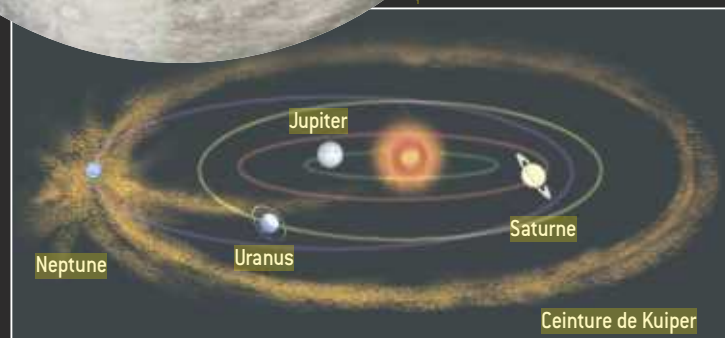


migration jusqu'à leurs orbites actuelles. Le scénario est aussi cohérent avec l'existence des satellites troyens, deux groupes d'astéroïdes qui précèdent Jupiter de 60 degrés sur son orbite. Ces corps auraient dû s'échapper lorsque Jupiter et Saturne sont entrées en résonance, mais les astronomes se sont aperçus qu'ils ont pu être en partie remplacés par la capture de planétésimaux lors de la désagrégation. La masse de corps capturés prédite correspond à celle, observée, des Troyens. De surcroît, ces astéroïdes fournissent un test : leur composition de surface doit coïncider avec celle des objets glacés de la ceinture de Kuiper. Cette dernière, reliquat du disque de débris, conserve par ailleurs une preuve de la migration dans sa structure même.

Ce scénario soulève de nombreuses interrogations, notamment au sujet du mécanisme qui vide l'espace entre les planètes des débris lors de la formation des planètes. Sans cela, en effet, la migration se déclenche bien trop tôt. Néanmoins, ce modèle global a pour atout d'être le seul à avoir fait l'objet de simulations d'envergure. Ph. R.-G.

Nature, vol. 435, pp. 459-465, 26 mai 2005

Durant l'époque de la migration planétaire, Saturne aurait repoussé Neptune loin dans la ceinture de Kuiper. Cette intrusion aurait dispersé l'essentiel de cette population, en particulier vers le Système solaire interne, provoquant le grand bombardement qui a défiguré la Lune.



Une expérience réalisée par des physiciens japonais laisse entrevoir des horloges atomiques d'une précision jamais égalée.

Mettant à profit un rayonnement optique émis par des atomes de strontium piégés dans un réseau de faisceaux laser, l'équipe de Hidetoshi Katori, à l'Université de Tokyo, a mis au point un dispositif permettant d'atteindre, sur le papier, une mesure de la seconde avec 18 chiffres après la virgule – soit une horloge retardant d'une seconde en 15 milliards d'années !

La surenchère en fréquence pose quelques difficultés. Par exemple, plus la différence d'énergie entre deux niveaux atomiques augmente, et avec elle la fréquence de la radiation associée, plus le temps de vie de l'état excité est bref. Une propriété qui rend difficile la mesure de la fréquence d'une radiation d'énergie élevée (cas du domaine optique). Pour contourner la difficulté, on doit choisir une transition atomique

particulière, telle qu'en présentent le mercure, le calcium ou le strontium utilisé par les Japonais. La finesse d'une mesure dépend aussi du temps durant lequel on peut ausculter l'atome : plus ce temps est court, plus les mesures de fréquences sont entachées d'erreurs. Pour y remédier, on peut piéger les atomes dans un piège optique. Mais dans ce cas, l'interaction d'un atome avec un champ électromagnétique déplace ses niveaux d'énergie, donc la fréquence des rayonnements qu'il émet.

Deux protocoles expérimentaux ont déjà été mis au point pour tirer parti de transitions optiques. Dans le premier, on travaille avec de nombreux atomes, d'où une bonne statistique, mais les collisions entre atomes décalent les fréquences. Pour supprimer ce biais, l'autre

méthode consiste à n'utiliser qu'un seul atome. Mais on est alors confronté à un signal très faible. L'équipe de Hidetoshi Katori a combiné les avantages des deux méthodes. Elle a utilisé plusieurs atomes de strontium, chacun piégé dans un puits de potentiel différent d'un intense piège lumineux. De plus, en ajustant la fréquence des lasers pièges, les physiciens se sont affranchis du problème des décalages en fréquence liés à l'interaction du piège optique avec les atomes. En effet, pour certaines valeurs de la fréquence du piège, les énergies de deux niveaux atomiques utilisés pour l'expérience sont décalées de la même valeur. Comme c'est la différence d'énergie entre les deux niveaux qui détermine la fréquence du rayonnement étudié, le problème disparaît.

Pour Gilles Nogues, au laboratoire Kastler-Brossel, à l'École normale supérieure, l'expérience japonaise est très élégante et intéressante pour le développement des horloges du futur. Néanmoins, les 18 chiffres après la virgule promis en théorie ne sont aujourd'hui que 14 dans l'expérience japonaise. Et, comme le rappelle Sébastien Bize, du Bureau national de métrologie, les meilleures horloges au césium actuelles donnent la seconde avec 15 décimales. Reste, de l'avis de tous, un résultat prometteur. M. G.

Nature, vol. 435, pp. 321-324, 19 mai 2005

Dans 0,00000000000000001 seconde, il sera midi

Toutes les horloges fonctionnent sur le même principe : un oscillateur et un compteur rendant compte de la succession des oscillations. Plus l'oscillateur est rapide, et à condition de disposer d'un compteur capable de suivre le mouvement de celui-là, plus la précision d'une horloge est grande. Ainsi, le cristal d'une montre à quartz vibre 10 000 fois par seconde. Et dans une horloge atomique au césium, la fréquence de la radiation entre deux niveaux atomiques, qui sert de référence universelle pour la mesure du temps, est de 9 192 631 770 hertz. Pour aller plus loin, on étudie la possibilité de travailler avec des rayonnements optiques, dont la fréquence est de l'ordre de 10^{15} hertz.

Deux protocoles expérimentaux ont déjà été mis au point pour tirer parti de transitions optiques. Dans le premier, on travaille avec de nombreux atomes, d'où une bonne statistique, mais les collisions entre atomes décalent les fréquences. Pour supprimer ce biais, l'autre