия новых шкал ареометров Боме, а подчас даже совершенно новых типов ареометров с условной шкалой, т. е. причиной всей путаницы, которая наблюдается в этой области в настоящее время. Такое положение едва ли можно считать допустимым. Необходимо найти выход из создавшегося положения. Выход этот следует искать однако не в том направлении, в котором это делалось до настоящего времени. Чтобы в этом убедиться, достаточно хотя бы коротко проследить историю ареометра Боме и упомянутых выше попыток урегулировать разноречивые показания.

Изобретателем этого прибора был французский химик Боме<sup>1</sup>.

Два типа ареометра, один для жидкостей, более плотных, чем вода, другой для менее плотных, были построены им по существу одинаково. В обоих случаях он намечает на шкале ареометра две точки, промежуток между которыми делит на равные части. Этими двумя точками-реперами у него служат уровни погружения ареометра в „чистую воду“ (l'eau pure)

<sup>1</sup> Avant Coureur, 1768 №. 45, 50, 51, 52.

и в водный раствор очень чистой и очень сухой морской соли\* (le sel marin très sec et très pur) в первом приборе 15‰, во втором 10‰. Промежуток между этими точками Боме разделен соответственно на 15 и 10 равных частей, которые затем продолжил на шкале. На ареометре, назначенном для жидкостей тяжелее воды, он отметил нулем точку погружения в воду, а для жидкостей легче воды — точку погружения в 10‰ раствор соли. Что касается нормальной температуры, то на счет этого Боме говорит довольно глухо. По его совету погружение ареометра следует производить в погребе: в нем жидкость оставляется достаточно долго, чтобы она приняла температуру помещения 10° выше нуля по Реомюру. Таковы основания конструкции прибора, изложенные самим Боме<sup>1</sup>.

Его основной мыслью было дать способ построения ареометров, которые впредь были бы согласованы между собой. Однако этой то основной цели и не суждено было осуществиться. В конструкцию ареометра Боме были положены, как видно из предыдущего, слишком шаткие основания, чтобы согласованность приборов могла быть практически осуществлена. Это обстоятельство не замедлило обнаружиться весьма скоро, лишь только появились первые опыты для установления соответствий между градусами Боме и плотностями.

Первыми в этом направлении были совместные исследования Никольсона и Гильпина<sup>2</sup>, а также Герстнера<sup>3</sup>. Результаты, полученные последним, разнятся от результатов Никольсона и Гильпина почти на 3° для средних плотностей и на 6° для больших плотностей.

Несоответствия в показаниях ареометров Боме, замеченные уже на первых порах, сразу же поставили на очередь задачу об упорядочении этого дела. С этой целью медицинский факультет в Амстердаме вырабатывает стандартные соответствия градусов Боме с плотностями и создает шкалу, которая с тех пор носит название Голландской шкалы. Она была опубликована в 1805 г.<sup>4</sup> Голландская шкала изменила постоянные точки солевых растворов, установив, как одну общую реперу, 10‰ раствор соли для обоих типов ареометров (для жидкостей более плотных, чем вода, равно как и менее плотных, чем вода); при этом 0° шкалы в обоих ареометрах был установлен на черте погружения их в воду. В основу Голландской шкалы были положены исследования Гильпина и тем не менее она отличается от шкалы Гильпина уже в третьих десятичных знаках плотностей.

Эти первые попытки упорядочить вопрос об ареометре Боме внесли новые затруднения: введенные новшества — 10‰ раствор соли, как общая

<sup>1</sup> Baumé. *Eléments de pharmacie théorique et pratique*, 1784, p. 395.

<sup>2</sup> *Annales de Chimie*, 1797, T. XXIII, p. 185.

<sup>3</sup> Meisner, *Die Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie*, Wien, 1820.

<sup>4</sup> *Pharmacopee Batava*, 1805.

репера, а также место нуля, общее для обоих типов ареометров, не были приняты всеми, в результате чего появились две значительно различающиеся между собой шкалы для жидкостей менее плотных, чем вода: в одной точка погружения в воду отмечалась нулем, в другой 10°. Дальнейшие исследования Воклена<sup>1</sup>, д'Арсе<sup>2</sup>, Гассенфранца<sup>3</sup> и Бинглей<sup>4</sup> не только не улучшили положение дела, но обнаружили еще большее расхождение. Так разница в данных Гассенфранца и Воклена доходит до 5° уже для средних плотностей. Это расхождение конечно нельзя отнести за счет разницы нормальных температур, принятых у Воклена равной 15°C, у Гассенфранца равной 12°75 С.

К этому периоду времени относится появление ареометра с совершенно новой условной шкалой. По мысли Бенглея венский мастер Бек изготовил ареометр, в котором реперами служили вода при температуре 12,5°C и водный раствор алкоголя плотности 0,850 при той же температуре. Уровень погружения в воду отмечался на шкале нулем, а в раствор алкоголя — 30°.

Само собой разумеется, что этот ареометр в отношении его шкалы значительно удаляется от ареометра Боле.

Из дальнейших работ можно указать на исследования Франкера<sup>5</sup>, который сравнением ареометра Боле с ареометром плотностей дал таблицу для той же температуры 12,5° С, как и Никольсон и Гильпинн, но получил результаты несогласные ни с одним из них. На средних плотностях разница между данными Франкера и Гильпинна достигает 1,7°, а на больших — 4°.

Большим шагом вперед в деле упорядочения ареометров Боле было подведение под ареометр Боле помимо эмпирической также и теоретической базы. Первые работы в этом направлении принадлежат профессору физики и Або Гальстрему<sup>6</sup> и венским исследователям Шеберу и Пехеру<sup>7</sup>. Последние дали формулу, связывающую плотность с числом градусов Боле, которую в настоящее время пишут обыкновенно так:

$$D = \frac{M}{M \pm n}$$

<sup>1</sup> Annales de Chimie et de Physique, 1, ser. v. 76, p. 260. Gähler's Physikalisches Wörterbuch, 1825, Bd 1, S. 349.

<sup>2</sup> Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, t. XLII, p. 210.

<sup>3</sup> Berzelius, Lehrbuch der Chemie, 1841, p. 212.

<sup>4</sup> Gähler's Physik. Wörterbuch, 1825, Bd. 1, S. 363.

<sup>5</sup> Dingler's Polyt. Journal, 1824, Bd. 85, S. 349.

<sup>6</sup> Allgemeine Nordische Annalen der Chemie S. Scherer Bd. IV S. 29, 1820 Petersburg.

<sup>7</sup> Dingler's Polyt. Journal 1828, B. 27, S. 66.

где  $M$ —постоянное число, называемое модулем ареометра. Они же произвели экспериментальное исследование трех сортов 10% раствора соли и определили их плотности при 17,5°C. Взяв среднюю величину = 1,0740. Шебер и Пехер по этой данной определили модуль ареометра, а затем по своей формуле путем расчета составили таблицу плотностей, соответственно каждому градусу Боме. Эта первая попытка теоретического сопоставления градусов Боме с плотностями определила направление большинства дальнейших работ по исследованию ареометра Боме. Однако, это теоретическое обоснование соответствий между плотностями и градусами Боме практически не улучшило положения дела с этим ареометром, т. к. шкала его все же продолжала зависеть от принимаемой за основу плотности 10% или 15% раствора соли.

Недостаточная точность в определении плотности солевого раствора, вызываемая главным образом неоднородностью состава самой соли, являлась тормозом для установления согласованности между собой ареометров. Действительная разница в величине плотности 10% солевого раствора равная 0,001, изменяет уже модуль ареометра Боме почти на 2 единицы, а это последнее оказывает влияние на расхождение шкал, доходящее до 1°, для больших плотностей (близких к 1,84).

Вместе с тем теоретические соображения, положенные в основу ареометра Боме и именно то обстоятельство, что каждому ареометру соответствует некоторое постоянное число, называемое модулем, дало основание появлению большего числа ареометров с условной равномерной шкалой с наперед выбранным модулем. Шкалы этих ареометров тем значительнее отличаются от шкалы Боме, чем значительнее разнятся их модули от модуля ареометра Боме. К таким ареометрам относится ареометр Баллингга с модулем 200, Брикса с модулем 400, Франкера и Гей-Люссака с модулем 100, Стоппани с модулем 166, ранее упомянутый ареометр Бека с модулем 170.

Еще одно обстоятельство в дальнейшем значительно запутало дело. Мастера, изготавлившие ареометры Боме, нашли неудобным строить шкалу на основе солевых растворов, потому что шкалу, построенную на малом промежутке, приходилось экстраполировать на значительную длину. Потому они перешли на градуировку по серной кислоте.

Было замечено, что продажной английской серной кислоте соответствовало около 66° по шкале Боме; поэтому мастера и приняли эту кислоту за новую реперу. Что это была за серная кислота—достаточно неясно. Так Фалинг в его переводе *Gewerbechemie von Rayens* писал, что продажную серную кислоту предварительно надо прокипятить и затем остудить в закрытом сосуде, тогда осторожно погруженный в нее ареометр Боме должен остановиться на делении 66°. Если допустить, что ареометры Боме конструировались на таком основании, то согласованности между ними ждать не приходилось. А между тем шкала, данная Субейра-

ном, основана именно на том, что ареометр, погруженный в так называемую в то время английскую серную кислоту, показывает 66°Б<sup>1</sup>. Герлах<sup>2</sup> говорит, что при конструкции ареометров мастера отождествляли 66°Б с плотностью 1,815 серной кислоты при 15°С, тогда как еще по старым данным, заимствованным Никольсоном у Гюйтона<sup>3</sup>, 66°Б соответствуют плотности 1,848 при 15°, а по данным Ваклена 66°Б соответствует 1,842 при той же температуре.

Такая неустойчивость в отношении градуировки ареометров Боле по серной кислоте заставила ученых направить свои работы к восстановлению прототипа ареометра Боле, согласно тем указаниям, которые сам Боле дал для конструкции ареометра. Наиболее значительная работа в этом направлении принадлежит Герляху.<sup>4</sup> Он произвел новые исследования плотностей двух растворов химически чистого хлористого натрия. Наблюдения свои он привел к пустоте и в среднем получил для плотности 10% раствора соли при 15°С величину 1,07335. Исходя из этого числа, он дал шкалу плотностей для ареометров Боле при этой температуре, а затем при 12,5°С и 17,5°С. Последняя получила особенное распространение в Германии под названием „старая шкала Боле“. Подобная же работа предпринята была и во Франции Боденом.<sup>5</sup> Он также и с той же целью исследует плотности 15% и 10% солевых растворов и дает свою шкалу. Отличие этой последней от шкалы Герляха все же доходит до 0,2°, что составляет четыре единицы третьего десятичного знака плотности.

К этому же времени относится совместная работа Бортелло, Кудье и д'Альмейда<sup>6</sup> по исследованию ареометра Боле, предпринятая ими по просьбе представителей глицериновой промышленности. Имея в виду точное воспроизведение прототипа Боле, эти ученые умышленно дают таблицу, сопоставляющую градусы Боле с весами литра жидкости в воздухе при температуре 12,5°С, т. е. не приведенную к пустоте. Эта таблица естественно не совпадает ни с таблицей Герляха, ни Бодена, а если сравнить ее с данными, полученными Никольсоном и Гильшином, оперировавшими с подлинными ареометрами Боле, то увидим, что нет сходства и с ними: расхождение достигает 2,5°.

Казалось бы, что усилия восстановить прототип ареометра Боле должны после всего этого быть признаны бесплодными и тем не менее позднее опять возникает этот же вопрос уже в Северо-Американских Соединен-

<sup>1</sup> Comptes rendus, t. 68, p. 939 Avril 1869.

<sup>2</sup> Dingler's Polytechn. Journal 1865 Bd. 176 S. 444.

<sup>3</sup> Berzelius Lehrbuch der Chemie 1841, S. 212.

<sup>4</sup> Dingler Polytechn. Journal 1865 Bd. 26 S. 455, 1870 Bd. 48 S. 316.

<sup>5</sup> Comptes rendus T. 68, p. 939, Avril 1869.

<sup>6</sup> Vérification de l'aréomètre de Baumé, Paris 1873.

ных Штатах. Под влиянием запросов представителей нефтепромышленности Чендлер<sup>1</sup> снова пытается приблизиться к прототипу ареометра Боме. Замечая, что, по его мнению, никто еще не следовал точным указаниям самого Боме, он определил плотность 10‰ и 15‰ солевого раствора при 12,5°C, присоединил к результатам своих испытаний данные, найденные другими исследователями, и, основываясь на выведенных средних величинах плотностей 10‰ и 15‰ растворов соли, составил две таблицы соответствий градусов Боме с плотностями, одну для жидкостей менее плотных, чем вода и другую для жидкостей более плотных, чем вода. Первая из них оказывается близкою к таблице Герляха, однако разнится все же на 10-40 единиц пятого знака, а вторая не приближается ни к одной из вышеупомянутых.

Бесплодность всех попыток обосновать шкалу Боме на экспериментальных исследованиях плотностей растворов соли или серной кислоты побудила научные и промышленные круги вступить на путь соглашений. Еще Пуье, занимавшийся исследованием вопроса об ареометре Боме<sup>2</sup>, предлагал принять за модуль ареометра для жидкостей более плотных чем вода, число 150, а для другого ареометра 200. Затем по предложению Кольба группа ученых входит в соглашение фиксировать способ градуировки ареометра Боме, основываясь на следующих реперах: точка погружения ареометра в дистиллированную воду 15°C отмечается 0°, а в серную кислоту плотности 1,842 при той же температуре отмечается 66°. При таком способе градуировки модулем ареометра оказывается число 144,38. Позднее эта шкала была заменена шкалой с наперед фиксированным модулем, равным 144,30 с нормальной температурой 15°. Эта шкала получила наименование рациональной шкалы. Однако каких-нибудь серьезных оснований в выборе того или другого значения модуля решительно нет, и приданное в Германии название „рациональная шкала“ не соответствует существу дела. Напротив, достаточно только проследить, откуда берет начало столь необычайное число, принятое за модуль рациональной шкалы, чтобы убедиться, что выбор этого числа не имеет никакой научной основы, а лишь поддерживает традицию соединить 66° Боме с плотностью серной кислоты.

Введение рациональной шкалы несколько не улучшило дело: прежние шкалы не были забыты, а рациональная шкала лишь увеличила ассортимент ареометров Боме. И вот к настоящему времени можно обнаружить находящимися в обращении не менее шести разновидностей ареометров Боме в собственном значении этого слова, а кроме них еще такие ареометры, как Брикса, Картье, Бека, Баллинга, Стоппани, Гей-

<sup>1</sup> C. F. Chandler, The Baumé hydrometers. *Memoirs of the National Academy of Sciences* v. III p. 1,1884.

<sup>2</sup> *Memoires de l'Académie des Sciences* 1864 v. 32 p. 793.

Люссака, стоящих в близком непосредственном отношении к ареометру Боле, по модулю весьма отличные друг от друга, но так же, как и те, принятые промышленностью и техническими руководствами.

Таковы в общих чертах главные моменты печальной истории Боле, печальной потому, что, несмотря на все усилия, она не дала никаких определенных решений. Ни попытки подвести под ареометр более прочные основы и дать ему полную устойчивость, ни попытки восстановить прототип ареометра Боле не привели ни к чему. Каждый новый шаг лишь усложнял положение дела. Если же принять во внимание, что перечисленные выше различные шкалы далеко не исчерпывают всех появившихся в литературе и жизни шкал, что за полуторавековой период существования ареометра Боле предложено было по свидетельству Домке<sup>1</sup> более 100 различных шкал для этого ареометра, то безнадежность попыток упорядочить вопрос об ареометрах Боле и вообще об ареометрах с равномерной шкалой выявится во всей полноте. Особенно замечательно то обстоятельство, что в то время, как вначале при первом появлении ареометра Боле, расхождения между ними доходили, как видно из вышеприведенных данных, до 6°, в настоящее время, после стольких стараний установить определенную шкалу, расхождения даже между близкими по типу ареометрами для жидкостей более плотных, чем вода, все же достигают 1,3°, а для жидкостей менее плотных 3,1°<sup>2</sup>, и это при современных методах точных измерений и при техническом усовершенствовании конструкции самого прибора.

Это ли не результат, который с полной очевидностью свидетельствует, что все компромиссные пути в разрешении вопроса исчерпаны, что в основе этого ареометра лежат неустранимые недочеты и что единственное средство устранить непрекращающуюся путаницу лежит в полном отказе от ареометра Боле и других ареометров с равномерной шкалой.

Значительная, совершенно недопустимая несогласованность между различными шкалами ареометров и бесполезность попыток привести их к одной, уже сама по себе достаточно ясно говорит о непригодности этого прибора как измерителя, тем не менее можно указать еще на другие обстоятельства, которые заставляют по отношению к нему вынести то же решение.

В этом отношении прежде всего следует отметить самую условность отсчетов по такому ареометру. Ведь что такое градусы Боле, Баллинга и другие? Сам Боле ошибочно предполагал, что его градусы являются указателями процентного содержания соли в растворах. Для нас же они просто являются условными числами, не связанными непосредственно

<sup>1</sup> Domke und Reimerdes, Handbuch der Aräometrie S. 148. Berlin, 1912.

<sup>2</sup> Ibid. Tafel 30, 32.

ни с каким физическим состоянием жидкости, а потому совершенно бесполезными. Следовательно, и прибор, дающий отчеты в таких условных числах — лишний прибор.

Причиной, побуждающей устранить ареометры с условными шкалами, является также естественное стремление сократить общее число разновидностей измерительных приборов. В этом сокращении ареометрические измерения особенно нуждаются, так как едва ли какая-нибудь другая область измерений отличается таким многообразием приборов, по существу преследующих одну и ту же цель.

Для полного выяснения вопроса следует еще остановиться на том отличительном свойстве шкалы рассматриваемых ареометров, благодаря которому они завоевали себе сразу такое большое внимание, — это равномерность шкалы.

Если построение равномерной шкалы благодаря ее простоте и представляло заманчивые преимущества для мастера прежнего времени, то в настоящее время, при современном усовершенствовании делительных машин, эти преимущества теряют всякое значение. Однако по поводу равномерности шкалы необходимо отметить еще следующее весьма важное обстоятельство. Соответствие между градусами равномерной шкалы и плотностями, выражающееся в приведенной вначале формуле, не учитывает влияния капиллярных явлений на погружение ареометра, вернее — изменений этих влияний на протяжении шкалы ареометра. Между тем, если принять во внимание, что современные методы ареометрических измерений не могут отказаться от учета влияния капиллярных явлений на показания ареометра, то придется констатировать явное противоречие между равномерностью шкалы, с одной стороны, и формулой, устанавливающей соответствие между плотностями и числом градусов шкалы — с другой. Одно из двух: или желать сохранить формулу, по которой определяются в настоящее время плотности соответственно каждому градусу равномерной шкалы и отказаться от равномерности шкалы, или, сохранив равномерность шкалы, искать новой формулы основных соответствий. Такая формула неизбежно должна быть эмпирической и притом для каждой жидкости своя. Едва ли стоит становиться на этот путь во имя сохранения равномерности шкалы.

Таким образом видно, что при современном состоянии ареометрических измерений не может существовать научно обоснованного ареометра с равномерной шкалой.

Все вышесказанное соображения и привели Всесоюзный Институт Метрологии и Стандартизации, к решению поставить и обсудить всесторонне вопрос об устранении из обращения ареометра Боле и других ареометров с условной шкалой. С этой целью еще в 1927 г. была образована комиссия, и после сношений по этому вопросу с научными учреждениями и заинтересованными промышленными предприятиями,

был разработан и представлен на утверждение проект закона об изъятии из обращения ареометров с условной шкалой. Закон этот в настоящее время получил свое утверждение.

Для полноты данных следует отметить, что вопрос об изъятии из обращения ареометра Боле был поднимался не раз. Еще Мейснер<sup>1</sup> высказывает эту мысль в своем труде по ареометрии. Значительно позднее возникает эта мысль во Франции.

В последнее время тот же вопрос был поднят и подвергся дискуссии в Германии.

Там этот вопрос был возбужден промышленными организациями, а именно союзом германской крахмальной и патоочной промышленности, руководителями глицериновой промышленности, акционерным обществом красочной промышленности, обществом Дехема<sup>2</sup>, Комитетом Эталонов и Стандартов Союза германских химиков. Насколько ареометр Боле затруднял работу этих промышленных организаций, видно из того, что, например, союз крахмальной и патоочной промышленности по собственному своему почину отказался уже от нормировки своих продуктов в градусах Боле, а перешел на плотности.

Physikalisch Technische Reichsanstalt также не оставил без внимания затронутый вопрос и, поддерживая своим авторитетом общее решение, уже издал постановление о том, что ареометры Боле не допускаются более к проверке.

Для окончательного решения вопроса остается выработать такой тип ареометра, дающего отчет в плотностях, который бы вполне заменял ареометр Боле, употребляемый в промышленности для технических целей. Такой ареометр должен иметь сравнительно небольшие размеры и охватывать достаточно большой промежуток плотностей с отчетами через каждые  $0,01 \text{ г/см}^3$ . Для охвата шкалы плотностей от  $0,65$  до  $1,85$  Всесоюзный Институт Метрологии Стандартизации остановился на следующих типах ареометров.

1. Ареометры Боле для технических измерений плотности жидкостей тяжелее воды с делениями на целые градусы заменяются:

ареометр Боле от  $0$  до  $72^\circ$  — ареометром от  $1,00$  до  $1,85 \text{ г/см}^3$  с наименьшим подразделением на  $0,02 \text{ г/см}^3$ ;

тоже от  $0$  до  $50^\circ$  — ареометром от  $1,00$  до  $1,50 \text{ г/см}^3$  с наименьшим подразделением на  $0,01 \text{ г/см}^3$ ;

тоже от  $0$  до  $30^\circ$  — ареометром от  $1,00$  до  $1,25 \text{ г/см}^3$  с наименьшими подразделениями на  $0,01 \text{ г/см}^3$ .

<sup>1</sup> Meisner, Die Areometrie in ihrer Anwendung auf Chemie. Wien, 1820.

<sup>2</sup> Dr. Ehrhardt, Vortrag zur Hauptversammlung der Dechema am 22 Mai 1929 in Breslau.

2. Ареометры Боме для технических измерений плотности жидкостей легче воды с делениями на целые градусы заменяются:

ареометр от  $70^{\circ}$  до  $10^{\circ}$ —ареометром от 0,65 до  $1,00 \text{ г/см}^3$  с наименьшими подразделениями на  $0,02 \text{ г/см}^3$ .

3. Ареометры Боме, применяемые для технических измерений плотности водных растворов серной кислоты в аккумуляторах со шкалой от  $14^{\circ}$  до  $32^{\circ}$  Б с делениями на 0,5 градуса, заменяются ареометрами от 1,100 до  $1,300 \text{ г/см}^3$  с наименьшими подразделениями на  $0,005 \text{ г/см}^3$ .

4. Ареометры Боме для точных измерений плотности жидкостей тяжелее воды заменяются ареометрами:

от 1,000 до 1,120 $\text{г/см}^3$
• 1,120 • 1,240 •
• 1,240 • 1,360 •
• 1,360 • 1,480 •
• 1,480 • 1,600 •
• 1,600 • 1,720 •
• 1,720 • 1,840 •

Наименьшее подразделение шкалы всех 7 ареометров для определения плотностей устанавливается в  $0,001 \text{ г/см}^3$ .

Все ареометры для определения плотностей, заменяющие ареометры Боме, градуируются при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ .

## О ЕДИНИЦЕ ТЕПЛОТЫ

С. В. Липин

Некоторые вопросы метрологии, поставленные делегатами СССР на рассмотрение VIII Генеральной Конференции по мерам и весам, не обсуждались ею, как выходящие за пределы ее компетенции и могущие послужить предметом рассмотрения Конференции по прикладной метрологии. Одному из этих вопросов—установлению единообразия единиц энергии—посвящена настоящая статья.

С переходом от системы международных электрических единиц к абсолютной системе единиц, санкционированной VIII Генеральной Конференцией по мерам и весам, устанавливается единообразие механических и электрических единиц. Однако, до настоящего времени не только не установлено единообразие тепловых единиц и других единиц энергии, но отсутствует единообразие и в самих тепловых единицах.

Небольшой исторический обзор дает наглядное представление о многочисленности применяемых единиц и их происхождении.

Первые измерения теплоты, выделяющейся при различных явлениях, были произведены Лавуазье и Лапласом<sup>1</sup>. Они выражали количество теплоты, выделившейся при изучаемом процессе, в фунтах льда растаявшего в калориметре во время опыта. При определении теплоемкости различных тел, Лавуазье и Лаплас относили свои результаты к теплоемкости воды, принимая в качестве единицы количество теплоты, необходимое для того, чтобы повысить температуру одного фунта воды на один градус термометра Реомюра. Для перехода от одной единицы к другой они определяли теплоту плавления льда в градусах теплоты. Согласно их определениям теплота плавления льда равна 60 градусам теплоты, то есть, количество теплоты, которое необходимо для того, чтобы расплавить один фунт льда, может повысить температуру одного фунта воды на 60 градусов Реомюра. Градус теплоты можно рассматривать, как родоначальника средней калории и средней британской тепловой единицы (BTU).

<sup>1</sup> Mémoire sur la chaleur, Mém. Acad. 354 (1780)

В своей классической работе по определению теплоемкости воды Реньо<sup>1</sup> принял в качестве единицы теплоты калорию при 0°, отнесенную к одному градусу воздушного термометра и к одному грамму воды. Эта единица служила до второй половины XIX века, когда Шуллер и Варта<sup>2</sup> предложили принять в качестве единицы теплоты среднюю калорию равную  $\frac{1}{100}$  количества теплоты, необходимого для того, чтобы повысить температуру 1 г воды от 0° до 100°C. Бунзен<sup>3</sup>, приняв в качестве единицы теплоты калорию при 0°, уже применял, не отдавая себе отчета, среднюю калорию.<sup>4</sup>

В 1899 году Варбург предложил принять в качестве единицы теплоты 15° калорию, то есть количество теплоты, которое необходимо для того, чтобы повысить температуру 1 г воды от 14,5° до 15,5°C при атмосферном давлении 760 мм. Свое предложение Варбург обосновывает тем, что, 1) при температурах, лежащих около 15°, зависимость теплоемкости воды от температуры хорошо изучена, 2) вблизи этой температуры термический коэффициент теплоемкости воды весьма мал и 3) эта температура весьма близка к комнатной температуре. Эта единица имеет в настоящее время наибольшее распространение и установлена законом во Франции, в Германии и в некоторых других странах.

Двумя годами позднее Грэффитсом было предложено принять 17,5° калорию, т. е. среднюю калорию между 15° и 20°C. Эта единица почти не применялась.

Почти одновременно с этим Каллендар предложил принять в качестве единицы 20° калорию.<sup>5</sup> Преимуществом ее перед 15° калорией является то, что температура 20°C ближе к комнатной температуре. При этой температуре производится большая часть измерений и в СССР, где эта температура установлена законом в качестве нормальной. 20° калория получила большое распространение в США и в европейских странах и в 1933 г. установлена в СССР в качестве единицы теплоты.

Наконец, законом 1924 г. в Германии, наряду с 15° калорией, отнесенной к массе 1 кг воды, в качестве единицы теплоты, введен международный киловаттчас, равный 860 15° калориям.

Многообразие единиц теплоты увеличивается еще применением калории, отнесенной как к одному килограмму, так и к одному грамму воды.

Наряду с этими единицами, отнесенными к метрическим единицам массы и градусу международной шкалы температур, в Англии и в США применяются и другие единицы, отнесенные к массе одного фунта воды

<sup>1</sup> Мém. Acad., 21, 729 (1857)

<sup>2</sup> Wied. Ann. 2, 359 (1877)

<sup>3</sup> Pogg. Ann. 141, 2 и 19 (1870)

<sup>4</sup> Ibid. p. 23.

<sup>5</sup> До Каллендара то же предложение было сделано Ролендом В. А. Report, 1896), однако оно осталось без внимания.

при разнй температуре и к градусу шкалы Фаренгейта. К числу таких единиц, называемых британскими тепловыми единицами относятся:

BTU (59°F), определяемая, как количество теплоты, которое необходимо, чтобы нагреть на один градус Фаренгейта один фунт воды, имеющей температуру 59°.

BTU (36°F), определяемая точно так же, но отнесенная к температуре 36°.

Средняя BTU, определяемая как 1/180 количества теплоты, необходимого для того, чтобы нагреть один фунт воды от 0°С до температуры кипения.

Наконец, round-calory или centigrade thermal unit (CTU), равная 1/100 количества теплоты, необходимого, чтобы нагреть один фунт воды от 0°С до температуры кипения.

Первая из этих единиц установлена в США в качестве законной единицы<sup>1</sup>.

Все эти единицы отнесены к давлению 760 мм. Из них 20° калория, 15° калория, британская тепловая единица BTU (59°) и международный киловаттчас представляют собой современные единицы. Это отсутствие единообразия тепловых единиц требует уже давно коренной реформы.

С точки зрения единообразия измерений правильнее всего было бы измерять теплоту, как это предложил Егер, в механических единицах.<sup>2</sup>

Однако, к сожалению, специальные тепловые единицы получили слишком большое распространение в технике, чтобы можно было сразу их отменить. Поэтому остается лишь один путь — принять в качестве главной единицы одну из абсолютных единиц, сохранив специальную тепловую единицу в качестве факультативной единицы, производимой от абсолютной системы механических единиц.

Замена международной системы электрических единиц системой абсолютных электрических единиц, санкционированная VIII Генеральной Конференцией по мерам и весам, разрешает в том же смысле и вопрос о выборе системы механических единиц. Международная метрическая конвенция и последующие международные соглашения обязывают к принятию в качестве тепловой единицы калорию, как отнесенную к метрической единице массы и к международной температурной шкале. Для того, чтобы произвести калорию от абсолютных единиц, автор настоящей статьи предложил определить калорию, как количество теплоты, эквивалентное выбранной механической единице, отказавшись от старого определения калории, как количества теплоты, необходимого, чтобы нагреть на один градус один килограмм или один грамм воды при той или иной температуре.

<sup>1</sup> Bur. Stand. Circular, No. 48

<sup>2</sup> Handb.d. Physik, IX, 475 (1926)

Вопрос этот разрешается выбором наиболее вероятного численного значения механического эквивалента теплоты.

В своем докладе, представленном VIII Генеральной Конференции по мерам и весам<sup>1</sup>, равно как в работе, доложенной Всесоюзной Академии Наук от имени автора академиком А. Н. Крыловым,<sup>2</sup> автор настоящей статьи сделал критический обзор работ по определению механического эквивалента теплоты и теплоемкости воды. Вводя некоторые поправки и приняв для результатов определений, произведенных электрическим методом, что I международный джоуль равен 1,00035 абсолютного джоуля, автор вывел, пользуясь теорией вероятности, что наиболее вероятное численное значение механического эквивалента теплоты, отнесенного к 20° калории, равно  $4,182 \times 10^7$  эрга.

Несмотря на старания автора дать достаточно полный обзор работ по определению механического эквивалента теплоты, он все же упустил из виду две работы большого значения, а именно работу Лэби и работу Лэби и Геркуса.

В докладе, сделанном Королевскому Обществу, Лэби<sup>3</sup> сделал критический обзор работ, посвященных определению механического эквивалента теплоты, начиная с определений, произведенных Роуландом. Введя некоторые поправки методом отличным от того, которым пользовался автор настоящей статьи, Лэби пришел к тому же результату: он нашел, что наиболее вероятное численное значение механического эквивалента 20° калории составляет  $4,182 \times 10^7$  эрга.

В то же время, совместно с Геркусом, Лэби<sup>4</sup> произвел новое экспериментальное определение механического эквивалента теплоты. Свое определение они произвели механическим способом при помощи электродинамометра Робертса и проточного калориметра. Разность температур поступающей и отходящей воды они измеряли при помощи двух платиновых термометров сопротивления и мостика Мюллера. Они нашли, что при температуре 16,7°С механический эквивалент теплоты равен  $4,1841 \times 10^7$  эрга.

Положив в основу данные Гриффитса для отношения теплоемкости воды при 16,7° и при 20°С, Лэби и Геркус нашли для механического эквивалента 20° калории значение, равное  $4,1809 \times 10^7$  эрга. При-

<sup>1</sup> О численном значении механического эквивалента теплоты и о соотношении между 20° и 15° калориями (1933)

<sup>2</sup> Zur Feststellung einer internationalen Wärmeeinheit auf Grund der mechanischen Energieeinheiten. Изв. Акад. Наук, 1441 (1933)

<sup>3</sup> Proc. Roy. Soc. 38, 169 (1926).

<sup>4</sup> Phil. Trans. Roy. Soc. A. 227, 63 (1927).

нимая более точные данные Егера и Штейнвера, получим для механического эквивалента  $20^{\circ}$  и  $15^{\circ}$  калорий следующие значения:

$$\text{калория } 20^{\circ} = 4,181_1 \times 10^7 \text{ эрга}$$

$$\text{калория } 15^{\circ} = 4,185_2 \times 10^7 \text{ .}$$

В упомянутых выше работах автор настоящей статьи приходит к выводу, что численное значение механического эквивалента теплоты не установлено до настоящего времени с той точностью, которая соответствовала бы современному развитию метрологии. Автор отмечает необходимость нового определения, которое не уступало бы, по точности измерений, определению, произведенному Егером и Штейнвером, и предлагает принять, впредь до осуществления этого определения, для механического эквивалента  $20^{\circ}$  калории значение, равное  $4,182 \times 10^7$  эрга.

Последующее ознакомление с работой Лэби и Геркуса показало однако, что нужное определение уже сделано этими исследователями, а недавно появившаяся работа Джесселя<sup>1</sup> показывает, что третий десятичный знак численного значения механического эквивалента теплоты можно считать установленным с полной достоверностью.

Работа Джесселя имеет целью выяснить влияние воздуха, растворенного в воде, на ее теплоемкость. Свои определения Джессель произвел электрическим методом в проточном калориметре. Для измерения температур служили два термометра сопротивления и потенциометр. Для воды, из которой воздух был предварительно удален, Джессель нашел теплоемкость при температурах  $16,8^{\circ}$  и  $22,1^{\circ}\text{C}$  соответственно равной  $4,1858 \times 10^7$  и  $4,1780 \times 10^7$  эрга. Интерполированием находим для  $20^{\circ}\text{C}$   $4,1812 \times 10^7$  эрга, а приняв для соотношения между  $20^{\circ}$  и  $15^{\circ}$  калориями число равное 0,9990, находим для  $15^{\circ}$  калории механический эквивалент равным  $4,1854 \times 10^7$  эрга.

Изучение этих работ показывает, что они не уступают по точности работе Егера и Штейнвера. Сопоставление трех результатов, полученных двумя различными методами, показывает, что найденные значения совпадают между собой в пределах нескольких единиц в четвертом десятичном знаке:

	Калория $15^{\circ}$	Калория $20^{\circ}$
Егер и Штейнвер . . . . .	$4,1856 \times 10^7$ эрга	$4,1814 \times 10^7$ эрга
Лэби и Геркус . . . . .	$4,1853 \times 10^7$ .	$4,1811 \times 10^7$ .
Джессель . . . . .	$4,1854 \times 10^7$ .	$4,1812 \times 10^7$ .
	<hr/>	<hr/>
	Среднее $4,1854 \times 10^7$ эрга	$4,1812 \times 10^7$ эрга

Совпадение трех результатов, полученных путем трех измерений, отвечающих современному развитию метрологии, позволяет принять для

<sup>1</sup> Jessel, Proc. Phys. Soc. 46, 747 (1934).

численного значения механического эквивалента  $20^\circ$  калории среднее арифметическое из результатов этих трех определений, т. е.  $4,1812 \times 10^7$  эрга. Это значение может служить для определения калории.

Сохранение специальной единицы теплоты оправдывается лишь распространением ее в области технических измерений, поэтому ее необходимо сохранить в том виде, как она применяется в этой области, т. е. отнесенную к массе одного килограмма воды.

На основании изложенного автор предлагает:

1. Принять в качестве основной единицы теплоты единицу механической энергии — килоджоуль равный  $10^{10}$  эрга.

2. Сохранить в качестве факультативной единицы специальную единицу теплоты —  $20^\circ$  калорию, определяя ее, как количество теплоты, эквивалентное  $4,1812 \times 10^{10}$  эрга.

3. Подразделить калорию на 1000 милликалорий, равных  $1,1812 \times 10^7$  эрга.

4. Принять для калории и милликалорий соответственно обозначения „cal“ (кал) и „mcal“ (мкал).

Соотношения между различными единицами теплоты, необходимые для пересчета данных, выраженных в других единицах, приведены в следующей таблице:

	$20^\circ$ калория	Килоджоуль
$20^\circ$ калория . . . . .	1	4,1812
$15^\circ$ . . . . .	1,0010	4,1854
Средняя калория . . . . .	1,0020	4,1896
Калория $\rightarrow 1/860$ межд. квтч . . . . .	1,0015	4,1875
BTU ( $59^\circ\text{F}$ ) . . . . .	0,2522	1,0545
BTU средняя . . . . .	0,2525	1,0557
STU . . . . .	0,4545	1,9009

Для перевода средней калории, средней BTU и STU принято, что отношение средней теплоемкости воды между  $0^\circ$  и  $100^\circ\text{C}$  к ее теплоемкости при  $20^\circ\text{C}$  равно 1,0020 (среднее из данных Каллендара, Сеттона и Гриффитса и Аубери).

## РЕЗЮМЕ

В кратком обзоре единиц теплоты автор показал многочисленность этих единиц и отсутствие единообразия в единицах энергии.

В двух предыдущих работах автор предложил пользоваться для измерения теплоты абсолютными механическими единицами, приняв килоджоуль в качестве основной международной единицы теплоты, и сохранить специальную единицу теплоты —  $20^\circ$  калорию в качестве факультативной единицы, производимой от основной единицы.

Последующее изучение работ Лэби и Геркуса и Джесселя и сопоставление полученного ими численного значения механического

эквивалента теплоты с данными Егера и Штейнвера показало, что эти результаты находятся в полном согласии. Это дает возможность принять для механического эквивалента теплоты численное значение, равное  $4,1812 \times 10^{10}$  эргов, вместо значения  $4,182 \times 10^{10}$  эргов, ранее предложенного автором в обеих вышеуказанных работах.

Автор предлагает принять в качестве международной факультативной единицы теплоты  $20^\circ$  калорию, определяя ее, как количество теплоты, производное механической единицы — килоджоуля, а именно:

1 калория = 1000 милликалориям =  $4,1812 \times 10^{10}$  эргов.





TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Préface . . . . .	5
B. E. Mourashkinsky—La longueur d'onde lumineuse comme unité fondamentale de longueur. . . . .	7
W. N. Bojovsky—Sur les spécifications dans le texte concernant l'échelle internationale de température . . . . .	21
A. N. Dobrokhotoy—Sur la définition de la conception de la densité des corps . . . . .	24
N. S. Michelson—L'aréomètre de Baumé et les autres aréomètres du même type . . . . .	27
S. W. Lipine—Sur l'unité de chaleur . . . . .	37

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	43
В. Е. Мурашкинский. Длина световой волны, как основная единица длины . . . . .	45
В. Н. Божовский. О спецификациях, относящихся к положению о международной температурной шкале . . . . .	59
А. Н. Доброхотов. К вопросу об определении понятия плотности тел . . . . .	62
Н. С. Михельсон. Ареометры Боуэ и другие ареометры того же типа . . . . .	65
С. В. Липин. О единице теплоты . . . . .	75

MF







