

Un point sur la BALANCE du WATT

Préparation à l'agrégation interne de Physique - Chimie – Colas ANSELME
URCA Reims – octobre 2017

I. En guise d'introduction

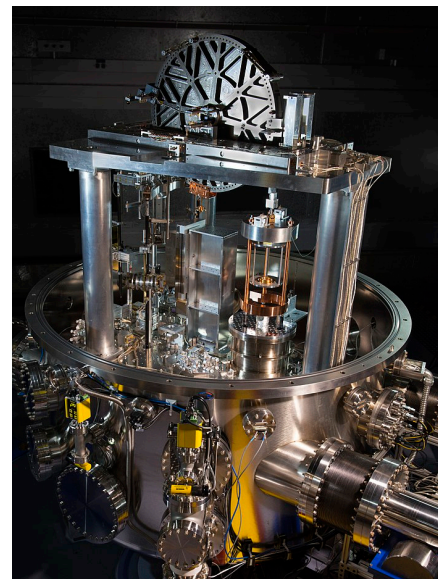
La « balance du Watt » ou « balance de Kibble » permet de mesurer des masses avec une très grande précision. Elle est une des pistes sérieuses pour redéfinir le kilogramme étalon (peut-être dès 2018 !). La détermination devrait permettre de définir le kg à partir de la constante de Planck h , dont la valeur serait fixée de manière exacte et définitive (à l'instar de la vitesse de la lumière dans le vide, voir poly QP en mécanique). À l'heure actuelle, seulement trois balances de ce type ont été homologuées par le Codata (comité des données pour la science et la technologie) au Canada, aux USA et en France (à Trappes, en région parisienne).

II. Le fonctionnement théorique de la balance du watt

Une balance du watt est constituée de deux plateaux, de part et d'autre d'une grande roue verticale pouvant tourner sans frottement. L'un des bras est relié à une bobine de longueur L , parfaitement horizontale, qui baigne dans un champ magnétique :

- constant, intense (B de l'ordre de 1 T),
- horizontal et parfaitement radial (même symétrie que la bobine),
- créé par un électroaimant.

La bobine fonctionne suivant deux modes complémentaires :



Mode STATIQUE	Mode DYNAMIQUE
<p>On équilibre le poids de la masse m, avec une force de Laplace exercée sur la bobine. L'intensité du courant circulant dans la bobine est alors ajustée avec précision. La force de Laplace est donnée (en intégrant sur toute la longueur L de la bobine) par :</p> $\vec{F} = \int_0^L I d\vec{l} \wedge \vec{B} = ILB\vec{e}_z$ <p>Si l'on néglige toute autre action (frottements sur la poulie, poussée d'Archimède exercée par l'air ambiant,...), on a $P = F$:</p> $mg = ILB = \frac{ULB}{R} \quad (1)$ <p>Le terme « LB » délicat à mesurer précisément sera déterminé avec le mode dynamique.</p> <p>L'intensité I est déterminée par la mesure d'une résistance R et d'une tension U, liées à des grandeurs quantiques.</p>	<p>On enlève la masse étalon. Un moteur translate la bobine verticalement à vitesse constante v, dans le champ \vec{B}. Une ddp d'induction e apparaît alors, égale à la variation de flux magnétique ϕ à travers la bobine (loi de Lenz-Faraday) :</p> $e = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \left(\iint_{S_{Bob.}} \vec{B} \cdot \vec{n} \cdot dS \right)$ $= - \left(\iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{n} \cdot dS + \oint_C (\vec{B} \wedge \vec{v}) \cdot d\vec{l} \right)$ <p>Il vient (comme \vec{B} est constant) :</p> $e = LBv \quad (2)$

En combinant les équations (1) et (2), il vient :

$$m = \frac{eU}{Rgv}$$

Pour mesurer m , il convient de déterminer :

- l'intensité de la pesanteur locale : des corrections sont effectuées à chaque mesure, qui tiennent compte des marées, qui influent sur le champ de pesanteur local !
- la vitesse v , mesurée par interférométrie laser (rapidité avec laquelle des franges d'interférence défilent).
- e et U sont déterminées par effet Josephson.
- R est une résistance de Von Klitzing.

III. Remarques et questions diverses

Pourquoi la balance de Watt est intéressante pour un sujet d'agreg' ?...

- de nombreux domaines de la physique : **électronique** (pour déterminer U , R , e), **optique** (interférométrie laser), **mécanique** : (équilibre de la balance, théorème du moment cinétique,...), **électromagnétisme** (force de Laplace, induction), **mécanique quantique**.
- beaucoup d'articles concernant la balance depuis 1 an (voir biblio)
- plusieurs prix Nobel :
 - Josephson 1973,
 - Von Klitzing 1985 : effet Hall quantique entier.

Des précautions drastiques !

- aucune vibration mécanique
- pas de champ magnétique externe, donc la balance est placée dans une grande cloche en laiton, faisant office de cage de Faraday.
- il faut tenir compte de la poussée d'Archimède exercée l'air ambiant et donc de son hygrométrie et de sa température... ou bien travailler dans le vide !

Lien entre masse et constante de Planck

- h s'exprime en J.s, soit en $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-1}$... Les meilleures mesures actuelles permettent de déterminer h à partir des étalons de kg , de s et de m (...donc de s , via c !) avec une incertitude relative de 9 pour 1 million !
- la détermination de e , U et R se fait via des phénomènes quantiques utilisant des supraconducteurs (effet Hall quantique, effet Josephson), d'où le lien entre h et m .
- La stratégie pour définir un nouvel étalon du kilogramme est la suivante :
 - s'assurer que l'on sait mesurer h à partir du kilogramme étalon de manière fiable et reproductible, dans plusieurs labos.
 - fixer alors la valeur de h .
 - en déduire la nouvelle valeur du kilogramme, on évite les problèmes liés au kg étalon (variation de masse, adsorption en surface, nettoyage délicat).

Bibliographie-Sitographie

- article dans Le Monde, du 9 octobre 2017
- article dans Pour la Science, mars 2017
- article dans La Croix : <https://www.la-croix.com/Ethique/Sciences-Ethique/Sciences/Le-kilogramme-etalon-vit-ses-dernieres-annees-2014-11-18-1238917>
- Wikipedia : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Kilogramme>
https://fr.wikipedia.org/wiki/Balance_du_watt
https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Lenz-Faraday