

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Tambahan  
Sidang Akademik 1993/94

Jun 1994

EMK 310 - Dinamik Gas & Dorongan Jet

Masa : [3 jam]

---

**ARAHAN KEPADA CALON:**

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **TUJUH** muka surat dan **TUJUH** soalan serta **TIGA BELAS** lampiran yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **LIMA** soalan sahaja.

Semua soalan **MESTILAH** dijawab dalam bahasa Melayu.

Termasuk lampiran-lampiran:

1. Jadual Gas
2. "Relevant formulae"

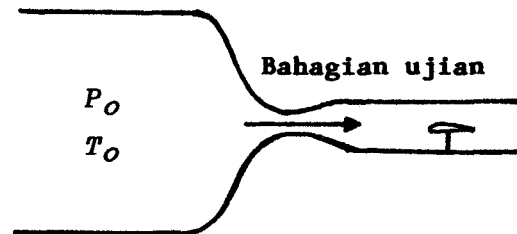
1. [a] Lakarkan suatu elips adiabatik menunjukkan kawasan-kawasan aliran.  
(12½ markah)
- [b] Lakarkan kon Mach bagi aliran supersonik dan tunjukkan zon-zon yang berlainan.  
(12½ markah)
- [c] Jelaskan fenomena 'tercekik' (choking) pada aliran di dalam nozel.  
(12½ markah)
- [d] Jelaskan dengan menggunakan graf nombor Mach dengan perubahan luas  $A/A^*$ .  
(12½ markah)
- [e] Lukiskan lengkung Fanno pada satah h-s atau satah T-s dan jelaskan ciri-ciri menonjol pada lengkung tersebut.  
(12½ markah)
- [f] Jelaskan perbezaan antara kejutan normal dan kejutan serong.  
(12½ markah)
- [g] Kejutan menghasilkan ketakselajaran. Terangkan bagaimana ini terjadi.  
(12½ markah)
- [h] Terangkan kejadian 'tercekik' di dalam aliran melalui paip yang mempunyai geseran.  
(12½ markah)
2. [a] Terbitkan persamaan tenaga dalam bentuk berikut bagi suatu aliran seentropi:

$$C^2 + \frac{2a^2}{K-1} = \frac{2a_0^2}{K-1} = C_{\max}^2 = \frac{K+1}{K-1} C^{*2}$$

(40 markah)

...3/-

- [b] Suatu nozel direkabentuk bagi kegunaan terowong angin supersonik helium seperti ditunjukkan dalam Rajah S4[b].



Rajah S4[b]

Spesifikasi bahagian ujian adalah seperti berikut:-

Garispusat = 10 sm  
 Nombor Mach = 3.0  
 Tekanan Statik = 12 kPa  
 Suhu Statik = 216 K

Anggapkan aliran seentropi dalam nozel adalah pada keadaan rekabentuk dan abaikan kesan lapisan sempadan. Anggapkan juga bahawa helium bersifat seperti gas unggul dengan nilai  $K = 5/3$  (malar, dan jisim molekul  $M = 4 \text{ kg/Kmol}$ ).

Tentukan:

- [i] Kadar alir jisim yang perlu dibekalkan
- [ii] Luas kerongkongan nozel
- [iii] Suhu dan tekanan takungan

(60 markah)

3. [a] [i] Lakarkan lengkung Fanno di atas rajah T-s dan tunjukkan bahawa di titik di mana perubahan entropi adalah sifar, nombor Mach adalah satu.

(20 markah)

...4/-

- [ii] Terangkan keadaan 'tercekik' dalam aliran paip yang mempunyai geseran.

(20 markah)

- [b] Methane memasuki saluran paip gas dengan halaju 15 m/s dan tekanan statik 500 kPa. Saluran paip tersebut panjangnya 200 m dan bergaris pusat 8 sm. Suhu gas tersebut adalah tetap pada 288 K di sepanjang saluran paip tersebut. Bagi Methane,  $k = 1.32$  dan jisim molekul  $\bar{M} = 16$ . Dengan menganggap pekali geseran  $4f$  bagi paip tersebut adalah 0.025, tentukan

- [i] No. Mach pada salur keluar

- [ii] Kejatuhan tekanan

(60 markah)

4. [a] [i] Terbitkan persamaan Prandtl dalam bentuk  $\lambda_x \cdot \lambda_y = 1$

di mana  $\lambda_x$  adalah nombor Mach ciri sebelum kejutan

$\lambda_y$  adalah nombor Mach ciri selepas kejutan

(20 markah)

- [ii] Buktikan bahawa kejutan tidak boleh wujud dalam aliran subsonik.

(20 markah)

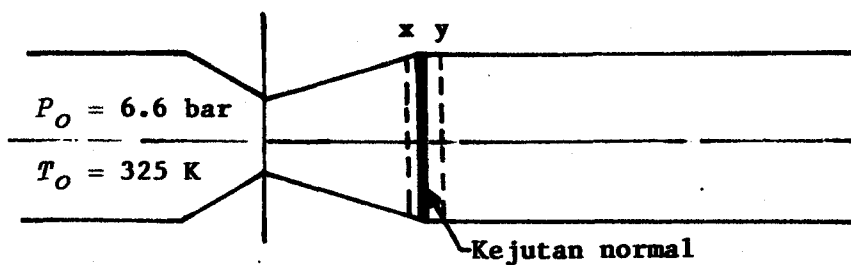
- [b] Suatu nozel seentropi yang mempunyai nisbah luas salur keluar kepada luas kerongkongan bersamaan 2 ( $A/A^* = 2$ ) mengalirkan udara ke dalam suatu paip tertebat. Paip tertebat tersebut mempunyai panjang  $L$  dan garis pusat  $D$ . Tekanan nozel adalah 6.6 bar dan suhunya 325 K. Salur tersebut mengalirkan udara ke suatu ruang yang mempunyai tekanan yang berubah-ubah. Pengembangan di dalam nozel adalah seentropi dan aliran dalam paip terjadi mengikut garisan Fanno. Suatu kejutan terjadi pada salur keluar nozel seperti ditunjukkan dalam Rajah S4[b]. Anggapkan pekali geseran paip  $4f = 0.025$  dan nisbah  $L/D = 10$ .

- [i] Tentukan no. Mach pada salur keluar paip

- [ii] Kadar alir jisim/unit luas paip tersebut

(60 markah)

...5/-



Rajah S4[b]

5. [a] [i] Lakarkan garisan Raleigh pada suatu rajah T-s dan tunjukkan fenomena pemanasan dan penyejukan dalam kawasan supersonik dan subsonik.

(20 markah)

- [ii] Tunjukkan bagaimana kejutan normal dilukiskan pada rajah T-s dengan garisan-garisan Raleigh dan Fanno. Tunjukkan arah kejutan. Bolehkah arahnya diterbalikkan? Berikan sebab-sebabnya.

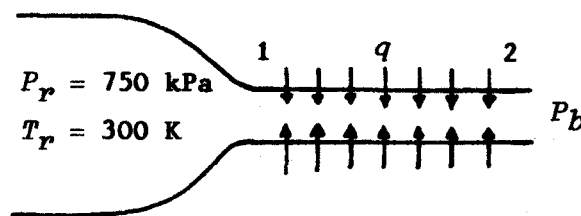
(20 markah)

- [b] Suatu salur berkeluasan malar disambungkan kepada suatu takungan udara bertekanan tinggi melalui suatu nozel menumpu seperti ditunjukkan dalam Rajah S5[b]. Dinding salur tersebut dipanaskan bagi membekalkan 250 kJ/kg haba kepada udara yang melalui salur tersebut. Tekanan takungan adalah 750 kPa dan suhunya 300 K. Tekanan balik sistem adalah 300 kPa. Garispusat salur adalah 5 sm dan panjangnya 1.2 m. Anggapkan aliran pada nozel adalah seentropi dan aliran dalam salur adalah tanpa geseran. Anggapkan juga bahawa udara berkelakuan sebagai gas sempurna dengan haba tentu malar. Anggapkan haba tentu pada tekanan malar  $C_p = 1.005 \text{ kJ/kgK}$ . Bagi keadaan tercekik pada bahagian 2 tentukan

- [i] nombor Mach pada bahagian 1  
 [ii] kadar alir jisim mengalir melalui salur  
 [iii] tekanan tercekik yang lebih besar dari tekanan balik

(60 markah)

...6/-



Rajah S5[b]

6. [a] Tunjukkan bahawa bagi aliran isentropi gas sempurna, nisbah-nisbah tekanan, suhu dan ketumpatan kepada nilai-nilai kritikal berkenaan adalah:

$$P/P^* = \left[ \frac{K+1}{2\left(1 + \frac{K-1}{2} M^2\right)} \right]^{\frac{K}{K-1}}$$

$$T/T^* = \left[ \frac{K+1}{2\left(1 + \frac{K-1}{2} M^2\right)} \right]$$

$$\rho/\rho^* = \left[ \frac{K+1}{2\left(1 + \frac{K-1}{2} M^2\right)} \right]^{\frac{1}{K-1}}$$

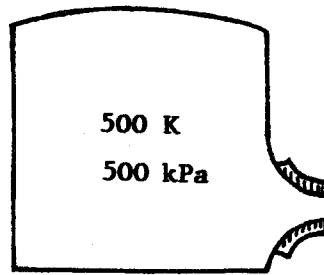
(40 markah)

- [b] Seperti ditunjukkan dalam Rajah S1[b] udara dibenarkan mengalir daripada takungan besar melalui muncung (nozel) penumpu yang mempunyai luas keluar  $50 \text{ m}^2$ . Penakung adalah terlalu besar oleh itu perubahan tekanan takung dan suhu yang berlaku apabila bendalir mengalir keluar boleh diabaikan. Andaikan aliran mantap isentropik dalam muncung dengan tekanan genangan  $500 \text{ kPa}$  dan suhu  $500 \text{ K}$  dan andaikan juga bahawa udara adalah gas sempurna dengan pemalar haba tentu  $K = 1.4$ . Tentukan kadar aliran jisim melalui muncung untuk tekanan balikan  $0, 125, 250$  dan  $375 \text{ kPa}$ .

Lukiskan graf tekanan melawan kadar alir jisim mengikut skala. Jangkakan keputusannya sekiranya muncung menumpu digantikan dengan muncung menumpu-mencapah.

(60 markah)

...7/-



Rajah S6[b]

7. [a] [i] Lukiskan rajah skema sebuah turbokipas dan terangkan cara kerjanya.  
(20 markah)
- [ii] Lukiskan proses-proses termodinamik yang terjadi dalam komponen-komponen berlainan sebuah enjin turbokipas di atas rajah T-s.  
(20 markah)

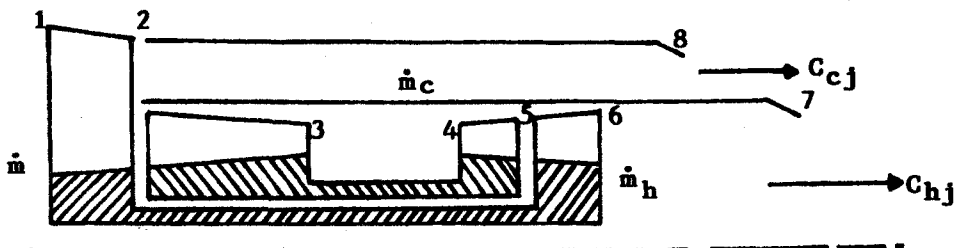
- [b] Di dalam sebuah enjin turbokipas seperti ditunjukkan dalam Rajah S7[b], kipas tersebut dipacu oleh turbin LP dan pemampat dipacu oleh turbin HP. Nozel sejuk dan nozel panas yang berlainan digunakan. Kejatuhan suhu dalam nozel sejuk ialah 40K dan kejatuhan suhu dalam nozel panas adalah 100K. Nisbah pirau (by-pass ratio) adalah 3 dan jumlah kadar alir jisim udara ialah 115 kg/s.

Anggapkan  $C_{pa} = 1.005 \text{ kJ/kgK}$ ,  $C_{pg} = 1.147 \text{ kJ/kgK}$  dan kelajuan sewaktu berlepas adalah 60 m/s.

Tentukan:

- [i] tujahan yang dihasilkan oleh jet sejuk  
[ii] tujahan yang dihasilkan oleh jet panas  
[iii] jumlah tujahan  
[iv] daya seretan

(60 markah)



Rajah S7[b]

ooo00ooo

JADUAL GAS

Table 1. International Standard Atmosphere

Height (z) (metres)	Absolute Temperature T (K)	Pressure P (bar)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Velocity of sound a (m/s)	Kinematic viscosity $\gamma$ (m/s).10 <sup>-6</sup>
1	2	3	4	5	6
0	288	1.013	1.225	340.4	1.46
1,000	281.37	0.899	1.111	336.4	1.58
2,000	275.18	0.794	1.007	332.7	1.71
3,000	268.56	0.701	0.909	328.6	1.86
4,000	262.22	0.616	0.820	324.7	2.02
5,000	255.59	0.540	0.736	320.6	2.21
6,000	249.25	0.472	0.659	316.6	2.41
7,000	242.62	0.410	0.589	312.4	2.64
8,000	235.99	0.356	0.526	308.1	2.90
9,000	229.66	0.307	0.467	303.9	3.19
10,000	222.90	0.264	0.413	299.5	3.51
11,000	216.69	0.226	0.364	295.2	3.89
12,000	216.69	0.193	0.311	295.2	4.55
13,000	216.69	0.165	0.266	295.2	5.32
14,000	216.69	0.141	0.227	295.2	6.23
15,000	216.69	0.121	0.194	295.2	7.30
16,000	216.69	0.102	0.165	295.2	8.55
17,000	216.69	0.088	0.141	295.2	10.01
18,000	216.69	0.075	0.120	295.2	11.72
19,000	216.69	0.064	0.103	295.2	13.72
20,000	216.69	0.055	0.088	295.2	16.06
21,000	216.69	0.048	0.076	295.2	18.75
22,000	216.69	0.041	0.065	295.2	21.94



Table 2. Isentropic Flow  $K = 1.4$ 

$M$	$\lambda$	$\frac{T}{T_0}$	$\frac{P}{P_0}$	$\frac{A}{A^*}$	$\frac{l}{l^*}$	$\frac{A}{A^*} \frac{P}{P_0}$	$\frac{m \sqrt{C_p T_0}}{A P_0}$
1	2	3	4	5	6	7	8
0.00	0.000	1.000	1.000				0
0.02	0.022	0.999	0.999	28.942	22.834	28.934	0.043
0.04	0.044	0.999	0.998	14.482	11.435	14.465	0.088
0.06	0.066	0.999	0.997	9.666	7.643	9.642	0.133
0.08	0.088	0.998	0.995	7.262	5.753	7.229	0.176
0.10	0.109	0.998	0.993	5.822	4.624	5.781	0.220
0.12	0.131	0.997	0.989	4.864	3.875	4.815	0.263
0.14	0.153	0.996	0.986	4.182	3.343	4.126	0.306
0.16	0.175	0.995	0.982	3.673	2.947	3.607	0.349
0.18	0.197	0.994	0.976	3.278	2.642	3.205	0.391
0.20	0.218	0.992	0.973	2.964	2.400	2.882	0.432
0.22	0.239	0.990	0.967	2.707	2.205	2.618	0.473
0.24	0.261	0.988	0.961	2.495	2.043	2.398	0.513
0.26	0.283	0.986	0.954	2.317	1.909	2.211	0.553
0.28	0.304	0.985	0.947	2.166	1.795	2.051	0.592
0.30	0.325	0.982	0.939	2.035	1.698	1.912	0.629
0.32	0.347	0.979	0.932	1.922	1.614	1.790	0.667
0.34	0.368	0.977	0.923	1.823	1.542	1.683	0.703
0.36	0.389	0.975	0.914	1.735	1.479	1.587	0.738
0.38	0.410	0.972	0.905	1.658	1.424	1.501	0.772
0.40	0.431	0.969	0.895	1.590	1.375	1.424	0.806
0.42	0.452	0.966	0.886	1.529	1.332	1.354	0.838

Contd.

Table 2. *Contd.*

1	2	3	4	5	6	7	8
0.92	0.932	0.855	0.578	1.006	1.002	0.582	1.274
0.94	0.949	0.849	0.566	1.003	1.001	0.567	1.277
0.96	0.966	0.844	0.553	1.001	1.0006	0.554	1.279
0.98	0.983	0.839	0.541	1.0003	1.0001	0.541	1.281
1.00	1.000	0.834	0.528	1.000	1.000	0.528	1.281
1.02	1.017	0.828	0.516	1.0003	1.0001	0.516	1.281
1.04	1.033	0.822	0.510	1.0007	1.0003	0.510	1.279
1.06	1.049	0.816	0.492	1.003	1.001	0.493	1.277
1.08	1.065	0.811	0.480	1.005	1.002	0.483	1.274
1.10	1.081	0.805	0.468	1.008	1.003	0.472	1.271
1.12	1.097	0.799	0.457	1.011	1.004	0.462	1.267
1.14	1.113	0.794	0.445	1.015	1.005	0.452	1.262
1.16	1.128	0.788	0.434	1.019	1.007	0.443	1.256
1.18	1.143	0.782	0.423	1.025	1.009	0.434	1.250
1.20	1.158	0.776	0.412	1.030	1.010	0.425	1.243
1.22	1.173	0.771	0.402	1.037	1.013	0.416	1.236
1.24	1.188	0.765	0.391	1.043	1.015	0.408	1.228
1.26	1.203	0.759	0.381	1.050	1.017	0.400	1.220
1.28	1.217	0.753	0.371	1.058	1.019	0.392	1.211
1.30	1.231	0.747	0.361	1.066	1.022	0.385	1.201
1.32	1.245	0.742	0.351	1.075	1.024	0.378	1.192
1.34	1.259	0.736	0.342	1.084	1.027	0.37	1.181
1.36	1.273	0.730	0.332	1.094	1.029	0.364	1.171
1.38	1.286	0.724	0.323	1.104	1.032	0.357	1.160

*Contd.*

Table 2. *Contd.*

1	2	3	4	5	6	7	8
1.90	1.586	0.581	0.149	1.555	1.108	0.232	0.824
1.92	1.596	0.575	0.145	1.580	1.111	0.228	0.811
1.94	1.605	0.570	0.140	1.606	1.114	0.225	0.798
1.96	1.615	0.566	0.136	1.633	1.117	0.222	0.785
1.98	1.624	0.561	0.132	1.659	1.120	0.219	0.772
2.00	1.633	0.555	0.128	1.687	1.123	0.216	0.759
2.02	1.642	0.551	0.124	1.716	1.126	0.213	0.747
2.04	1.651	0.546	0.120	1.745	1.128	0.209	0.734
2.06	1.660	0.541	0.116	1.775	1.131	0.207	0.722
2.08	1.668	0.536	0.113	1.805	1.134	0.204	0.709
2.10	1.677	0.531	0.109	1.837	1.137	0.200	0.697
2.12	1.685	0.527	0.106	1.869	1.139	0.198	0.685
2.14	1.694	0.522	0.103	1.902	1.142	0.195	0.674
2.16	1.702	0.517	0.099	1.935	1.145	0.193	0.662
2.18	1.710	0.513	0.097	1.969	1.147	0.190	0.650
2.20	1.718	0.508	0.094	2.005	1.150	0.187	0.639
2.22	1.726	0.504	0.091	2.041	1.153	0.185	0.628
2.24	1.734	0.499	0.088	2.078	1.155	0.183	0.617
2.26	1.741	0.495	0.085	2.115	1.158	0.180	0.606
2.28	1.749	0.490	0.082	2.154	1.160	0.178	0.595
2.30	1.756	0.486	0.080	2.193	2.163	0.175	0.584
2.32	1.764	0.482	0.078	2.233	1.165	0.173	0.574
2.34	1.771	0.477	0.075	2.274	1.168	0.171	0.563
2.36	1.778	0.473	0.073	2.316	1.170	0.163	0.553
2.38	1.785	0.469	0.071	2.359	1.173	0.166	0.543

Table A.3 Isentropic flow tables ( $\gamma = 5/3$ )

$M$	$p/p_i$	$T/T_i$	$A/A^*$	$M$	$p/p_i$	$T/T_i$	$A/A^*$
0	1.0000	1.0000	$\infty$	1.75	.1723	.4948	1.313
.05	.9979	.9992	11.2683	1.80	.1603	.4808	1.352
.10	.9917	.9967	5.6623	1.85	.1491	.4671	1.394
.15	.9815	.9926	3.8062	1.90	.1388	.4539	1.437
.20	.9674	.9868	2.8878	1.95	.1292	.4410	1.483
.25	.9498	.9796	2.3447	2.00	.1202	.4286	1.531
.30	.9288	.9709	1.9892	2.05	.1120	.4165	1.582
.35	.9048	.9608	1.7411	2.10	.1043	.4049	1.634
.40	.8782	.9494	1.5603	2.15	.9718 <sup>-1</sup>	.3936	1.689
.45	.8493	.9368	1.4244	2.20	.9058 <sup>-1</sup>	.3827	1.746
.50	.8186	.9231	1.3203	2.25	.8446 <sup>-1</sup>	.3721	1.806
.55	.7865	.9084	1.2394	2.30	.7878 <sup>-1</sup>	.3619	1.868
.60	.7533	.8929	1.1760	2.35	.7352 <sup>-1</sup>	.3520	1.932
.65	.7194	.8766	1.1263	2.40	.6863 <sup>-1</sup>	.3425	1.998
.70	.6851	.8596	1.0875	2.45	.6411 <sup>-1</sup>	.3332	2.067
.75	.6508	.8421	1.0576	2.50	.5990 <sup>-1</sup>	.3243	2.139
.80	.6167	.8242	1.0351	2.55	.5600 <sup>-1</sup>	.3157	2.213
.85	.5831	.8059	1.0189	2.60	.5238 <sup>-1</sup>	.3074	2.290
.90	.5502	.7874	1.0081	2.65	.4902 <sup>-1</sup>	.2993	2.369
.95	.5181	.7687	1.0019	2.70	.4589 <sup>-1</sup>	.2915	2.451
1.00	.4871	.7500	1.000	2.75	.4299 <sup>-1</sup>	.2840	2.536
1.05	.4573	.7313	1.002	2.80	.4029 <sup>-1</sup>	.2768	2.623
1.10	.4286	.7126	1.007	2.85	.3778 <sup>-1</sup>	.2697	2.713
1.15	.4013	.6940	1.015	2.90	.3545 <sup>-1</sup>	.2629	2.806
1.20	.3753	.6757	1.027	2.95	.3327 <sup>-1</sup>	.2564	2.901
1.25	.3506	.6575	1.041	3.00	.3125 <sup>-1</sup>	.2500	3.000
1.30	.3272	.6397	1.058	3.50	.1716 <sup>-1</sup>	.1967	4.153
1.35	.3052	.6221	1.077	4.00	.9906 <sup>-2</sup>	.1579	5.641
1.40	.2845	.6048	1.098	4.50	.5981 <sup>-2</sup>	.1290	7.508
1.45	.2650	.5879	1.122	5.00	.3758 <sup>-2</sup>	.1071	9.800
1.50	.2468	.5714	1.148	6.00	.1641 <sup>-2</sup>	.7692 <sup>-1</sup>	15.84
1.55	.2298	.5553	1.177	7.00	.7995 <sup>-3</sup>	.5769 <sup>-1</sup>	24.14
1.60	.2139	.5396	1.208	8.00	.4243 <sup>-3</sup>	.4478 <sup>-1</sup>	35.07
1.65	.1990	.5242	1.240	9.00	.2410 <sup>-3</sup>	.3571 <sup>-1</sup>	49.00
1.70	.1851	.5093	1.275	10.00	.1448 <sup>-3</sup>	.2913 <sup>-1</sup>	66.30

Table 3. Adiabatic constant area flow with friction (Fanno line)

$$K = 1.4$$

$M$	$\frac{T}{T^*}$	$\frac{p}{p^*}$	$\frac{P}{P^*}$	$\frac{P_0}{P_0^*}$	$\frac{l}{l^*}$	$\frac{4fL_{max}}{D}$
1	2	3	4	5	6	7
0	1.200					
0.02	1.200	0.022	54.770	28.942	22.834	1778.451
0.04	1.200	0.044	27.382	14.481	11.435	440.352
0.06	1.199	0.066	18.251	9.666	7.643	193.031
0.08	1.198	0.087	13.684	7.262	5.753	106.718
0.10	1.198	0.109	10.944	5.822	4.624	66.922
0.12	1.197	0.131	9.116	4.864	3.875	45.408
0.14	1.195	0.153	7.809	4.182	3.343	32.511
0.16	1.194	0.175	6.829	3.673	2.947	24.198
0.18	1.192	0.196	6.066	3.278	2.642	18.543
0.20	1.190	0.218	5.455	2.964	2.400	14.533
0.22	1.188	0.239	4.955	2.708	2.205	11.596
0.24	1.186	0.261	4.538	2.496	2.043	9.386
0.26	1.184	0.283	4.185	2.317	1.909	7.688
0.28	1.181	0.304	3.882	2.166	1.795	6.357
0.30	1.179	0.326	3.619	2.035	1.698	5.299
0.32	1.176	0.347	3.389	1.922	1.614	4.447
0.34	1.173	0.368	3.185	1.823	1.542	3.752
0.36	1.170	0.389	3.004	1.736	1.479	3.180
0.38	1.166	0.410	2.842	1.659	1.424	2.705
0.40	1.163	0.431	2.696	1.590	1.375	2.308
0.42	1.159	0.452	2.563	1.529	1.332	1.974

Contd.

Table 3. *Contd.*

1	2	3	4	5	6	7
0.44	1.155	0.473	2.443	1.474	1.294	1.692
0.46	1.151	0.494	2.333	1.425	1.260	1.451
0.48	1.147	0.514	2.231	1.380	1.230	1.245
0.50	1.143	0.534	2.138	1.340	1.203	1.069
0.52	1.138	0.555	2.052	1.303	1.179	0.917
0.54	1.134	0.575	1.972	1.270	1.157	0.787
0.56	1.129	0.595	1.898	1.240	1.138	0.674
0.58	1.124	0.615	1.828	1.213	1.121	0.576
0.60	1.119	0.635	1.763	1.188	1.105	0.491
0.62	1.114	0.654	1.703	1.166	1.091	0.417
0.64	1.109	0.674	1.646	1.145	1.079	0.353
0.66	1.104	0.693	1.592	1.127	1.068	0.298
0.68	1.098	0.713	1.541	1.110	1.058	0.250
0.70	1.093	0.732	1.493	1.094	1.049	0.208
0.72	1.087	0.751	1.448	1.081	1.041	0.172
0.74	1.082	0.770	1.405	1.068	1.034	0.141
0.76	1.076	0.788	1.365	1.057	1.028	0.114
0.78	1.070	0.807	1.326	1.047	1.023	0.092
0.80	1.064	0.825	1.289	1.038	1.019	0.072
0.82	1.058	0.843	1.254	1.030	1.015	0.056
0.84	1.052	0.861	1.221	1.024	1.011	0.042
0.86	1.045	0.879	1.189	1.018	1.008	0.031
0.88	1.039	0.897	1.158	1.013	1.006	0.022
0.90	1.033	0.915	1.129	1.009	1.004	0.015
0.92	1.026	0.932	1.101	1.006	1.002	0.009

*Contd.*

Table 4. Frictionless, constant area flow with stagnation temperature change  
(Rayleigh Line)

$$K = 1.4$$

$M$	$\frac{T_0}{T_0^*}$	$\frac{T}{T^*}$	$\frac{P}{P^*}$	$\frac{P_0}{P_0^*}$	$\frac{C}{C^*}$
1	2	3	4	5	6
0.00	0.0000	0.0000	2.400	1.268	0.0000
0.02	0.0019	0.0023	2.399	1.268	0.0010
0.04	0.0076	0.0092	2.395	1.266	0.0038
0.06	0.0171	0.0205	2.388	1.265	0.0086
0.08	0.0302	0.0362	2.379	1.262	0.0152
0.10	0.0468	0.0560	2.367	1.259	0.0237
0.12	0.0666	0.0797	2.353	1.255	0.0339
0.14	0.0895	0.1069	2.336	1.251	0.0458
0.16	0.1151	0.1374	2.317	1.246	0.0593
0.18	0.1432	0.1708	2.296	1.241	0.0744
0.20	0.1736	0.2066	2.273	1.235	0.0909
0.22	0.2057	0.2445	2.248	1.228	0.1088
0.24	0.2395	0.2841	2.221	1.221	0.1279
0.26	0.2745	0.3250	2.193	1.214	0.1482
0.28	0.3104	0.3667	2.163	1.206	0.1696
0.30	0.3469	0.4089	2.131	1.199	0.1918
0.32	0.3837	0.4512	2.099	1.190	0.2149
0.34	0.4206	0.4933	2.066	1.182	0.2388
0.36	0.4572	0.5348	2.031	1.174	0.2633
0.38	0.4935	0.5755	1.996	1.165	0.2883

*Contd.*

Table 4. *Contd.*

1	2	3	4	5	6
0.40	0.5290	0.6151	1.961	1.157	0.3137
0.42	0.5638	0.6535	1.925	1.148	0.3395
0.44	0.5975	0.6903	1.888	1.139	0.3656
0.46	0.6301	0.7254	1.852	1.131	0.3918
0.48	0.6614	0.7587	1.815	1.122	0.4181
0.50	0.6914	0.7901	1.778	1.114	0.4444
0.52	0.7199	0.8196	1.741	1.106	0.4708
0.54	0.7470	0.8469	1.704	1.098	0.4970
0.56	0.7725	0.8723	1.668	1.090	0.5230
0.58	0.7965	0.8955	1.632	1.083	0.5489
0.60	0.8189	0.9167	1.596	1.075	0.5745
0.62	0.8398	0.9358	1.560	1.068	0.5998
0.64	0.8592	0.9530	1.525	1.061	0.6248
0.66	0.8771	0.9682	1.491	1.055	0.6494
0.68	0.8935	0.9814	1.457	1.049	0
0.70	0.9085	0.9929	1.423	1.043	0.6975
0.72	0.9221	1.0026	1.391	1.038	0.7209
0.74	0.9344	1.0106	1.359	1.033	0.7439
0.76	0.9455	1.0171	1.327	1.028	0.7665
0.78	0.9553	1.0220	1.296	1.023	0.7885
0.80	0.9639	1.0255	1.266	1.019	0.8101
0.82	0.9715	1.0276	1.236	1.016	0.8313
0.84	0.9781	1.0285	1.207	1.012	0.8519
0.86	0.9836	1.0283	1.179	1.010	0.8721
0.88	0.9883	1.0269	1.152	1.007	0.8918



Table 5. Normal Shock

$K = 1.4$

$M_x$	$M_y$	$\frac{P_y}{P_x}$	$\frac{T_y}{T_x}$	$\frac{P_{0y}}{P_{0x}}$	$\frac{P_{0y}}{P_x}$
1	2	3	4	5	6
1.00	1.0000	1.000	1.000	1.000	1.893
1.02	0.9805	1.047	1.013	1.000	1.938
1.04	0.9620	1.095	1.026	1.000	1.984
1.06	0.9444	1.144	1.039	1.000	2.032
1.08	0.9277	1.194	1.052	0.999	2.082
1.10	0.9118	1.245	1.065	0.999	2.133
1.12	0.8966	1.297	1.078	0.998	2.185
1.14	0.8820	1.350	1.090	0.997	2.239
1.16	0.8682	1.403	1.103	0.996	2.294
1.18	0.8549	1.458	1.115	0.995	2.350
1.20	0.8422	1.513	1.128	0.993	2.408
1.22	0.8300	1.570	1.141	0.991	2.466
1.24	0.8183	1.627	1.153	0.988	2.526
1.26	0.8071	1.686	1.166	0.986	2.588
1.28	0.7963	1.745	1.178	0.983	2.650
1.30	0.7860	1.805	1.191	0.979	2.714
1.32	0.7760	1.866	1.204	0.976	2.778
1.34	0.7664	1.928	1.216	0.972	2.844
1.36	0.7572	1.991	1.229	0.968	2.912
1.38	0.7483	2.055	1.242	0.963	2.980
1.40	0.7397	2.120	1.255	0.958	3.049
1.42	0.7314	2.186	1.268	0.953	3.120

Contd.

Table 5. *Contd.*

1	2	3	4	5	6
1.94	0.5880	4.224	1.639	0.749	5.338
1.96	0.5844	4.315	1.655	0.740	5.438
1.98	0.5808	4.407	1.671	0.730	5.539
2.00	0.5774	4.500	1.688	0.721	5.640
2.02	0.5740	4.594	1.704	0.712	5.743
2.04	0.5707	4.689	1.720	0.702	5.847
2.06	0.5675	4.784	1.737	0.693	5.952
2.08	0.5643	4.881	1.754	0.684	6.058
2.10	0.5613	4.978	1.770	0.674	6.165
2.12	0.5583	5.077	1.787	0.665	6.274
2.14	0.5554	5.176	1.805	0.656	6.383
2.16	0.5525	5.277	1.822	0.646	6.493
2.18	0.5489	5.378	1.839	0.637	6.604
2.20	0.5471	5.480	1.857	0.628	6.716
2.22	0.5444	5.583	1.875	0.619	6.830
2.24	0.5418	5.687	1.892	0.610	6.944
2.26	0.5393	5.792	1.910	0.601	7.060
2.28	0.5368	5.898	1.929	0.592	7.176
2.30	0.5344	6.005	1.947	0.583	7.294
2.32	0.5321	6.113	1.965	0.575	7.412
2.34	0.5297	6.222	1.984	0.566	7.532
2.36	0.5275	6.331	2.002	0.557	7.652
2.38	0.5253	6.442	2.021	0.549	7.774
2.40	0.5231	6.553	2.040	0.540	7.897
2.42	0.5210	6.666	2.059	0.532	8.021

Relevant formulae:

$$C = \sqrt{\frac{2KR}{K-1} (T_0 - T)}$$

$$a = \sqrt{KRT} ;$$

$$P = \rho RT$$

$$R = \frac{\bar{R}}{M} ;$$

$$C_p = \frac{KR}{K-1} ;$$

$$C_v = \frac{R}{K-1}$$

$$\frac{T_0}{T} = \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{K-1}{K}} = (\rho_0/\rho)^{K-1}$$

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{K-1}{2} M^2 ; \quad \dot{m} = \rho AC$$

$$\frac{\dot{m} \sqrt{C_p T_0}}{A P_0} = \sqrt{\frac{K^2}{K-1}} \frac{M}{\left( 1 + \frac{K-1}{2} M^2 \right)^{\frac{K+1}{2(K-1)}}}$$

$$A/A^* = \frac{1}{M} \sqrt{\frac{2}{K+1} \left( 1 + \frac{K-1}{2} M^2 \right)^{\frac{K+1}{K-1}}}$$

$$C = \sqrt{\frac{2K^2}{K-1} \left( \frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K+1}{K-1}}} \sqrt{1 - \frac{P_e}{P_0} + \frac{A_e}{A^*} \left( \frac{P_e}{P_0} - \frac{P_a}{P_0} \right)}$$

$$\frac{4fL_{\max}}{D} = \frac{1 - M^2}{KM^2} + \frac{K+1}{2K} \log \frac{(K+1) M^2}{2(1 + \frac{K-1}{2} M^2)}$$

$$\frac{4fL}{D} = \left( \frac{4fL_{\max}}{D} \right)_{M_1} - \left( \frac{4fL_{\max}}{D} \right)_{M_2}$$

$$\frac{4fL}{D} = \frac{1 - KM_1^2}{KM_1^2} - \frac{1 - KM_2^2}{KM_2^2} + \log_e \frac{M_1^2}{M_2^2}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{M_1}{M_2}$$

$$KM_1^2 = \left( \frac{\dot{m}}{A} \right) \frac{RT_1}{P_1^2} ; \quad \frac{P_y}{P_x} = \frac{1 + KM_x^2}{1 + KM_y^2}$$

$$M_x \frac{1 + \frac{K-1}{2} M_x^2}{1 + KM_x^2} = M_y \frac{1 + \frac{K-1}{2} M_y^2}{1 + KM_y^2}$$

$$M_y^2 = \frac{M_x^2 + \frac{2}{K-1}}{\frac{2KM_x^2}{K-1} - 1}$$

$$M_y^2 = M_x^2 + \frac{2}{K-1} ;$$

$$\frac{2KM_x^2}{K-1} - 1$$

$$\lambda_x^2 = \frac{\frac{K+1}{2} M_x^2}{1 + \frac{K-1}{2} M_x^2} ; \quad \lambda_y^2 = \frac{\frac{K+1}{2} M_y^2}{1 + \frac{K-1}{2} M_y^2}$$

$$Q = C_p (T_{02} - T_{01})$$