

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 1992/93

Oktober/November 1992

EMK 310 - Dinamik Gas dan Dorongan Jet

Masa : [3 jam]

ARAHAN KEPADA CALON:

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi TUJUH (7) soalan dan LAPAN (8) muka surat serta TIGA BELAS (13) lampiran yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab LIMA (5) soalan sahaja.

Semua soalan mestilah dijawab dalam bahasa Malaysia

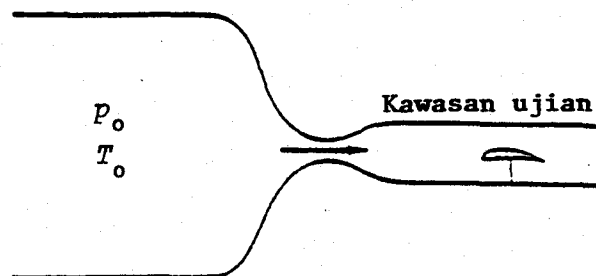
Termasuk lampiran-lampiran:

1. Jadual gas
2. "Relevant Formulae"

..2/-

1. [a] [i] Gambarkan elips adiabatik aliran mantap dengan menunjukkan kawasan-kawasan aliran bendalir.
- (10 markah)
- [ii] Nyatakan tiga kelajuan rujukan yang digunakan dalam dinamik gas, dan ungkapkan ketiganya dalam sebutan suhu
- (10 markah)
- [iii] Jelaskan tiga hukum Von Karman bagi aliran supersonik.
- (10 markah)
- [iv] Jelaskan mengenai fenomena 'tercekik' dalam aliran nozel.
- (10 markah)
- [b] Suatu nozel terowong angin supersonik seperti ditunjukkan dalam Rajah S1[b] ingin direkabentuk bagi nombor Mach $M = 2$. Ukuran kerongkongannya adalah 300 mm x 300 mm. Tekanan genangan (stagnation pressure) adalah 60 kPa dan suhu pada salur masuk adalah 37°C. Rekabentuk awal adalah dibuat berdasarkan anggapan bahawa aliran adalah seentropi dengan $k = 1.4$. Aliran dianggap sebagai satu dimensi pada kerongkongan dan kawasan ujian. Tentukan
- [i] kadar alir jisim
- [ii] luas kawasan ujian
- [iii] Sifat-sifat bendalir pada kawasan kerongkongan dan ujian

(60 markah)



Rajah S1[b]

..3/-

2. [a] Terbitkan ungkapan-ungkapan berikut bagi aliran seentropi dengan menggunakan nisbah tekanan sebagai parameter

$$[i] \quad C = \sqrt{\frac{2KR}{k-1}} \sqrt{T_0} \sqrt{1 - (P/P_0)^{\frac{k-1}{k}}}$$

(20 markah)

$$[ii] \quad M = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left[(P_0/P)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}$$

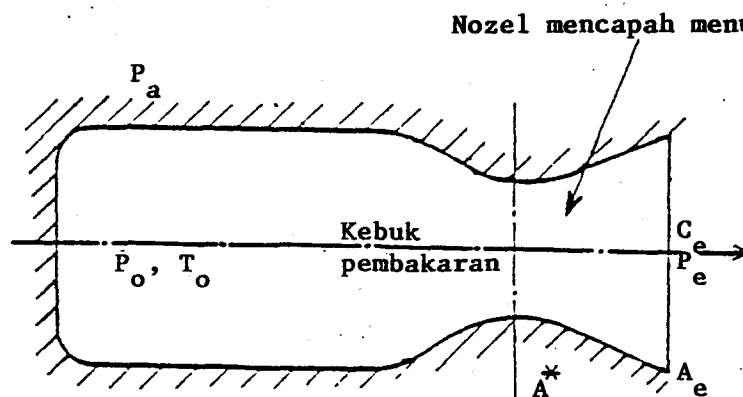
(20 markah)

di mana

- C - halaju
- P_0 - tekanan genangan
- P - tekanan statik
- M - nombor Mach
- k - nisbah haba tentu
- R - pemalar gas

- [b] Suatu nozel roket dalam Rajah S2[b] ingin direka bagi dikendalikan secara seentropi pada 20 km di atas paras laut. Tekanan kebuk pembakaran adalah 2 MPa dan suhunya 3000K. Jika hasil pembakaran dianggap berkelakuan sebagai gas sempurna dengan nilai $k = 1.3$, jisim molekul $\bar{M} = 20$ dan luas kerongkongan nozel adalah 0.25 m^2 , tentukan tujahan bagi nozel tersebut.

(60 markah)



Rajah S2[b]

..4/-

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)

- [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 bergarispusat 8 sm. Suhu gas tersebut adalah tetap pada 288K di sepanjang saluran paip tersebut. Bagi Methane, $k = 1.32$ dan jisim molekul $\bar{M} = 16$. Dengan menganggapkan 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 λ_x adalah nombor Mach ciri sebelum kejutan
 λ_y adalah nombor Mach ciri selepas kejutan.

(20 markah)

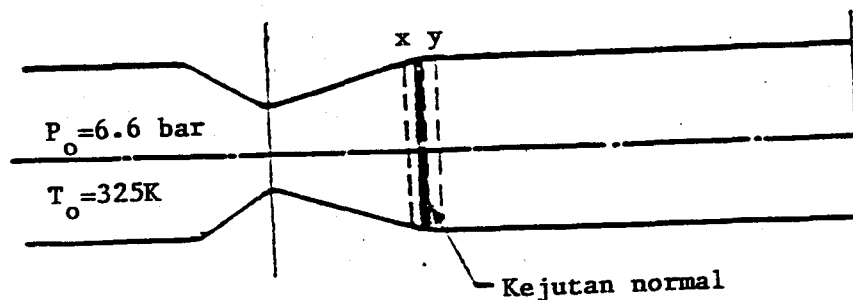
- [ii] Buktikan bahawa kejutan tidak boleh wujud dalam aliran subsonik.

(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 garispusat D . Tekanan nozel adalah 6.6 bar dan suhunya 310K. 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)



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.

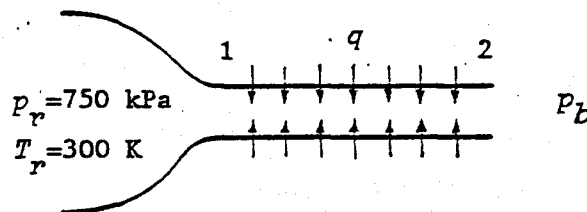
(20 markah)

..6/-

[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 300K. 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 $C_p = 1.005$ 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)



Rajah S5[b]

6. [a] [i] Lukiskan rajah skema enjin turbojet dan terangkan cara kerjanya..

(20 markah)

- [ii] Lukiskan proses-proses termodinamik yang terjadi dalam komponen-komponen berlainan dalam sebuah turbojet di atas rajah T-s.

(20 markah)

..7/-

- [b] Sebuah pesawat terbang berenjin turbojet terbang pada kelajuan 900 km/jam pada paras ketinggian 5000 m. Pada salur masuk, tekanan genangan (stagnation pressure) adalah 0.8 bar dan suhu genangan 290 K. Nisbah tekanan pemampat adalah 8. Suhu salur masuk turbin ialah 1200 K. Nilai kerja pemampat adalah sama dengan kerja turbin. Gas berkenaan mengembang dalam nozel mencapai nilai kritikal. Anggapkan kecekapan seentropi pemampat dan turbin adalah 90%. Luas salur keluar nozel ialah 250 cm². Kadar alir jisim adalah 7.2 kg/s. Anggapkan $C_{pa} = 1.005$ kJ/kgK dan $C_{pg} = 1.147$ kJ/kgK

Tentukan:

- [i] halaju salur keluar
- [ii] tujahan
- [iii] kuasa dihasilkan oleh enjin
- [iv] lukiskan proses-proses tersebut di atas rajah T-s.

(60 markah)

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 torbokipas 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.

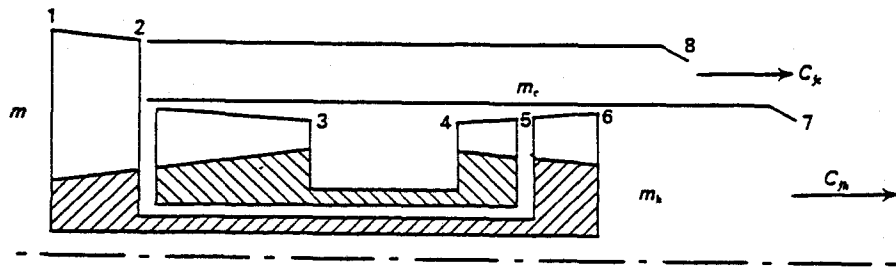
Anggapkan $C_{pa} = 1.005$ kJ/kgK, $C_{pg} = 1.147$ kJ/kgK dan kelajuan sewaktu berlepas adalah 60 m/s.

..8/-

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]

ooo0ooo

JADUAL GAS

Table 1. International Standard Atmosphere

Height (z) (metres)	Absolute Temperature T (K)	Pressure P (bar)	Density (kg/m ³)	Velocity of sound a (m/s)	Kinematic viscosity γ (m/s).10 ⁻⁶
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	λ	$\frac{T}{T_0}$	$\frac{P}{P_0}$	$\frac{A}{A^*}$	$\frac{l}{l^*}$	$\frac{A}{A^*} \frac{P}{P_0}$	$\frac{\dot{m} \sqrt{C_p T_0}}{A P_0}$
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.2 Isentropic flow tables ($\gamma = 1.3$)

M	p/p_t	T/T_t	A/A^*	M	p/p_t	T/T_t	A/A^*
0	1.0000	1.0000	∞	1.75	0.1944	0.6852	1.424
.05	.9984	.9996	11.7202	1.80	.1797	.6729	1.484
.10	.9936	.9985	5.8852	1.85	.1660	.6607	1.549
.15	.9855	.9966	3.9520	1.90	.1533	.6487	1.618
.20	.9744	.9940	2.9938	1.95	.1415	.6368	1.693
.25	.9603	.9907	2.4262	2.00	.1305	.6250	1.773
.30	.9435	.9867	2.0537	2.05	.1203	.6134	1.859
.35	.9241	.9820	1.7930	2.10	.1108	.6019	1.951
.40	.9023	.9766	1.6023	2.15	.1020	.5905	2.050
.45	.8784	.9705	1.4586	2.20	.9393 ⁻¹	.5794	2.156
.50	.8526	.9639	1.3479	2.25	.8645 ⁻¹	.5684	2.268
.55	.8251	.9566	1.2614	2.30	.7955 ⁻¹	.5576	2.388
.60	.6267	.9488	1.1932	2.35	.7318 ⁻¹	.5470	2.517
.65	.7662	.9404	1.1395	2.40	.6731 ⁻¹	.5365	2.654
.70	.7354	.9315	1.0972	2.45	.6190 ⁻¹	.5262	2.799
.75	.7724	.9222	1.0644	2.50	.5692 ⁻¹	.5161	2.954
.80	.6273	.9124	1.0395	2.55	.5234 ⁻¹	.5062	3.119
.85	.6403	.9022	1.0214	2.60	.4813 ⁻¹	.4965	3.295
.90	.6084	.8917	1.0092	2.65	.4426 ⁻¹	.4870	3.482
.95	.5768	.8808	1.0022	2.70	.4070 ⁻¹	.4777	3.681
1.00	.5457	.8696	1.0000	2.75	.3743 ⁻¹	.4686	3.892
1.05	.5152	.8581	1.002	2.80	.3442 ⁻¹	.4596	4.116
1.10	.4854	.8464	1.008	2.85	.3166 ⁻¹	.4508	4.354
1.15	.4565	.8345	1.018	2.90	.2913 ⁻¹	.4422	4.607
1.20	.4285	.8224	1.032	2.95	.2680 ⁻¹	.4338	4.875
1.25	.4015	.8101	1.049	3.00	.2466 ⁻¹	.4255	5.160
1.30	.3756	.7978	1.070	3.50	.1090 ⁻¹	.3524	9.110
1.35	.3509	.7853	1.095	4.00	.4977 ⁻²	.2941	15.94
1.40	.3273	.7728	1.123	4.50	.2363 ⁻²	.2477	27.39
1.45	.3049	.7603	1.154	5.00	.1169 ⁻²	.2105	45.96
1.50	.2836	.7477	1.189	6.00	.3120 ⁻³	.1563	120.1
1.55	.2635	.7351	1.228	7.00	.1014 ⁻³	.1198	285.3
1.60	.2446	.7225	1.271	8.00	.3606 ⁻⁴	.9434 ⁻¹	623.1
1.65	.2268	.7100	1.318	9.00	.1417 ⁻⁴	.7605 ⁻¹	1265
1.70	.2100	.6976	1.369	10.00	.6056 ⁻⁵	.6250 ⁻¹	2416

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

$$K = 1.4$$

M	$\frac{T}{T^*}$	$\frac{\rho}{\rho^*}$	$\frac{P}{P^*}$	$\frac{P_0}{P_0^*}$	$\frac{l}{l^*}$	$\frac{4f L_{max}}{D}$
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:

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

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

$$P = \rho RT$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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