

PUBLIKACE PRAŽSKÉ STÁTNÍ HVĚZDÁRNY  
Č. 18.  
PUBLICATIONS DE L'OBSERVATOIRE NATIONAL  
DE PRAGUE

---

## EXTENSION DES TABLES DIOPTRIQUES DE L'ATMOSPHERE TERRESTRE

Redigée d'après les calculs de

MM. A. Čížek, E. Fluss, Mlles V. Chmelařová, El. Chvojková,

MM. L. Matoušek, M. Pick et Ig. Vrecion

membres de la Section de calcul de la Société astronomique tchécoslovaque  
à Prague

Par *F. Link*

*Mémoire publié avec la subvention du Conseil National Tchécoslovaque  
des Recherches Scientifiques*

## EXPLORATION MÉTEORIQUE DE LA HAUTE ATMOSPHERE

*F. Link*

1947

IMPRIMERIE „PROMETHEUS“ PRAHA

### Introduction.

Les Tables dioptriques de l'atmosphère terrestre<sup>1)</sup> contiennent tous les éléments nécessaires d'une trajectoire lumineuse traversant les parties basses de l'atmosphère terrestre. Leur calcul a nécessité toute une série d'intégrations numériques basées sur la structure physique de la basse atmosphère. Ces Tables s'arrêtent à une certaine altitude  $h_1$  où la trajectoire devient rectiligne. A partir de ce point une partie des éléments devient constante et les autres peuvent être calculés par un simple procédé trigonométrique. Notre Extension donne alors ces derniers éléments.

Soient  $i_1$ ,  $R_1$ ,  $\varphi_1$  et  $s_1$  les éléments de la trajectoire au point B (voir la fig. 1) situé à l'altitude  $h_1$ . Pour un point C situé à l'altitude  $h > h_1$  on alors les formules suivantes

$$\sin i = \frac{(1 + h_1) \sin i_1}{1 + h}, \quad \varphi = i - z - R_1,$$

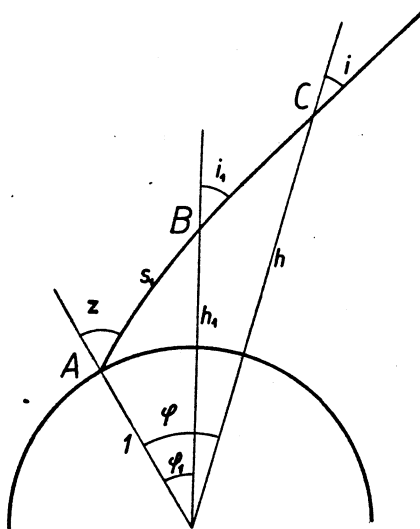
$$s = s_1 + \frac{(1 + h) \sin(\varphi - \varphi_1)}{\sin i_1}$$

qui nous ont servi pour calculer les Tables suivantes valables pour les conditions d'hiver. Les valeurs estivales peuvent être obtenues par une simple correction des valeurs  $i_1$ ,  $\varphi_1$ ,  $s_1$ , que l'on trouve dans les Tables dioptriques. La précision des valeurs contenues dans les tables suivantes correspond à celle des valeurs de départ  $i_1$ ,  $\varphi_1$ ,  $s_1$ , c'est-à-dire  $\pm 0,02^\circ$  en angles ou  $\pm 3$  km en longueurs. Elle suffit largement dans toutes les applications visées par nos Tables et leurs Extension.

Observatoire National de Prague, le 17 novembre 1945.

*F. Link.*

<sup>1)</sup> F. LINK-Z. SEKERA: Tables dioptriques de l'atmosphère terrestre, Publ. de l'Obs. Nat. de Prague No. 14, 1940.



$i$   
 $z = 90^\circ$

$h - h_0$	$h_0 = 0$	1	3	5	10	15	20	30 km
35	84,15	84,13	84,10	84,08	84,04	84,01	84,01	84,01
40	83,73	83,71	83,68	83,66	83,64	83,62	83,59	83,60
45	83,33	83,32	83,30	83,28	83,25	83,22	83,20	83,20
50	82,96	82,94	82,92	82,90	82,88	82,86	82,84	82,84
55	82,63	82,60	82,58	82,56	82,53	82,50	82,50	82,50
60	82,28	82,26	82,24	82,22	82,20	82,18	82,17	82,17
65	81,95	81,94	81,92	81,90	81,88	81,86	81,84	81,83
70	81,64	81,62	81,60	81,58	81,56	81,55	81,53	81,51
75	81,35	81,33	81,31	81,28	81,25	81,24	81,23	81,22
80	81,06	81,05	81,03	81,00	80,98	80,96	80,95	80,94
85	80,78	80,77	80,75	80,73	80,71	80,69	80,68	80,67
90	80,51	80,50	80,48	80,46	80,44	80,42	80,41	80,40
95	80,24	80,24	80,22	80,20	80,18	80,16	80,15	80,15
100	79,99	79,99	79,97	79,96	79,93	79,91	79,90	79,90
110	79,50	79,49	79,48	79,46	79,45	79,43	79,41	79,40
120	79,03	79,02	79,01	79,00	78,98	78,97	78,96	78,95
130	78,59	78,58	78,56	78,55	78,53	78,52	78,51	78,49
140	78,17	78,16	78,14	78,13	78,11	78,10	78,09	78,07
150	77,75	77,74	77,73	77,72	77,70	77,69	77,68	77,67
160	77,35	77,34	77,33	77,32	77,31	77,30	77,29	77,28
170	76,97	76,97	76,95	76,94	76,93	76,92	76,91	76,91
180	76,60	76,59	76,57	76,56	76,55	76,54	76,53	76,53
190	76,24	76,32	76,22	76,21	76,19	76,18	76,18	76,17
200	75,88	75,87	75,86	75,85	75,84	75,83	75,82	75,81
220	75,21	75,20	75,19	75,18	75,17	75,16	75,15	75,14
240	74,57	74,56	74,55	74,54	74,53	74,52	74,51	74,50
260	73,95	73,94	73,93	73,92	73,91	73,90	73,89	73,88
280	73,38	73,37	73,36	73,35	73,35	73,35	73,34	73,32
300	72,81	72,80	72,79	72,79	72,79	72,79	72,79	72,79

*i*

$z = 89^\circ$

$z = 88^\circ$

$h - h_0$	$h_0 = 0$	5	10	15	20	0	5	10	15	20 km
35	84,07	84,00	83,96	83,93	83,92	83,82	83,75	83,72	83,69	83,68
40	83,65	83,58	83,55	83,53	83,52	83,42	83,35	83,32	83,31	83,30
45	83,27	83,20	83,17	83,15	83,13	83,04	82,97	82,96	82,93	82,92
50	82,90	82,84	82,81	82,78	82,77	82,69	82,63	82,60	82,58	82,57
55	82,55	82,49	82,46	82,44	82,43	82,35	82,29	82,27	82,25	82,25
60	82,22	82,16	82,13	82,12	82,10	82,02	81,97	81,94	81,93	81,92
65	81,89	81,84	81,82	81,80	81,78	81,70	81,66	81,64	81,62	81,62
70	81,58	81,54	81,52	81,50	81,48	81,41	81,36	81,34	81,32	81,32
75	81,29	81,24	81,22	81,21	81,19	81,12	81,07	81,05	81,04	81,03
80	81,01	80,95	80,94	80,92	80,91	80,84	80,79	80,77	80,76	80,76
85	80,72	80,69	80,67	80,65	80,64	80,56	80,53	80,51	80,50	80,49
90	80,46	80,42	80,40	80,39	80,37	80,30	80,27	80,25	80,23	80,22
95	80,20	80,16	80,14	80,12	80,12	80,05	80,02	79,99	79,97	79,97
100	79,95	79,91	79,89	79,88	79,87	79,80	79,76	79,74	79,73	79,73
110	79,47	79,42	79,40	79,40	79,39	79,33	79,28	79,27	79,26	79,26
120	78,99	78,96	78,95	78,93	78,93	78,86	78,83	78,82	78,80	78,80
130	78,56	78,52	78,50	78,50	78,48	78,43	78,39	78,37	78,37	78,36
140	78,14	78,10	78,08	78,07	78,06	78,01	77,98	77,96	77,95	77,95
150	77,71	77,68	77,67	77,66	77,65	77,60	77,57	77,55	77,54	77,54
160	77,32	77,29	77,27	77,27	77,26	77,21	77,17	77,16	77,15	77,15
170	76,94	76,90	76,89	76,89	76,88	76,82	76,79	76,78	76,78	76,77
180	76,57	76,53	76,52	76,52	76,51	76,45	76,43	76,42	76,41	76,40
190	76,19	76,17	76,16	76,15	76,15	76,09	76,07	76,06	76,05	76,05
200	75,85	75,82	75,81	75,81	75,80	75,75	75,72	75,71	75,70	75,70
220	75,18	75,15	75,14	75,14	75,14	75,08	75,05	75,04	75,04	75,04
240	74,54	74,51	74,50	74,50	74,50	74,44	74,42	74,41	74,41	74,41
260	73,90	73,90	73,89	73,89	73,89	73,83	73,81	73,80	73,80	73,80
280	73,33	73,31	73,31	73,31	73,30	73,25	73,23	73,22	73,22	73,22
300	72,77	72,75	72,74	72,74	72,74	72,68	72,67	72,66	72,66	72,66

*i*

$z = 86^\circ$

$z = 83^\circ$

$h - h_0$	$h_0 = 0$	5	10	15	20	0	5	10	15	20 km
35	82,91	82,86	82,83	82,81	82,80	80,88	80,84	80,82	80,80	80,79
40	82,56	82,52	82,48	82,47	82,45	80,61	80,56	80,55	80,53	80,52
45	82,22	82,18	82,16	82,14	82,12	80,34	80,29	80,29	80,27	80,26
50	81,91	81,87	81,84	81,82	81,80	80,09	80,04	80,03	80,02	80,00
55	81,60	81,57	81,53	81,52	81,51	79,83	79,79	79,77	79,76	79,75
60	81,31	81,27	81,23	81,22	81,21	79,59	79,54	79,53	79,52	79,52
65	81,02	80,98	80,95	80,94	80,93	79,35	79,30	79,30	79,28	79,27
70	80,74	80,71	80,68	80,67	80,66	79,11	79,07	79,07	79,05	79,04
75	80,47	80,44	80,41	80,40	80,39	78,89	78,85	78,83	78,83	78,82
80	80,20	80,18	80,16	80,14	80,13	78,66	78,62	78,61	78,60	78,59
85	79,94	79,93	79,90	79,89	79,88	78,43	78,41	78,39	78,39	78,38
90	79,70	79,68	79,66	79,64	79,63	78,22	78,19	78,18	78,17	78,16
95	79,47	79,45	79,42	79,40	79,40	78,01	77,98	77,97	77,96	77,95
100	79,23	79,21	79,18	79,17	79,17	77,81	77,77	77,76	77,75	77,75
110	78,78	78,75	78,73	78,72	78,72	77,41	77,38	77,37	77,35	77,35
120	78,34	78,32	78,30	78,28	78,28	77,02	76,99	76,98	76,97	76,96
130	77,92	77,90	77,88	77,86	77,86	76,65	76,61	76,60	76,60	76,59
140	77,52	77,50	77,48	77,47	77,46	76,29	76,25	76,24	76,23	76,23
150	77,13	77,10	77,09	77,08	77,07	75,93	75,89	75,89	75,88	75,87
160	76,75	76,73	76,71	76,70	76,70	75,58	75,54	75,54	75,53	75,53
170	76,38	76,36	76,34	76,34	76,33	75,24	75,21	75,20	75,20	75,19
180	76,03	76,01	75,99	75,99	75,98	74,91	74,89	74,88	74,87	74,86
190	75,68	75,66	75,64	75,64	75,63	74,59	74,57	74,56	74,55	74,54
200	75,34	75,32	75,30	75,30	75,29	74,27	74,25	74,24	74,24	74,24
220	74,69	74,68	74,66	74,66	74,65	73,67	73,65	73,64	73,64	73,63
240	74,07	74,05	74,04	74,04	74,04	73,09	73,07	73,06	73,06	73,06
260	73,47	73,46	73,45	73,45	73,44	72,53	72,51	72,50	72,50	72,50
280	72,91	72,89	72,88	72,88	72,87	71,99	71,97	71,97	71,97	71,96
300	72,35	72,34	72,33	72,33	72,32	71,47	71,44	71,44	71,44	71,44

*i*

$z = 80^\circ$

$z = 75^\circ$

$h - h_0$	$h_0 = 0$	5	10	15	20	0	5	10	15	20 km
35	78,43	78,40	78,38	78,36	78,35	73,92	73,90	73,89	73,87	73,87
40	78,21	78,18	78,17	78,15	78,13	73,77	73,74	73,73	73,72	73,72
45	78,00	77,97	77,96	77,94	77,92	73,61	73,59	73,59	73,58	73,57
50	77,79	77,77	77,75	77,73	77,72	73,46	73,44	73,43	73,42	73,42
55	77,59	77,57	77,55	77,53	77,52	73,31	73,29	73,28	73,27	73,27
60	77,39	77,36	77,35	77,33	77,32	73,16	73,14	73,14	73,12	73,12
65	77,19	77,17	77,15	77,13	77,12	73,01	72,99	72,99	72,97	72,97
70	76,99	76,97	76,95	76,94	76,93	72,87	72,85	72,84	72,83	72,83
75	76,80	76,78	76,77	76,75	76,74	72,73	72,71	72,70	72,69	72,69
80	76,61	76,59	76,58	76,57	76,56	72,58	72,57	72,56	72,54	72,54
85	76,42	76,41	76,39	76,38	76,38	72,44	72,43	72,42	72,41	72,41
90	76,25	76,23	76,21	76,20	76,19	72,30	72,29	72,28	72,27	72,27
95	76,07	76,05	76,03	76,02	76,01	72,16	72,15	72,14	72,13	72,13
100	75,89	75,87	75,85	75,84	75,83	72,02	72,01	72,00	71,99	71,99
110	75,55	75,53	75,52	75,50	75,49	71,75	71,74	71,73	71,72	71,72
120	75,21	75,19	75,18	75,16	75,15	71,49	71,48	71,47	71,46	71,46
130	74,87	74,85	74,84	74,83	74,82	71,22	71,22	71,21	71,20	71,20
140	74,55	74,54	74,52	74,51	74,50	70,97	70,96	70,95	70,94	70,94
150	74,24	74,22	74,21	74,20	74,19	70,72	70,71	70,70	70,69	70,69
160	73,93	73,91	73,90	73,89	73,88	70,47	70,46	70,45	70,44	70,44
170	73,63	73,61	73,60	73,59	73,58	70,22	70,21	70,21	70,20	70,20
180	73,34	73,32	73,31	73,30	73,29	69,98	69,98	69,97	69,96	69,96
190	73,05	73,03	73,02	73,01	73,00	69,74	69,74	69,73	69,72	69,72
200	72,76	72,74	72,74	72,73	72,72	69,50	69,50	69,49	69,48	69,48
220	72,21	72,19	72,19	72,18	72,17	69,05	69,04	69,04	69,02	69,02
240	71,68	71,66	71,65	71,65	71,64	68,60	68,59	68,59	68,58	68,58
260	71,16	71,15	71,14	71,14	71,13	68,16	68,16	68,15	68,15	68,15
280	70,67	70,65	70,65	70,64	70,63	67,74	67,73	67,73	67,72	67,72
300	70,19	70,17	70,16	70,16	70,15	67,32	67,31	67,30	67,30	67,30

$\varphi$  $z = 90^\circ$ 

$h - h_0$	$h_0 = 0$	1	3	5	10	15	20	30 km
35	6,49	6,42	6,33	6,27	6,17	6,09	6,04	6,00
40	6,91	6,84	6,75	6,69	6,57	6,48	6,46	6,41
45	7,31	7,23	7,13	7,07	6,96	6,88	6,85	6,81
50	7,68	7,61	7,51	7,45	7,33	7,24	7,21	7,17
55	8,02	7,95	7,85	7,79	7,68	7,60	7,55	7,51
60	8,36	8,29	8,19	8,13	8,01	7,92	7,88	7,84
65	8,69	8,61	8,51	8,45	8,32	8,24	8,21	8,18
70	9,00	8,93	8,83	8,77	8,65	8,55	8,52	8,50
75	9,29	9,22	9,12	9,08	8,96	8,86	8,82	8,79
80	9,58	9,50	9,40	9,35	9,23	9,14	9,10	9,08
85	9,86	9,78	9,68	9,62	9,50	9,41	9,37	9,34
90	10,13	10,05	9,95	9,89	9,77	9,68	9,64	9,61
95	10,40	10,31	10,21	10,15	10,03	9,94	9,90	9,86
100	10,65	10,56	10,46	10,39	10,28	10,19	10,15	10,11
110	11,14	11,06	10,95	10,89	10,76	10,67	10,64	10,61
120	11,61	11,53	11,42	11,35	11,23	11,13	11,09	11,06
130	12,05	11,97	11,87	11,80	11,68	11,58	11,54	11,52
140	12,47	12,39	12,29	12,22	12,10	12,00	11,96	11,94
150	12,89	12,81	12,70	12,63	12,51	12,41	12,37	12,34
160	13,29	13,21	13,10	13,03	12,90	12,81	12,76	12,73
170	13,67	13,59	13,48	13,41	13,28	13,18	13,14	13,10
180	14,04	13,96	13,86	13,79	13,66	13,56	13,52	13,48
190	14,40	14,32	14,21	14,14	14,02	13,92	13,87	13,84
200	14,76	14,68	14,57	14,50	14,37	14,27	14,23	14,20
220	15,43	15,35	15,24	15,17	15,04	14,94	14,90	14,87
240	16,07	15,99	15,88	15,81	15,68	15,58	15,54	15,51
260	16,69	16,61	16,50	16,43	16,30	16,20	16,16	16,13
280	17,26	17,18	17,07	17,00	16,86	16,75	16,71	16,66
300	17,83	17,75	17,64	17,56	17,42	17,31	17,26	17,22

$\varphi$  $z = 89^\circ$  $z = 88^\circ$ 

$h - h_0$	$h_0 = 0$	5	10	15	20	0	5	10	15	20 km
35	5,36	5,25	5,18	5,13	5,11	4,50	4,43	4,39	4,36	4,34
40	5,78	5,67	5,59	5,54	5,51	4,90	4,83	4,79	4,74	4,72
45	6,16	6,05	5,97	5,92	5,90	5,28	5,21	5,15	5,12	5,10
50	6,53	6,41	6,33	6,29	6,26	5,63	5,55	5,51	5,47	5,45
55	6,88	6,76	6,68	6,63	6,60	5,97	5,89	5,84	5,80	5,78
60	7,21	7,09	7,01	6,95	6,93	6,30	6,21	6,17	6,12	6,10
65	7,54	7,41	7,32	7,27	7,25	6,61	6,52	6,47	6,43	6,40
70	7,85	7,71	7,62	7,57	7,54	6,91	6,82	6,77	6,73	6,70
75	8,14	8,01	7,92	7,86	7,84	7,20	7,11	7,06	7,01	6,99
80	8,42	8,29	8,20	8,15	8,12	7,48	7,39	7,34	7,29	7,26
85	8,71	8,56	8,47	8,42	8,39	7,77	7,65	7,60	7,56	7,53
90	8,97	8,83	8,74	8,69	8,66	8,02	7,91	7,86	7,82	7,80
95	9,23	9,09	9,00	8,95	8,91	8,27	8,17	8,12	8,08	8,05
100	9,48	9,34	9,25	9,19	9,16	8,52	8,42	8,37	8,32	8,29
110	9,96	9,83	9,74	9,67	9,64	9,00	8,90	8,84	8,79	8,76
120	10,44	10,29	10,19	10,14	10,10	9,46	9,35	9,29	9,25	9,22
130	10,87	10,73	10,64	10,57	10,55	9,88	9,79	9,74	9,68	9,66
140	11,30	11,15	11,06	11,00	10,96	10,31	10,20	10,15	10,10	10,07
150	11,72	11,57	11,47	11,41	11,37	10,71	10,61	10,56	10,51	10,48
160	12,11	11,96	11,87	11,80	11,77	11,11	11,01	10,95	10,90	10,87
170	12,49	12,35	12,25	12,18	12,15	11,50	11,39	11,33	11,27	11,25
180	12,86	12,72	12,62	12,55	12,52	11,87	11,75	11,70	11,64	11,62
190	13,23	13,08	12,98	12,92	12,88	12,23	12,11	12,06	12,00	11,97
200	13,58	13,43	13,33	13,26	13,23	12,57	12,46	12,40	12,35	12,32
220	14,25	14,10	14,00	13,93	13,89	13,24	13,13	13,07	13,00	12,98
240	14,89	14,74	14,64	14,57	14,53	13,88	13,76	13,70	13,64	13,61
260	15,51	15,35	15,25	15,18	15,14	14,49	14,37	14,31	14,25	14,22
280	16,09	15,94	15,83	15,76	15,73	15,07	14,95	14,89	14,83	14,80
300	16,66	16,50	16,40	16,33	16,29	15,64	15,51	15,45	15,39	15,36



$\varphi$

$z = 86^\circ$

$z = 83^\circ$

$h - h_0$	$h_0 = 0$	5	10	15	20	0	5	10	15	20 km
35	3,28	3,26	3,24	3,23	3,22	2,24	2,23	2,22	2,22	2,22
40	3,64	3,60	3,59	3,56	3,56	2,52	2,51	2,50	2,48	2,48
45	3,98	3,94	3,91	3,89	3,89	2,79	2,78	2,76	2,75	2,75
50	4,29	4,25	4,23	4,21	4,21	3,05	3,03	3,01	3,00	3,01
55	4,60	4,55	4,54	4,51	4,51	3,30	3,28	3,27	3,26	3,26
60	4,89	4,85	4,84	4,81	4,80	3,54	3,53	3,51	3,50	3,50
65	5,18	5,14	5,12	5,09	5,09	3,78	3,77	3,74	3,74	3,74
70	5,46	5,41	5,39	5,36	5,36	4,02	4,00	3,97	3,97	3,97
75	5,73	5,68	5,66	5,63	5,62	4,24	4,22	4,20	4,19	4,19
80	6,00	5,94	5,92	5,89	5,88	4,47	4,45	4,42	4,42	4,42
85	6,26	6,19	6,17	6,14	6,13	4,70	4,67	4,65	4,64	4,63
90	6,50	6,44	6,41	6,39	6,38	4,91	4,88	4,86	4,85	4,85
95	6,74	6,68	6,65	6,63	6,61	5,12	5,09	5,07	5,06	5,06
100	6,97	6,91	6,89	6,86	6,84	5,32	5,29	5,27	5,26	5,26
110	7,42	7,37	7,34	7,31	7,29	5,73	5,69	5,67	5,67	5,66
120	7,86	7,80	7,77	7,75	7,73	6,12	6,08	6,06	6,05	6,05
130	8,28	8,22	8,19	8,16	8,15	6,50	6,46	6,44	6,42	6,42
140	8,68	8,62	8,59	8,56	8,55	6,85	6,82	6,80	6,79	6,78
150	9,07	9,02	8,98	8,95	8,94	7,20	7,18	7,15	7,14	7,14
160	9,45	9,39	9,36	9,33	9,31	7,55	7,53	7,50	7,49	7,48
170	9,82	9,76	9,73	9,69	9,68	7,89	7,86	7,84	7,82	7,82
180	10,17	10,11	10,08	10,04	10,03	8,22	8,18	8,17	8,15	8,15
190	10,52	10,46	10,43	10,39	10,38	8,54	8,50	8,49	8,47	8,47
200	10,86	10,80	10,77	10,73	10,72	8,86	8,82	8,80	8,78	8,77
220	11,51	11,44	11,41	11,37	11,36	9,46	9,42	9,40	9,38	9,38
240	12,13	12,07	12,03	11,99	11,97	10,04	10,00	9,98	9,96	9,95
260	12,73	12,66	12,62	12,58	12,57	10,60	10,56	10,54	10,52	10,51
280	13,30	13,23	13,19	13,15	13,14	11,14	11,10	11,07	11,05	11,05
300	13,85	13,78	13,74	13,70	13,69	11,66	11,62	11,60	11,58	11,57

$\varphi$

$h - h_0$	$z = 80^\circ$					$z = 75^\circ$				
	$h_0 = 0$	5	10	15	20	0	5	10	15	20 km
35	1,66	1,66	1,65	1,65	1,65	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
40	1,88	1,87	1,86	1,86	1,87	1,30	1,30	1,29	1,29	1,28
45	2,09	2,08	2,07	2,07	2,08	1,45	1,45	1,45	1,44	1,43
50	2,30	2,28	2,28	2,28	2,28	1,60	1,60	1,59	1,59	1,58
55	2,50	2,48	2,48	2,48	2,48	1,75	1,75	1,74	1,74	1,73
60	2,70	2,68	2,68	2,68	2,68	1,90	1,90	1,89	1,89	1,88
65	2,90	2,88	2,88	2,88	2,88	2,05	2,05	2,04	2,04	2,03
70	3,10	3,08	3,08	3,07	3,07	2,19	2,19	2,18	2,18	2,17
75	3,29	3,27	3,26	3,26	3,26	2,33	2,33	2,32	2,32	2,31
80	3,48	3,46	3,45	3,45	3,44	2,48	2,47	2,46	2,47	2,46
85	3,66	3,64	3,64	3,63	3,63	2,63	2,61	2,60	2,60	2,59
90	3,84	3,82	3,82	3,81	3,81	2,78	2,75	2,74	2,74	2,73
95	4,02	4,00	4,00	3,99	3,99	2,92	2,89	2,88	2,88	2,87
100	4,20	4,18	4,18	4,17	4,17	3,06	3,03	3,02	3,02	3,01
110	4,54	4,52	4,52	4,51	4,51	3,31	3,30	3,29	3,29	3,28
120	4,88	4,86	4,85	4,85	4,85	3,57	3,56	3,55	3,55	3,54
130	5,22	5,20	5,19	5,18	5,18	3,84	3,82	3,81	3,81	3,80
140	5,54	5,52	5,51	5,50	5,50	4,09	4,08	4,07	4,07	4,06
150	5,85	5,83	5,82	5,81	5,81	4,34	4,33	4,32	4,32	4,31
160	6,16	6,14	6,13	6,12	6,12	4,59	4,58	4,57	4,57	4,56
170	6,46	6,44	6,43	6,42	6,42	4,84	4,83	4,81	4,81	4,80
180	6,75	6,73	6,72	6,71	6,71	5,08	5,06	5,05	5,05	5,04
190	7,04	7,02	7,01	7,00	7,00	5,32	5,30	5,29	5,29	5,28
200	7,33	7,31	7,29	7,28	7,28	5,55	5,54	5,53	5,53	5,52
220	7,88	7,86	7,84	7,83	7,83	6,01	6,00	5,99	5,99	5,98
240	8,41	8,39	8,38	8,36	8,36	6,46	6,45	6,43	6,43	6,42
260	8,93	8,90	8,89	8,87	8,87	6,90	6,88	6,87	6,86	6,85
280	9,42	9,40	9,38	9,37	9,37	7,32	7,31	7,29	7,29	7,28
300	9,90	9,88	9,87	9,85	9,85	7,74	7,73	7,71	7,71	7,70

S  
 $z = 90^\circ$

$h - h_0$	$h_0 = 0$	1	3	5	10	15	20	30 km
35	720	713	702	697	686	677	673	670
40	767	760	749	744	731	722	720	716
45	812	804	792	787	775	766	764	761
50	854	847	835	830	815	807	805	802
55	892	886	873	868	854	847	844	840
60	930	924	911	907	894	884	882	878
65	968	961	949	944	931	920	919	917
70	1004	997	985	980	967	956	955	954
75	1037	1030	1018	1014	1002	991	989	988
80	1070	1062	1050	1045	1033	1023	1021	1021
85	1102	1093	1082	1076	1064	1054	1052	1050
90	1132	1124	1112	1107	1094	1085	1083	1080
95	1164	1154	1142	1137	1124	1114	1112	1110
100	1192	1183	1171	1165	1153	1143	1141	1138
110	1248	1240	1227	1222	1208	1198	1197	1196
120	1301	1294	1282	1275	1262	1252	1249	1248
130	1353	1345	1334	1327	1314	1304	1301	1300
140	1402	1394	1382	1376	1363	1353	1352	1351
150	1451	1443	1430	1424	1411	1400	1398	1397
160	1497	1489	1476	1470	1457	1447	1444	1443
170	1542	1534	1521	1515	1502	1491	1488	1487
180	1585	1577	1565	1559	1546	1535	1534	1531
190	1628	1620	1607	1601	1588	1578	1576	1574
200	1670	1662	1649	1643	1630	1619	1617	1616
220	1749	1742	1729	1723	1709	1699	1697	1696
240	1826	1818	1805	1798	1786	1775	1773	1773
260	1898	1892	1880	1873	1860	1850	1848	1848
280	1969	1961	1950	1943	1928	1917	1914	1913
300	2038	2030	2018	2011	1996	1984	1981	1980

$h - h_0$	$z = 89^\circ$					$z = 88^\circ$				
	$h_0 = 0$	5	10	15	20	0	5	10	15	20
35	596	583	576	571	569	500	493	489	485	484
40	643	630	622	617	614	545	538	534	528	527
45	686	673	665	660	658	588	581	575	571	570
50	727	714	706	702	699	628	620	615	610	610
55	767	753	745	741	738	666	658	653	648	647
60	805	791	782	777	775	703	694	690	684	683
65	842	827	818	813	811	739	729	724	719	718
70	877	861	852	847	846	773	763	758	753	752
75	911	895	886	880	879	806	796	792	786	785
80	943	927	918	913	911	838	828	823	819	816
85	975	959	949	945	942	870	858	853	849	847
90	1006	989	980	975	973	899	888	883	878	878
95	1035	1019	1010	1005	1002	927	918	913	908	906
100	1063	1047	1038	1033	1030	956	946	942	936	934
110	1118	1104	1094	1088	1086	1011	1001	996	990	988
120	1173	1157	1147	1142	1139	1065	1053	1049	1043	1040
130	1224	1208	1199	1192	1191	1115	1104	1100	1093	1092
140	1273	1256	1248	1242	1239	1164	1152	1148	1142	1140
150	1321	1304	1295	1289	1286	1210	1200	1195	1189	1188
160	1368	1351	1342	1335	1333	1257	1246	1241	1235	1233
170	1412	1396	1387	1380	1378	1302	1292	1285	1279	1278
180	1456	1440	1430	1424	1421	1345	1333	1329	1322	1322
190	1499	1482	1473	1467	1464	1388	1376	1371	1364	1363
200	1540	1524	1514	1507	1505	1427	1417	1411	1406	1405
220	1619	1603	1594	1587	1583	1506	1497	1491	1483	1483
240	1697	1679	1670	1664	1660	1584	1572	1567	1560	1559
260	1771	1753	1744	1737	1734	1656	1645	1640	1633	1632
280	1841	1824	1814	1807	1805	1727	1715	1710	1704	1702
300	1910	1892	1883	1877	1874	1795	1783	1778	1772	1771

## S

$h - h_0$	$h_0 = 0$	$z = 86^\circ$				$z = 83^\circ$				
		5	10	15	20	0	5	10	15	20 km
35	366	363	361	360	359	251	249	249	248	248
40	407	401	400	398	397	283	281	281	278	278
45	445	440	436	435	434	314	311	310	309	308
50	481	474	472	471	470	344	340	339	337	337
55	515	508	508	505	504	372	369	368	366	366
60	549	542	542	539	539	399	397	395	394	394
65	581	576	574	572	571	426	424	422	421	421
70	613	607	605	603	602	452	450	449	448	448
75	644	638	735	733	632	479	476	475	473	473
80	674	668	666	663	662	506	502	501	499	499
85	703	696	694	692	691	532	527	527	524	524
90	731	724	722	720	720	556	552	551	549	549
95	759	752	750	747	746	580	577	575	573	572
100	785	778	777	774	772	603	600	598	596	596
110	837	832	829	826	824	650	646	645	644	642
120	889	883	879	876	875	696	691	689	689	688
130	937	931	927	925	924	740	735	733	732	732
140	983	977	974	971	971	782	778	777	775	775
150	1028	1023	1020	1016	1016	823	819	818	816	816
160	1073	1067	1063	1061	1060	864	860	859	857	857
170	1116	1110	1106	1104	1104	903	900	898	896	897
180	1157	1151	1148	1146	1145	942	938	937	936	936
190	1198	1192	1189	1187	1186	980	975	975	974	974
200	1238	1232	1230	1227	1226	1018	1013	1013	1011	1009
220	1317	1309	1306	1302	1302	1089	1084	1084	1083	1083
240	1391	1385	1380	1378	1376	1160	1155	1155	1152	1152
260	1463	1455	1452	1448	1448	1228	1223	1222	1220	1219
280	1530	1524	1521	1517	1517	1293	1288	1287	1286	1286
300	1599	1591	1588	1584	1584	1356	1351	1351	1350	1349

## S

$h - h_0$	$h_0 = 0$	$z = 80^\circ$				$z = 75^\circ$				
		5	10	15	20	0	5	10	15	20 km
35	187	187	187	187	187	131	131	130	130	130
40	212	211	211	211	211	151	151	149	149	148
45	236	235	235	235	235	167	166	165	166	165
50	260	259	259	259	259	186	186	184	184	183
55	284	283	282	282	282	203	203	201	201	200
60	307	306	305	305	305	221	221	218	218	218
65	330	329	328	328	328	237	236	235	236	236
70	352	351	351	350	530	255	255	253	253	252
75	374	373	372	372	372	272	271	270	270	269
80	396	394	394	393	393	289	288	287	286	286
85	418	417	416	415	415	306	305	303	303	302
90	439	437	436	436	436	323	321	319	319	318
95	460	459	458	457	457	340	338	336	336	335
100	481	480	479	478	478	357	354	353	353	352
110	521	519	518	518	518	389	387	386	385	384
120	561	560	558	558	558	420	418	416	416	415
130	601	600	598	596	596	452	449	447	447	446
140	640	638	635	635	634	483	480	478	478	477
150	678	674	672	671	671	513	510	508	508	508
160	714	711	709	708	709	543	541	539	539	538
170	749	747	745	744	744	572	571	568	568	567
180	784	781	780	779	779	603	599	597	597	597
190	816	815	814	814	814	630	628	627	626	626
200	850	849	848	848	848	656	658	656	656	656
220	916	914	914	913	913	712	716	711	713	712
240	980	978	978	977	977	767	770	767	768	767
260	1043	1041	1041	1040	1040	822	824	822	822	821
280	1104	1102	1102	1101	1101	877	878	875	876	875
300	1163	1162	1162	1161	1161	929	931	928	929	928

## Exploration météorique de la haute atmosphère.\*)

F. Link, Praha.

(Reçu le 18 mars 1945.)

**Sommaire.** L'application d'une méthode basée sur la théorie météorique d'Öpik permet de confirmer les résultats des sondages crépusculaires de la haute atmosphère en ce qui concerne le faible gradient de densité. Sa variation saisonnière a pu être mise en évidence. En outre cette méthode permet d'étudier les différentes catégories des météorites, dont une fut inconnue jusqu'à présent. Les essaims météoriques (Perséides et Léonides) ne se distinguent pas essentiellement de météores sporadiques.

**1. Introduction.** L'exploration de la haute atmosphère à l'aide des phénomènes météoriques a été inaugurée par le travail bien connu de Lindemann et Dobson en 1923 [1]. Quoique la théorie exposée dans ce travail s'est montrée incorrecte, elle fut le point de départ d'une série de travaux concernant ce domaine intéressant de géophysique. Sans vouloir entrer ici dans les détails des récentes théories nous en exposerons néanmoins quelques points saillants.

Pendant son trajet dans les couches raréfiées de la haute atmosphère, le météorite rencontre les molécules d'air. Ces choques individuels font perdre progressivement l'énergie cinétique très importante du météorite. Elle se consomme en partie à l'évaporation du météorite et le reste est utilisé à l'accélération des molécules d'air rencontrées. Le rapport de ces deux énergies dépend du degré de l'élasticité des choques peu connu jusqu'à présent. Quant à la lumière visible du météore, elle est due principalement à la recombinaison des molécules ionisées par choques, mais une très faible fraction de l'énergie totale du météore est utilisée à cet effet. Là-dessus règne encore une très grande incertitude.

Nous avons montré il y a une dizaine d'années [2] que les mesures de la brillance du ciel crépusculaire au zénith peuvent servir de sondages optiques de la haute atmosphère. L'application de notre méthode conduit notamment au faible gradient de densité et son diminution avec l'altitude entre 50 et 150 km, ce qui fut en accord avec les résultats de Lindemann et Dobson. Comme leur théorie s'est montrée inexacte, il nous a paru nécessaire de voir, si

\*) Extrait du Journal tchécoslovaque de Mathématiques et de Physique, A. 71, (1946).

l'accord persiste aussi avec les nouvelles théories météoriques. Pour la comparaison nous avons choisi la théorie d'Öpik, qui malgré les maigres dates d'observations est susceptible d'une interprétation pratique, non seulement du point de vue que nous poursuivons, mais aussi en ce qui concerne l'astronomie météorique proprement dite.

**2. Bases de la méthode.** Dans l'élaboration de notre méthode de l'exploration de la haute atmosphère nous avons été guidés par les considérations suivantes:

1°. Le problème météorique de la haute atmosphère contient trop d'inconnues. Tâchons alors d'en éliminer la plus importante qui est la densité de l'air.

2°. Les dates d'observation sont en général maigres et peu précises. Parmi elles les altitudes d'apparition et de disparition sont les plus dignes de confiance et les plus nombreuses.

3°. L'éclat du météore est une quantité généralement mal déterminée. Son introduction dans la méthode implique en même temps la connaissance de la vitesse, qui elle aussi est mal déterminée. En plus le mécanisme de la production de la lumière est peu connu.

Ces considérations nous ont conduit à la méthode basée sur la théorie d'Öpik [3]. Les limites de son application sont discutées en détail dans le travail cité. Contentons nous de dire ici qu'elle est applicable aux météores faibles, dont la limite nous avons fixé à  $m \geq 1$ . Ceci n'a rien d'absolu, mais l'expérience a montré que cette magnitude sépare deux groupes de météores, qui se comportent d'une manière nettement différente (voir No 6).

Notre méthode ne demande que les altitudes d'apparition  $h_a$  et de disparition  $h_d$  sans parler de la magnitude nécessaire pour le classement seulement. Nous la prenons telle qu'elle est donnée par les observations sans aucune réduction au zénit. Le rapport des masses d'air traversées par le météore depuis l'entrée dans l'atmosphère terrestre jusqu'à l'apparition et jusqu'à la disparition est d'après Öpik égal à

$$\frac{M_a}{M_d} = \frac{q + h}{q} = k, \quad (1)$$

ou  $q$  est la quantité de la chaleur nécessaire pour porter un gramme de la matière météorique à la température d'évaporation et  $h$  la chaleur nécessaire pour l'évaporation qui suit. Ce rapport est alors uniquement une fonction de la composition du météorite. Pour les sidérite en pur fer Öpik donne pour  $k = 4,1$ , tandis que pour les météores pierreux on estime  $k = 2,9$  approximativement.

Notre méthode consiste principalement à déterminer ce rapport en partant des masses d'air connues par une autre méthode (crépusculaire dans notre cas) et à traiter statistiquement ces rapports



obtenus pour un grand nombre de météores. Si d'une part tous les météorites appartenaient à ces deux catégories et si d'autre part les masses d'air étaient connues pour toutes les trajectoires observées, on ne devrait rencontrer dans nos statistiques que les deux rapports cités. En réalité nous trouverons une certaine dispersion et même les décalages dus à l'imprécision des dates d'observation et de la théorie. La discussion de ces circonstances basée sur un nombre suffisant d'observations permettra alors de jeter quelques lumières sur la structure peu connue de la haute atmosphère.

**3. Calcul des masses d'air.** Tant que l'inclinaison de la trajectoire sur la verticale n'est pas trop grande ( $i < 75^\circ$ ) on peut remplacer le rapport des masses d'air traversées par le météore par le rapport des masses d'air comptées suivant la verticale aux points d'apparition et de disparition.

Nous avons donc

$$\frac{M_a}{M_a} = \frac{m_a}{m_a} = k \quad (2)$$

Le calcul des masses verticales  $m_a$  et  $m_a$  suppose connue la structure de la haute atmosphère en fonction de l'altitude, c'est à dire la densité de l'air  $\rho$  en fonction de l'altitude  $h$ . La fonction  $\rho = f(h)$  étant connue soit sous sa forme analytique ou numérique, on peut évaluer les intégrales

$$m_a = \int_{h_a}^{\infty} \rho \, dh \quad \text{et} \quad m_a = \int_{h_a}^{\infty} \rho \, dh \quad (3)$$

Dans l'atmosphère exponentielle où la densité de l'air varie suivant la loi

$$\rho = \rho_0 e^{-\beta h} \quad (4)$$

on a simplement la formule

$$\log k = \log \frac{m_a}{m_a} = \beta (h_a - h_a), \quad (5)$$

qui nous servira au début de nos discussions.

Dans la discussion approfondie nous avons utilisé les masses d'air calculées par l'intégration numérique à partir des densités crépusculaires [4]. Les dates nécessaires sont résumés dans le tableau I.

**4. Le matériel d'observation** résulte de différentes collections de trajectoires réelles dont voici l'énumération succincte (Tableau II).

De ce nombre total on a dû éliminer un certain nombre de trajectoires de météores trop brillants discutés séparément et puis toutes les trajectoires trop basses ( $h_a < 45$  km), trop élevées ( $h_a > 200$  km) et trop inclinées ( $i > 75^\circ$ ). Naturellement on a aussi éliminé les trajectoires incomplètes. Des trajectoires qui sont

**Tableau I.**  
Densités et masses d'air d'après les observations crépusculaires [4].

Altitudes $h$ km	$-\log \rho$	$-\log m$
30	1,90	1,05
40	2,55	1,61
50	3,04	2,13
60	3,60	2,63
70	4,17	3,02
80	4,54	3,29
90	4,80	3,53
100	5,04	3,75
120	5,51	4,19
140	5,95	4,59
160	6,36	4,94
180	6,71	5,27
200	7,04	5,58

**Tableau II.**  
Trajectoires réelles des météores.

No.	Auteur	Publication	Genre de météores	Nombre de trajectoires
1.	W. F. Denning	M. N. 57, 72, 76	Toutes sortes	788
2.	P. Sawicky	A. N. 228	Perséides 1907—25	386
3.	Ph. Broch	A. N. 190	Perséides 19. siècle	118
4.	D. M. Wills	Pop. Astr. 42, 43	Léonides 1933—34	346
5.	Ch. P. Olivier	Publ. Flower Obs.	Léonides 1932	97
6.	Teichgräber	A. N.	Toutes sortes	30

restées, on a formé une cartothèque contenant en tout 881 trajectoires, qui vont nous servir dans la discussion suivante.

**5. Statistique des différences d'altitudes.** Nous avons d'abord effectué le classement statistique des différences d'altitudes d'apparition et de disparition  $\Delta h = h_a - h_d$  en vue d'une information préalable sur les conditions dans la haute atmosphère. Le classement était effectué pour trois intervalles d'altitudes moyennes  $h_0 = \frac{1}{2}(h_a + h_d)$ , c'est à dire pour  $h_0 = 50-79$  km,  $h_0 = 80-109$  km et  $h_0 = 110-150$  km. Les résultats sont contenus dans le tableau III et représentés sur la fig. 1. On y voit quatre maxima de fréquences désignés successivement par A, B, C et D que l'on retrouve surtout dans les deux intervalles extrêmes.

Dans l'atmosphère exponentielle les maxima de fréquences correspondraient d'après la formule (5)

$$k = \beta (h_a - h_d) = \beta \Delta h \quad (5)$$

aux différentes catégories de météorites. Mais, indépendamment de cette question, le décalage des courbes vers la droite peut s'inter-

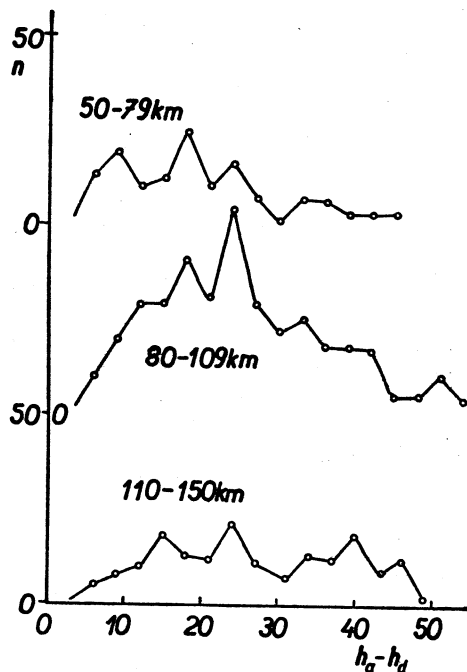


Fig. 1. Statistique des différences  $h_a - h_d$ .

préter comme une diminution du gradient de densité avec l'altitude croissante. Entre 50—79 km et 110—150 km le rapport des gradients peut être estimé d'après la formule dérivée de la formule (5)

$$\beta_1/\beta_2 = \Delta_2 h / \Delta_1 h. \quad (6)$$

Celle-ci donne pour les différents maxima

	A	B	C	D
$\beta_1/\beta_2$	$15/9 = 1,67$	$24/18 = 1,33$	$39/24 = 1,63$	$45/33 = 1,36$

soit 1,5 en moyenne. Ce rapport correspond à peu près aux conditions de la table I calculée d'après les densités crépusculaires. Cette variation notable du gradient de densité fait alors nécessaire de passer aux rapports des masses d'air.

Tableau III.

Statistique des différences  $h_a - h_d$  en fonction de  $\frac{1}{2}(h_a + h_d)$  (voir la fig. 1).

$h_a - h_d$ km	Nombre de cas pour $\frac{1}{2}(h_a + h_d)$		
	50 — 79 km	80—109 km	110—150 km
5—7	13	10	5
8—10	19	20	8
11—13	10	29	10
14—16	11	29	18
17—19	24	41	13
20—22	10	31	12
23—25	16	54	21
26—28	7	29	11
29—31	1	22	7
32—34	7	25	13
35—37	6	18	12
38—40	3	18	18
41—43	3	17	9
44—46	3	5	12
47—49	—	5	2
50—52	10	10	—
52—54	—	4	—
	<u>133</u>	<u>367</u>	<u>171</u>

6. Statistique des rapports des masses d'air. Dans la discussion qui va suivre nous avons dressé une statistique des rapports des masses d'air prises dans la colonne 3 du tableau I. Les premiers essais faits sur le nombre total d'observations ont donné des résultats fort complexes. C'est pourquoi nous avons dû traiter séparément la période d'été avril-septembre et celle d'hiver octobre-mars. Les résultats obtenus après cette division sont excellents (voir le tableau IV et la fig. 2). En outre on a séparé le groupe de Léonides et de Perséides. Ce dernier est malheureusement peu homogène du fait que nous avons dû éliminer nombreuses trajectoires faute de magnitudes ou à cause des chiffres parfois trop fantaisistes rencontrés dans le matériel d'observations.

L'examen de nos courbes concernant les météores sporadiques\*) fait ressortir l'existence des trois maxima de fréquence A, B, C. Les autres maxima B<sub>1</sub> et D sont plus ou moins hypothétiques. Suivant toute probabilité le sommet B correspond aux météorites pierreux et le sommet C aux fers météoriques. Leurs positions moyennes

\*) C'est ainsi que nous appellerons les météores autres que les Léonides et les Perséides. Le gros de ces météores est constitué par les météores réellement sporadiques et une faible fraction appartient aux essaims.

$\frac{1}{2}(B + B') = 0,47 = \log k_B$  et  $\frac{1}{2}(C + C') = 0,70 = \log k_C$  sont en bon accord avec les valeurs théoriques 0,47 et 0,62. De cet accord on peut encore conclure à l'exactitude essentielle de nos densités crépusculaires. Quant au premier maximum A il rend probable l'existence d'une troisième catégorie de météorites inconnue jusqu'à

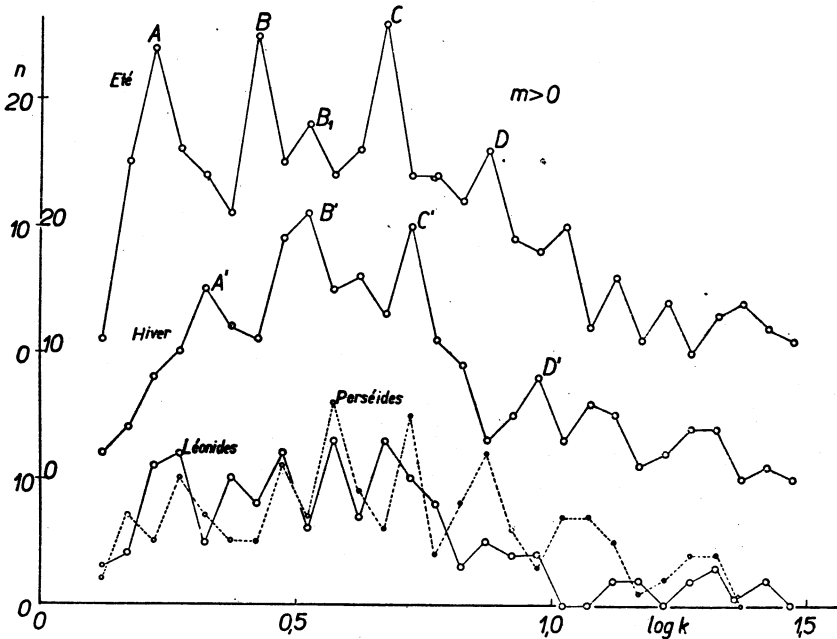


Fig. 2. Statistique des rapports des masses d'air.

présent. La détermination expérimentale du rapport  $k$  pour les différentes matières pourrait peut être donner une indication sur la composition chimique de cette nouvelle catégorie, si ce ne sont pas tout simplement les conditions toutes différentes de celles que suppose la théorie, qui seraient responsables du premier maximum (A) de fréquences.

Les essais météoriques de Léonides et de Perséides ont été discutés à part. Leurs courbes de fréquences (voir la fig. 2) montrent plusieurs maxima de fréquences dont le premier peut être identifié à coup sûr avec le maximum A des météores sporadiques. Sa position est intermédiaire entre la courbe d'été et celle d'hiver. Quant aux autres maxima, les identifications ne sont que plus ou moins probables d'autant plus que les dates concernant les Perséides ne sont pas toujours de toute première qualité. En tous cas il ne se

Tableau IV.  
Statistique des rapports des masses d'air =  $\log k$  (voir la fig. 2).

log $k$	Nombre de cas			
	Eté		Hiver	
	Sporadiques	Perséides	Sporadiques	Léonides
0,10—14	1	2	2	3
15—19	15	7	4	4
20—24	24 A	5	8	11
25—29	16	10 A	10	12
0,30—34	14	7	15 A'	5
35—39	11	5	12	10
40—44	25 B	5	11	8
45—49	15	11 B	19	12 B'
0,50—54	18	7	21 B'	6
55—59	14	16 B <sub>1</sub> ?	15	13 B <sub>1</sub> '?
60—64	16	9	16	7
65—69	26 C	6	13	13 C'?
70—74	14	15 C?	20 C'	10
0,75—79	14	4	11	8
80—84	12	8	9	3
85—89	16 D?	12 D?	3	5
90—94	9	6	5	4
95—99	8	3	8 D'?	4
1,00—04	10	7	3	—
05—09	2	7	6	—
10—14	6	10	5	2
15—19	1	6	1	2
20—24	4	7	2	0
1,25—29	—	5	4	2
30—34	3	5	4	3
35—39	4	3	—	1
40—44	2	7	1	2
45—49	1	9	—	—
	301	202	228	150

Nombre total: 881

manifeste dans nos courbes aucune différence notable entre les météores des essaims et les météores sporadiques.

Les bolides, c'est-à-dire les météores plus brillants que 1<sup>m</sup>, se comportent d'une manière différente. Nous avons pu dresser une statistique des rapports  $k$  pour 238 exemplaires exclus à cause de leurs éclat de la première statistique (tableau IV). La courbe de fréquence montre aux faibles valeurs de  $k$  quelque ressemblance avec celle des météores faibles (voir la fig. 3). Plus loin au lieu de

descendre brusquement, comme le font les faibles météores, la courbe continue à se maintenir aux valeurs élevées. Comme d'autre part l'application de la théorie d'Öpik n'est plus permise dans ce cas, nous ne l'avons pas discuté plus en détail.

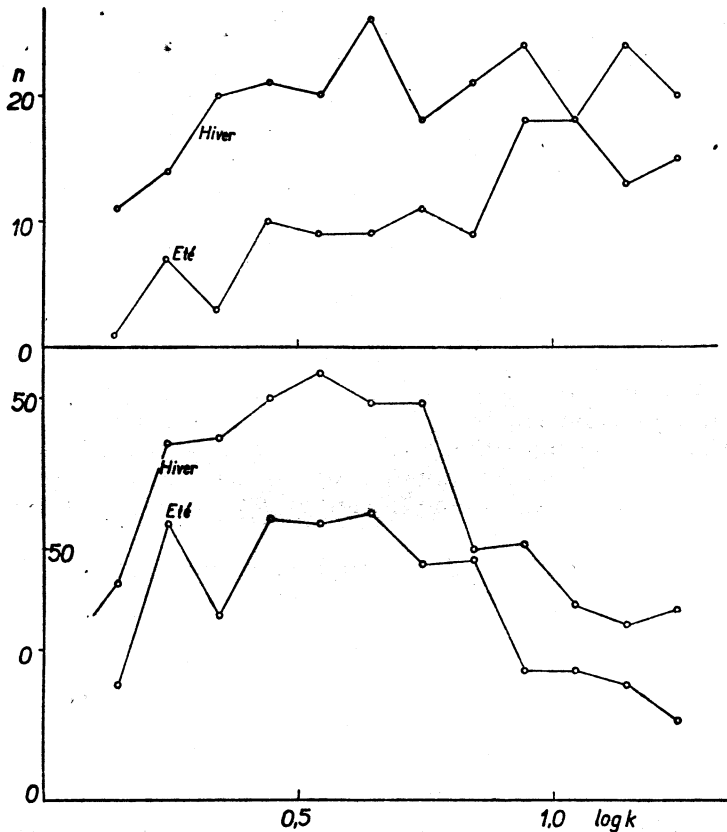


Fig. 3. Statistique des rapports  $k$  pour les météores brillants (en haut) et les météores faibles (en bas). L'intervale de  $\log k$  est le double de celui de la fig. 2.

La confirmation des résultats crépusculaires par la méthode météorique concerne naturellement le faible gradient de densité et ne dit rien des valeurs absolues de la densité. Ni l'une ni l'autre méthode ne peuvent fournir les valeurs absolues de la densité, comme il ressort de leur principe, qui consiste à comparer les rapports des masses d'air parcourues par les rayons ou par les météores. De ce principe résulte aussi l'impossibilité d'étudier la structure détaillée de la haute atmosphère, puisque dans le calcul des masses d'air par

l'intégration des densités s'effacent plus ou moins toutes les particularités de la fonction  $\rho = f(h)$ . C'est de ce point de vue que nous devons juger les résultats acquis.

**7. Influences diverses.** Nos statistiques des rapports des masses d'air permettent d'étudier l'influence de différents facteurs sur la structure de la haute atmosphère.

a) *Variation annuelle* est visible à première vue sur nos courbes de fréquences. Le décalage des maxima de fréquence peut être interprété comme une variation du gradient de densité. Le sens de cette variation est tel que le gradient est plus fort en été qu'en hiver. Si cette variation était uniquement due aux variations de la température et non à celle du poids moléculaire, l'ionosphère vers 100 km d'altitude serait plus froide en été qu'en hiver. Cela est valable pour les conditions nocturnes. Un phénomène semblable se rencontre dans les sondages par le son des régions entre 30 et 50 km d'altitude [5].

Il est difficile de calculer exactement l'amplitude de température nécessaire pour produire l'effet observé d'autant plus que l'amplitude ne doit pas être nécessairement la même aux différentes altitudes. La supposition de l'atmosphère exponentielle ne peut servir ici qu'en première approximation, mais comme ordre de grandeur l'élévation de la température de 25% environ peut rendre compte des faits observés.

b) *Variation nocturne* n'a pu être bien étudiée étant donné que la plupart des observations se placent dans la première partie de la nuit et nous disposons d'un nombre très restreint d'observations matinales.

c) *Influence de l'activité solaire* a été examinée sommairement. On a formé deux groupes d'observations. Dans le premier sont classées les observations effectuées dans les années, dont le nombre relatif moyen de taches dépasse 20, et ce groupe d'observations embrasse alors le maximum d'activité solaire. Dans le second groupe sont les autres observations, qui se rapportent au minimum. On n'a pu trouver de différences notables sauf peut-être le fait, que les courbes trouvées pendant le minimum d'activité solaire paraissent moins troublées et les maxima des fréquences y sont plus prononcés, que pendant les maxima d'activité.

**8. Conclusions.** La théorie d'Öpik appliquée aux météores faibles ( $> 0^m$ ) permet, en partant des altitudes d'apparition et de disparition seulement, d'arriver aux conclusions suivantes:

1°. La statistique des différences d'altitudes entre le point d'apparition et de disparition indique une diminution du gradient de densité avec l'altitude.



2°. La statistique correspondante des masses d'air révèle des maxima de fréquence, qui d'après la théorie indiquent l'existence des trois catégories de météorites, dont deux (B et C) correspondent aux types pierreux et métalliques et la première constitue probablement une nouvelle classe de météorites.

3°. Les masses d'air nécessaires ont été calculées d'après les densités de l'air trouvées par notre méthode crépusculaire. De la coïncidence approchée des deux maxima de fréquence (B et C) avec leurs positions théoriques résulte aussi une confirmation de la méthode crépusculaire.

4°. Les courbes de fréquences d'été et d'hiver montrent un décalage des maxima, qui peut s'interpréter comme une diminution de la température de l'ionosphère en été.

5°. Les résultats concernant les essaims de Perséides et de Léonides ne permettent de tirer aucune conclusion nette, qui les différencierait d'autres météores. Le décalage des maxima de fréquence est sans doute d'origine saisonnière.

6°. Le présent travail montre l'importance des bonnes déterminations d'altitudes des météores. Les observations doivent être poursuivies systématiquement pendant toute l'année et prolongées aussi dans les heures matinales négligées jusqu'à présent. Dans ce domaine le travail organisé des amateurs est d'une grande utilité.

7°. Seuls météores faibles (audessous de  $0^m$ ) peuvent rendre des services dans l'exploration de la haute atmosphère au moins d'après la théorie d'Öpik. Les bolides nécessiteraient alors d'autres bases théoriques.

#### Bibliographie.

- [1] F. A. Lindemann-B. M. B. Dobson: Proc. Roy. Soc. London (A), **102** (1923), 411.
- [2] F. Link: Journ. des Obs., **17** (1934), 161.
- [3] E. Öpik: Publ. Obs. Tartu, **29** (1937), No. 5.
- [4] F. Link: Met. Zeit., **61** (1944), 87.
- [5] P. Duckert: Erg. d. Kosm. Phys. I.

\*

#### Meteorický výzkum vysoké atmosféry.

(Obsah předešlého článku.)

Sloučením Öpikovy teorie svícení meteorů a autorovy teorie soumrakových zjevů podařilo se:

a) ověřiti výsledky týkající se hustoty vzduchu v ionosféře a jejího malého gradientu,

b) ukázati, že gradient hustoty vzduchu je v létě větší než v zimě, což by se dalo interpretovati nižší teplotou v létě než v zimě,

c) vedle existence železných a kamenných meteoritů byla nalezena též nová dosud neznámá kategorie lišící se buď tepelnými vlastnostmi nebo odlišným mechanismem svícení, než jaký předpokládá Öpik.

K těmto poznatkům lze dospěti jen ze stanovení výšek zázehnutí a zhasnutí meteorů, což ukazuje na důležitost amatérských pozorování toho druhu pěstovaných ve větším měřítku dosud jen ve Spojených státech a v Anglii.

---