LES MODELES ATMOSPHERIQUES ET L'HELIUM

M. NICOLET

Centre National de Recherches de l'Espace, Uccle, Belgium

Résumé: Les hautes densités déduites de la variation de la période orbitale du satellite Echo peuvent être expliquées par la présence de l'hélium. L'oxygène atomique ou l'azote ne peuvent expliquer la faible diminution observée de 750 à 1500 km. La présence de l'hydrogène atomique introduite par certains auteurs exigerait une concentration trop élevée.

La présence de l'hélium est indiquée par des calculs ou on tient compte de la diffusion thermique pour différents gradients de température conduisant à des valeurs de la température de la thermopause comprises entre 1000 et 2000° K. La densité de l'hélium est telle qu'au-dessus de 500 km, la masse moléculaire moyenne dépend du rapport des concentrations de l'hélium et de l'oxygène atomique.

L'ion d'hélium peut jouer un rôle dans la région où la distribution ionique verticale correspond à une distribution électrostatique.

Abstract: High densities derived from the rate of change of period of the Echo satellite orbit can be explained by the presence of helium. Atomic oxygen or nitrogen cannot explain the slow decrease between 750 km and 1500 km. The presence of atomic hydrogen as claimed by several authors would require a too high concentration.

The presence of helium is justified by calculations in which thermal diffusion was included for various temperature gradients leading to temperatures at the thermopause between 1000° K and 2000° K. The density of helium is such that the mean molecular mass above 500 km depends on the ratio of helium and atomic oxygen concentrations.

Helium ions can play a role in the region where the vertical distribution of ions is in electrostatic distribution.

Резюме: Высокие плотности, выведенные на основании скорости изменения орбитального периода спутника "Эхо", могут бытр об'яснены наличием гелия. Атомарный кислород или азот не может об'яснить медленное уменьшение на высоте между 750 и 1500 км. По мнению ряда авторов в атмосфере содержится атомарный водород, но это потребовало бы слишком высокой концентрации. Наличие гелия оправдывается расчетами, при которых тепловая диффузия включалась для различных температурных градиентов, ведущих к температурам в термическом интервале 1000—2000° К. Плотность гелия такова, что средняя молекулярная масса на высоте более 500 км зависит от соотношения концентраций гелия и атомарного кислорода. Ионы гелия могут иметь значение в области, где вертикальное распределение ионов является электростатическим.

[VIII]

Lorsqu'on examine le rapport des concentrations de l'hélium et de l'azote moléculaire dans l'homosphère, on constate que le rapport $n(\text{He})/n(N_2) = 6.7 \times 10^{-6}$. Un tel rapport conduit à une concentration atteignant $n(\text{He}) = 7.4 \times 10^7$ cm⁻³ à 100 km quand la pression partielle de l'azote moléculaire n'est pas inférieure à 2.2×10^{-4} mm Hg c'est-à-dire une fraction raisonable de la pression totale à laquelle on doit s'attendre vers 100 km.

La diffusion de l'hélium doit commencer au-dessus de 100 km et il y a divers critères que l'on peut appliquer pour effectuer le calcul. Ce calcul a été effectué en considérant que les temps de diffusion diminuent dans la région de 100 à 120 km d'un facteur de l'ordre de 2 par étape de 5 km et que les concentrations de l'hélium diminuent du même facteur si la diffusion commence pour des mêmes intervalles d'altitude.

Le résultat final est que l'hélium à une altitude de 750 km joue un rôle important. On peut tout d'abord se rendre compte des températures auxquelles correspondent les différentes analyses de la variation orbitale des divers satellites par plusieurs auteurs [1, 2, 3], en comparant les densités obtenues à diverses altitudes si on adopte des modèles atmosphériques soumis au transport de chaleur par conduction [4] et en équilibre de diffusion [5]. La figure 1 montre comment le maximum en 1958 [1] est atteint avec des températures de l'ordre de 2000° K et comment le minimum en 1960 [3] est représenté par des températures n'atteignant pas 1000° K. Une telle variation est compréhensible par le chauffage par l'ultraviolet solaire et le refroidissement par conduction. On voit aussi que l'introduction de l'hélium permet des conclusions acceptables à tous les points de vue.

Lorsqu'on veut interpréter les hautes densités déduites de la variation de la période orbitale du satellite Echo I [6, 7], on s'aperçoit que l'oxygène atomique comme constituant principal conduirait à des valeurs de la température impossibles à admettre. L'introduction de l'hydrogène [8, 9] ne peut être acceptée car elle requiert des concentrations beaucoup trop élevées. La solution de l'hélium ne pose aucun problème car sa concentration aux hauts niveaux dépend uniquement du début de la diffusion dans la région de 110 \pm 5 km.

Le résultat est que la masse moléculaire au delà de 500 km dépend beaucoup de l'hélium et il faut tenir compte de ce fait dans l'analyse des modèles atmosphériques. Un résultat est présenté sous forme graphique à la figure 2 pour différentes températures de la thermopause. On voit qu'à 750 km, la masse moléculaire est inférieure à 16 pour toute température inférieure à 2000° K. Elle diminue au-dessous de 10 quand la température est inférieure à 1000° K. On voit donc que la masse moléculaire varie fortement à 750 km



Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 1.



Fig. 2.

[VIII]

TABLEAU	1
and himself the same of the	

Densité de l'atmosphère en fonction de la température de la thermopause (g cm⁻³)

Alti-	Température (°K)							
(km)	1837	1711	1598	1412	1273	1155	1059	
750	$4,4 \times 10^{-16}$	$3,2 \times 10^{-16}$	$2,4 imes10^{-16}$	$1,3 \times 10^{-16}$	$6,8 \times 10^{-17}$	$3,7 imes 10^{-17}$	$2,1 \times 10^{-19}$	
1000	$6,1 imes 10^{-17}$	$4,0 \times 10^{-17}$	$2,7 \times 10^{-17}$	$1,2 \times 10^{-17}$	$6,5 \times 10^{-18}$	$3,8 imes10^{-18}$	$2,5 \times 10^{-17}$	
1250	$1,2 \times 10^{-17}$	$7,7 \times 10^{-18}$	$5,2 \times 10^{-18}$	$2,8 \times 10^{-18}$	$1,8 \times 10^{-18}$	$1,2 \times 10^{-18}$	$9,0 \times 10^{-18}$	
1500	$3,7 \times 10^{-18}$	$2,6 \times 10^{-18}$	$1,9 \times 10^{-18}$	$1,2 \times 10^{-18}$	$8,5 \times 10^{-19}$	$5,9 \times 10^{-19}$	$4,2 imes 10^{-19}$	
2000	$1,1 \times 10^{-18}$	$8,1 imes 10^{-19}$	$6,5 \times 10^{-19}$	$4,1 \times 10^{-19}$	$2,6 \times 10^{-19}$	$1,7 \times 10^{-19}$	$1,1 \times 10^{-19}$	



Fig. 3.

lorsque la température de la thermopause varie dans les conditions observées et représentées à la figure 1.

Les densités que l'on doit obtenir aux altitudes supérieures à 750 km sont représentées au tableau 1 pour des températures de la thermopause comprises entre 1060° K et 1850° K, dans le cadre des modèles atmosphériques utilisés pour les figures 1 et 2.

On voit que les données du tableau 1 peuvent expliquer les observations du satellite Echo I, car elles montrent que la densité était supérieure à 10^{-18} g cm⁻³ au moment du début des observations lorsque le périgée était voisin de 1500 km. De même, elles s'adaptent aux observations du début de 1961 lorsque le périgée est descendu jusqu'à 950 km tandis que l'activité solaire avait diminué.

Si la présence de l'hélium doit modifier la conception simple de modèles atmosphériques où la masse M=16 ou 14 apparaissait comme une limite vers 600-700 km, elle change également, par la présence de son ion He⁺, la zone de transition de l'ion d'oxygène atomique à l'ion d'hydrogène atomique. En reprenant dans la conception [10] de la distribution électrostatique, des concentrations arbitraires $n(O^+):n(He^+):n(H^+)=10^5:10^3:5\times10^2$, à 500 km, on trouve dans une distribution d'équilibre de diffusion le résultat que la figure 3 représente pour O⁺, He⁺ et H⁺. On voit que l'ion d'hélium doit intervenir dans une région d'épaisseur non négligeable. Il est donc certain que la hauteur d'échelle de la distribution verticale des électrons sera nettement influencée par la présence des ions He⁺.

En conclusion, il faut donc considérer que l'on ne peut introduire arbitrairement des masses moléculaires dans la détermination de modèles atmosphériques. Ceux-ci doivent être basés pour être cohérents, sur des paramètres physiques respectant les conditions définies par la loi des gaz parfaits, la loi de la statique et les règles de la diffusion dans le champ de la pesanteur et du transport de chaleur par conduction.

En terminant, je voudrais souligner l'aide que m'a apportée G. Kockarts dans l'élaboration de cette note.

Références

- 1. L. G. Jacchia, Smith. Astrophys. Obs., Sp. Report, nº 39 (1960)
- 2. D. G. King-Hele and D. M. C. Walker, These Proceedings, p. 918
- 3. M. A. Martin and W. Priester, These Proceedings, p. 902
- M. Nicolet, Space Research, Proc. First Intern. Space Science Symp., Nice, 1960, ed. H. Kallmann-Bijl (North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1960) 46

[VIII] LES MODELES ATMOSPHERIQUES ET L'HELIUM

- 5. M. Nicolet, Planetary and Space Science 5 (1961) 1
- 6. R. Jastrow and R. Bryant, J. Geophys. Res. 65 (1960) 3512
- P. E. Zadunaisky, I. I. Shapiro and H. M. Jones, Smith. Astrophys. Obs., Sp. Report, n^o 61 (1961)
- 8. H. K. Paetzold, Naturwissenschaften 48 (1961) 39
- 9. M. Roemer, Mitteilung der Universitäts-Sternwarte Bonn, n° 37 (1961)
- 10. P. Mange, J. Geophys. Res. 65 (1960) 3833