

Name: Vorname: Punkte:

Matr.-Nr.: MB-DI / MB-DII / IP-DII / WIW-DII
BSc-MB / BSc-MBD / BSc-BIBME

KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE 26.03.2012

Fragenteil

- 1) Wie ist eine Wirbelröhre definiert? (1P)
- 2) Wie skaliert die Grenzschichtdicke in inkompressiblen Strömungen mit der Lauflänge für eine ebene Platte? (1P)
- 3) Überlegen Sie, welche Randbedingung Sie für die Temperatur an einer isothermen und an einer adiabaten Wand setzen müssen. (2P)
- 4) Welche Bedingung muss bei der potentialtheoretischen Beschreibung der Umströmung eines Tragflügels erfüllt sein, um realistische Ergebnisse zu erhalten? (1P)
- 5) Worin besteht der Unterschied zwischen inkompressiblen Fluiden und inkompressiblen Strömungen? (2P)
- 6) Nehmen Sie an, die Temperatur wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\rho c_V \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial u_j T}{\partial x_j} \right) = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x_j^2}$$

Sie kennen ausserdem Referenzgrößen ρ_∞ , U_∞ , C_p und T_∞ , ein Längenmass L und die Wärmeleitfähigkeit κ (C_p , C_V , κ seien konstant hier).

- a) Wie ist die Prandtl-Zahl definiert? Wie können wir diese interpretieren? (2P)
 - b) Führen Sie diese Gleichung in eine dimensionslose Form über. Verwenden Sie hierzu die angegebenen Referenzgrößen, so dass am Ende nur noch zwei bekannte Kennzahlen in der Gleichung auftauchen (3P)
 - c) Formulieren Sie die Gleichung in Operatorform. (2P)
- 7) Die Bewegung eines Fluidelements lässt sich in drei Anteile aufspalten. Welche sind dies? Was hat dies mit dem Geschwindigkeitsgradienten zu tun? (5P)

- 8) Welche Kräfte sind in einer schleichenden Strömung im Gleichgewicht? Für welche Reynoldszahlen gilt diese Annahme? Nennen Sie ein Beispiel für eine solche Strömung. (3P)
- 9) Was verstehen wir unter dem Schließungsproblem in den gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen? (2P)
- 10) Geben sie den Mischungswegansatz für die Reynoldsspannung $\tau = -\rho \langle u' u' \rangle$ an. (1P)

Total 25 Punkte

Aufg.	Punkte
1	
2	
3	
Σ	

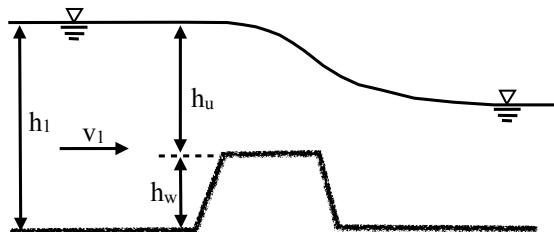
Name:
Vorname:
Matr.-Nr.:

MB-DI / MB-DII / IP-DII / WIW-DII
BSc-MB / BSc-MBD / BSc-BIBME

KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE

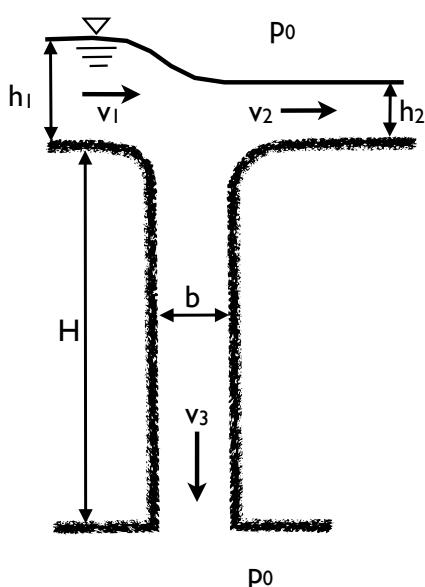
Achtung: nicht alle Angaben sind zur Bearbeitung der Teilaufgaben notwendig!

1) Gegeben ist ein Wehr in einer reibungsfreien Anströmung (siehe Abbildung).



Der Volumenstrom bezogen auf die Breite des Wehrs ergibt sich zu $Q/b = C \sqrt{gh_u^3}$

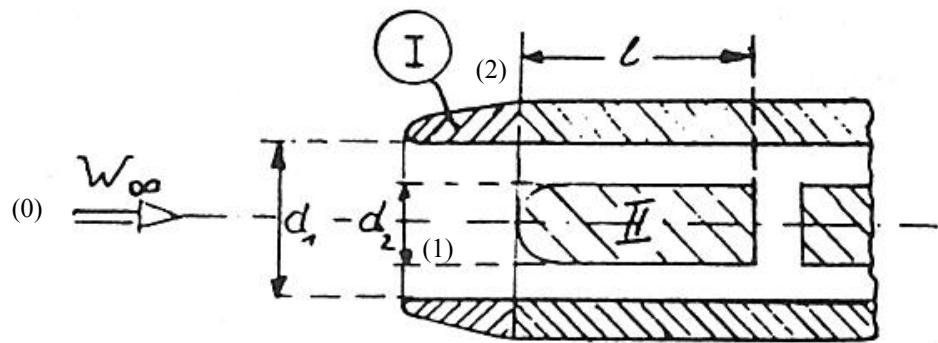
- a) Zeigen Sie diesen Zusammenhang unter Verwendung des Buckingham Π -Theorems (C Konstante).
- b) Drücken Sie die Froudezahl vor dem Wehr in Abhängigkeit von h_w und h_1 aus.
- c) Gegeben ist nun eine ebene, flache, offene Gerinneströmung (siehe Abbildung), in dem die Flüssigkeit mit der Geschwindigkeit v_1 bei einer Höhe h_1 zuströmt. Im Boden befindet sich ein senkrechter Abfluss der Breite b und Höhe H . Die Tiefe t sei $t \gg b$.



c₁) Geben Sie eine Beziehung für das Verhältnis der Volumenströme Q_2/Q_3 in Abhängigkeit der Spaltbreite b , sowie der Größen in Punkt 1 der Zuströmung an. Im Spalt treten Reibungsverluste auf, die mittels der Beziehung $z' = v^2 \lambda H/(D_H 2g)$ beschrieben werden (D_H ist hier der hydraulische Durchmesser, $D_H = 4 \cdot \text{Fläche}/\text{Umfang}$, λ ein Reibungsparameter, konstant).

c₂) Welche **Gleichung** muss h_2 erfüllen, für den Fall dass $Fr_1 = 1$ ist?

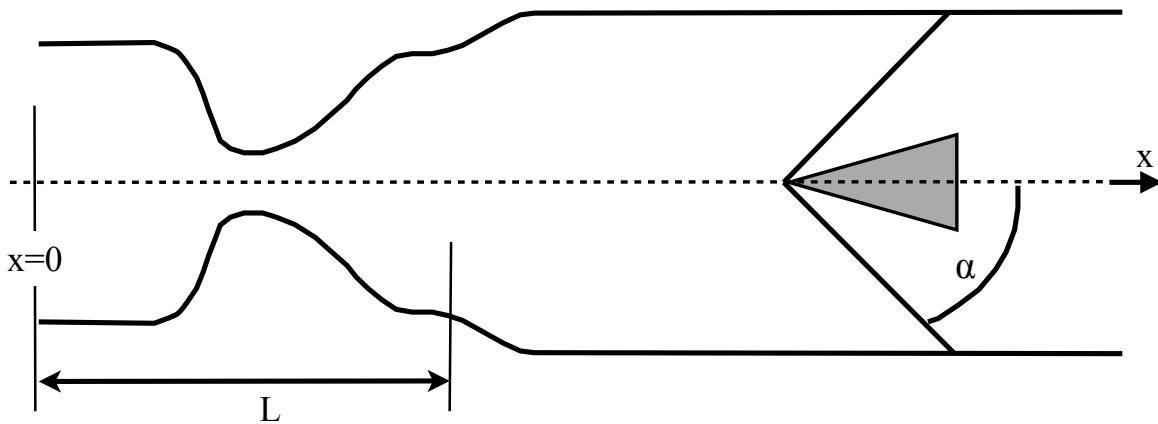
2) Gegeben sei der rotationssymmetrische Triebwerkseinlauf. Die Strömung im Bereich (2) ist



nicht homogen, in (0) und (1) kann sie dagegen als gleichförmig angesehen werden.

- Bestimmen Sie zuerst die Kraft (Gleichung) auf den Nabenkörper (II) unter Vernachlässigung der Reibung.
- Durch die Umströmung der Triebwerksnase entsteht eine in Schubrichtung gerichtete Saugkraft, die auch Nasenschub genannt wird. Geben Sie den Nasenschub (I) in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit w_∞ an, bei gegebenem Durchsatz Q (Hinweis, drücken Sie zuerst die Größen über der Nase in Bereich (2) durch die homogenen Verteilungen in Anströmung (0) und im Düsenbereich (1) aus).

- 3) Eine Laval Düse der Länge L soll so ausgelegt werden, dass sich ein linearer Verlauf der Machzahl $Ma(x)=ax+b$ über der Längskoordinate ergibt. Bei $x=0$ herrscht die Machzahl $Ma_0 < 1$. Die Strömung verlaufe isentrop, die kritische Fläche beträgt 1cm^2 .



Geben Sie bitte alle benutzten Formeln an, auch wenn Sie die Berechnung mit der Tabelle durchführen (Tabelle ist am Ende angehängt)!

- a) Leiten Sie für den Fall $\gamma=1.5$ folgenden Zusammenhang der Fläche A als Funktion der Machzahl ab

$$A = \frac{(Ma^2 + 4)^{5/2}}{Ma \cdot 25\sqrt{5}} [\text{cm}^2]$$

Bestimmen Sie damit den Verlauf der Fläche A als Funktion der Längskoordinate x .

- b) Am Austritt ($x=L$) herrsche die Machzahl Ma_1 . Bestimmen Sie die Konstanten a und b .
- c) Bestimmen Sie die Lage x_e und den Funktionswert A_e des Minimums von $A(x)$ für $x > 0$.
- d) Im Ruhezustand herrscht der Druck $p_0 = 8.95\text{bar}$ und die Temperatur $T_0=450\text{K}$. Bestimmen Sie den Massenstrom in der Laval Düse. Nehmen Sie an, dass die Gaskonstante 287J/kg/K beträgt.
- e) Berechnen Sie für $Ma_0=0.5$ und $Ma_1=3$, sowie $L=0.25\text{m}$ den Druck p_A und die Geschwindigkeit v_A an der Stelle $x_A = 0.2\text{m}$.

Nach der Beschleunigung der Strömung $x>L$ wird nun ein Keil in die Strömung eingebracht (halber Öffnungswinkel 12°), so dass sich ein schiefer Verdichtungsstoss ausbildet. Die Machzahl am Austritt der Düse ($Ma_1=3$) vor dem Stoss sei konstant.

- f) Wie groß sind der Druck p_2 und die Geschwindigkeit v_2 nach dem Stoss?
- g) Wie groß müsste der Öffnungswinkel des Keils sein, damit der Stoss ablöst?

TABLE I—SUBSONIC FLOW

TABLE II.—SUPERSONIC FLOW

M	$\frac{p}{p_1}$	$\frac{p}{p_2}$	$\frac{\rho}{\rho_1}$	$\frac{\rho}{\rho_2}$	$\frac{T}{T_1}$	θ	$\frac{q}{q_1}$	$\frac{q}{q_2}$	$\frac{A}{A_1}$	$\frac{L}{L_1}$	μ	M_1	$\frac{p_1}{p_2}$	$\frac{p_2}{p_1}$	T_1	p_1	p_2	
1.25	.3851	.667	.7619	.7400	.4323	1.497	1.1023	4.830	53.13	.8126	1.659	1.495	1.69	.9671	.5011	.3011	.9671	.5011
1.26	.3860	.669	.7629	.7406	.4334	1.498	1.1027	4.832	53.14	.8127	1.660	1.496	1.691	.9672	.5012	.3012	.9672	.5012
1.27	.3879	.671	.7651	.7428	.4344	1.501	1.1032	4.834	53.15	.8128	1.661	1.498	1.692	.9673	.5013	.3013	.9673	.5013
1.28	.3889	.673	.7671	.7438	.4353	1.503	1.1038	4.836	53.16	.8129	1.662	1.499	1.693	.9674	.5014	.3014	.9674	.5014
1.29	.3899	.675	.7691	.7448	.4362	1.505	1.1044	4.838	53.17	.8130	1.663	1.500	1.694	.9675	.5015	.3015	.9675	.5015
1.30	.3909	.677	.7711	.7458	.4371	1.507	1.1050	4.840	53.18	.8131	1.664	1.501	1.695	.9676	.5016	.3016	.9676	.5016
1.31	.3919	.679	.7731	.7468	.4380	1.509	1.1056	4.842	53.19	.8132	1.665	1.502	1.696	.9677	.5017	.3017	.9677	.5017
1.32	.3929	.681	.7751	.7478	.4389	1.511	1.1062	4.844	53.20	.8133	1.666	1.503	1.697	.9678	.5018	.3018	.9678	.5018
1.33	.3949	.683	.7769	.7488	.4398	1.513	1.1068	4.846	53.21	.8134	1.667	1.504	1.698	.9679	.5019	.3019	.9679	.5019
1.34	.3941	.684	.7789	.7498	.4409	1.515	1.1074	4.848	53.22	.8135	1.668	1.505	1.699	.9680	.5020	.3020	.9680	.5020
1.35	.3951	.685	.7809	.7508	.4419	1.517	1.1080	4.850	53.23	.8136	1.669	1.506	1.700	.9681	.5021	.3021	.9681	.5021
1.36	.3961	.686	.7829	.7518	.4429	1.519	1.1086	4.852	53.24	.8137	1.670	1.507	1.701	.9682	.5022	.3022	.9682	.5022
1.37	.3971	.687	.7849	.7528	.4439	1.521	1.1092	4.854	53.25	.8138	1.671	1.508	1.702	.9683	.5023	.3023	.9683	.5023
1.38	.3981	.688	.7869	.7538	.4449	1.523	1.1098	4.856	53.26	.8139	1.672	1.509	1.703	.9684	.5024	.3024	.9684	.5024
1.39	.3987	.689	.7889	.7548	.4459	1.525	1.1104	4.858	53.27	.8140	1.673	1.510	1.704	.9685	.5025	.3025	.9685	.5025
1.40	.3997	.690	.7909	.7558	.4469	1.527	1.1110	4.860	53.28	.8141	1.674	1.511	1.705	.9686	.5026	.3026	.9686	.5026
1.41	.4007	.691	.7929	.7568	.4479	1.529	1.1116	4.862	53.29	.8142	1.675	1.512	1.706	.9687	.5027	.3027	.9687	.5027
1.42	.4017	.692	.7949	.7578	.4489	1.531	1.1122	4.864	53.30	.8143	1.676	1.513	1.707	.9688	.5028	.3028	.9688	.5028
1.43	.4027	.693	.7969	.7588	.4499	1.533	1.1128	4.866	53.31	.8144	1.677	1.514	1.708	.9689	.5029	.3029	.9689	.5029
1.44	.4037	.694	.7989	.7598	.4509	1.535	1.1134	4.868	53.32	.8145	1.678	1.515	1.709	.9690	.5030	.3030	.9690	.5030
1.45	.4047	.695	.8009	.7608	.4519	1.537	1.1140	4.870	53.33	.8146	1.679	1.516	1.710	.9691	.5031	.3031	.9691	.5031
1.46	.4057	.696	.8029	.7618	.4529	1.539	1.1146	4.872	53.34	.8147	1.680	1.517	1.711	.9692	.5032	.3032	.9692	.5032
1.47	.4067	.697	.8049	.7628	.4539	1.541	1.1152	4.874	53.35	.8148	1.681	1.518	1.712	.9693	.5033	.3033	.9693	.5033
1.48	.4077	.698	.8069	.7638	.4549	1.543	1.1158	4.876	53.36	.8149	1.682	1.519	1.713	.9694	.5034	.3034	.9694	.5034
1.49	.4087	.699	.8089	.7648	.4559	1.545	1.1164	4.878	53.37	.8150	1.683	1.520	1.714	.9695	.5035	.3035	.9695	.5035
1.50	.4097	.700	.8109	.7658	.4569	1.547	1.1170	4.880	53.38	.8151	1.684	1.521	1.715	.9696	.5036	.3036	.9696	.5036
1.51	.4107	.701	.8129	.7668	.4579	1.549	1.1176	4.882	53.39	.8152	1.685	1.522	1.716	.9697	.5037	.3037	.9697	.5037
1.52	.4117	.702	.8149	.7678	.4589	1.551	1.1182	4.884	53.40	.8153	1.686	1.523	1.717	.9698	.5038	.3038	.9698	.5038
1.53	.4127	.703	.8169	.7688	.4599	1.553	1.1188	4.886	53.41	.8154	1.687	1.524	1.718	.9699	.5039	.3039	.9699	.5039
1.54	.4137	.704	.8189	.7698	.4609	1.555	1.1194	4.888	53.42	.8155	1.688	1.525	1.719	.9700	.5040	.3040	.9700	.5040
1.55	.4147	.705	.8209	.7708	.4619	1.557	1.1200	4.890	53.43	.8156	1.689	1.526	1.720	.9701	.5041	.3041	.9701	.5041
1.56	.4157	.706	.8229	.7718	.4629	1.559	1.1206	4.892	53.44	.8157	1.690	1.527	1.721	.9702	.5042	.3042	.9702	.5042
1.57	.4167	.707	.8249	.7728	.4639	1.561	1.1212	4.894	53.45	.8158	1.691	1.528	1.722	.9703	.5043	.3043	.9703	.5043
1.58	.4177	.708	.8269	.7738	.4649	1.563	1.1218	4.896	53.46	.8159	1.692	1.529	1.723	.9704	.5044	.3044	.9704	.5044
1.59	.4187	.709	.8289	.7748	.4659	1.565	1.1224	4.898	53.47	.8160	1.693	1.530	1.724	.9705	.5045	.3045	.9705	.5045
1.60	.4197	.710	.8309	.7758	.4669	1.567	1.1230	4.900	53.48	.8161	1.694	1.531	1.725	.9706	.5046	.3046	.9706	.5046
1.61	.4207	.711	.8329	.7768	.4679	1.569	1.1236	4.902	53.49	.8162	1.695	1.532	1.726	.9707	.5047	.3047	.9707	.5047
1.62	.4217	.712	.8349	.7778	.4689	1.571	1.1242	4.904	53.50	.8163	1.696	1.533	1.727	.9708	.5048	.3048	.9708	.5048
1.63	.4227	.713	.8369	.7788	.4699	1.573	1.1248	4.906	53.51	.8164	1.697	1.534	1.728	.9709	.5049	.3049	.9709	.5049
1.64	.4237	.714	.8389	.7798	.4709	1.575	1.1254	4.908	53.52	.8165	1.698	1.535	1.729	.9710	.5050	.3050	.9710	.5050
1.65	.4247	.715	.8409	.7808	.4719	1.577	1.1260	4.910	53.53	.8166	1.699	1.536	1.730	.9711	.5051	.3051	.9711	.5051
1.66	.4257	.716	.8429	.7818	.4729	1.579	1.1266	4.912	53.54	.8167	1.700	1.537	1.731	.9712	.5052	.3052	.9712	.5052
1.67	.4267	.717	.8449	.7828	.4739	1.581	1.1272	4.914	53.55	.8168	1.701	1.538	1.732	.9713	.5053	.3053	.9713	.5053
1.68	.4277	.718	.8469	.7838	.4749	1.583	1.1278	4.916	53.56	.8169	1.702	1.539	1.733	.9714	.5054	.3054	.9714	.5054
1.69	.4287	.719	.8489	.7848	.4759	1.585	1.1284	4.918	53.57	.8170	1.703	1.540	1.734	.9715	.5055	.3055	.9715	.5055
1.70	.4297	.720	.8509	.7858	.4769	1.587	1.1290	4.920	53.58	.8171	1.704	1.541	1.735	.9716	.5056	.3056	.9716	.5056
1.71	.4307	.721	.8529	.7868	.4779	1.589	1.1296	4.922	53.59	.8172	1.705	1.542	1.736	.9717	.5057	.3057	.9717	.5057
1.72	.4317	.722	.8549	.7878	.4789	1.591	1.1302	4.924	53.60	.8173	1.706	1.543	1.737	.9718	.5058	.3058	.9718	.5058
1.73	.4327	.723	.8569	.7888	.4799	1.593	1.1308	4.926	53.61	.8174	1.707	1.544	1.738	.9719	.5059	.3059	.9719	.5059
1.74	.4337	.724	.8589	.7898	.4809	1.595	1.1314	4.928	53.62	.8175	1.708	1.545	1.739	.9720	.5060	.3060	.9720	.5060
1.75	.4347	.725	.8609	.7908	.4819	1.597	1.1320	4.930	53.63	.8176	1.709	1.546	1.740	.9721	.5061	.3061	.9721	.5061
1.76	.4357	.726	.8629	.7918	.4829	1.599	1.1326	4.932	53.64	.8177	1.710	1.547	1.741	.9722	.5062	.3062	.9722	.5062
1.77	.4367	.727	.8649	.7928	.4839	1.601	1.1332	4.934	53.65	.8178	1.711	1.548	1.742	.9723	.5063	.3063	.9723	.5063
1.78	.4377	.728	.8669	.7938	.4849	1.603	1.1338	4.936	53.66	.8179	1.712	1.549	1.743	.9724	.5064	.3064	.9724	.5064
1.79	.4387	.729	.8689	.7948	.4859	1.605	1.1344	4.938	53.67	.8180	1.713	1.550	1.744	.9725	.5065	.3065	.9725	.5065
1.80	.4397	.730	.8709	.7958	.4869	1.607	1.1350	4.940	53.68	.8181	1.714	1.551	1.745	.9726	.5066	.3066	.9726	.5066
1.81	.4407	.731	.8729	.7968	.4879	1.609	1.1356	4.942	53.69	.8182	1.715	1.552	1.746	.9727	.5067	.3067	.9727	.5067
1.82	.4417	.732	.8749	.7978	.4889	1.611	1.1362	4.944	53.70	.8183	1.716	1.553	1.747	.9728	.5068	.3068	.9728	.5068
1.83	.4427	.733	.8769	.7988	.4899	1.613	1.1368	4.946	53.71	.8184	1.717	1.554	1.748	.9729	.5069	.3069	.9729	.5069
1.84	.4437	.734	.8789	.7998	.4909	1.615	1.1374	4.948	53.72	.8185	1.718	1.555	1.749	.9730	.5070	.3070	.9730	.5070
1.85	.4447	.735	.8809	.8008	.4919	1.617	1.1380	4.950	53.73	.8186	1.719	1.556	1.750	.9731	.5071	.3071	.9731	.5071
1.86	.4457	.736	.8829	.8018	.4929	1.619	1.1386	4.9										

EQUATIONS, TABLES, AND CHARTS FOR COMPRESSIBLE FLOW

TABLE II.—SUPERSONIC FLOW—Continued

 $\gamma=7/5$

M or M_1	$\frac{p}{p_1}$	$\frac{p}{p_1}$	T $\frac{T}{T_1}$	δ	$\frac{q}{p_1}$	A $\frac{A}{A_1}$	V $\frac{V}{a_1}$	ν	μ	M_2	$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{p_2}{p_1}$	T_2 $\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{p_1}{p_2}$
2.15	.104	.104	.5096	.5096	.3272	1.919	1.69774	.30425	.27.72	.5540	5.226	2.882	1.813	.6511	.1553
2.16	.9636	.1	.1003	.5126	.3252	1.925	1.70188	.30489	.27.58	.5525	5.277	2.896	1.822	.6464	.1540
2.17	.8802	.1	.1003	.5150	.3231	1.953	1.70389	.30.951	.27.44	.5511	5.327	2.910	1.831	.6419	.1527
2.18	.9649	.1	.1882	.5127	.3127	1.937	1.70992	.31.212	.27.30	.5498	5.378	2.924	1.838	.6573	.1514
2.19	.9500	.1	.1861	.5104	.3189	1.987	1.71393	.31.473	.27.17	.5484	5.428	2.938	1.845	.6527	.1502
2.20	.8532	.1	.1841	.5091	.3169	2.005	1.71791	.31.732	.27.04	.5471	5.480	2.951	1.857	.6281	.1489
2.21	.9234	.1	.1830	.5059	.3148	2.023	1.72187	.31.991	.26.90	.5457	5.531	2.965	1.866	.6236	.1476
2.22	.9064	.1	.1800	.5036	.3127	2.041	1.72579	.32.250	.26.77	.5444	5.583	2.978	1.875	.6191	.1464
2.23	.8923	.1	.1780	.5014	.3106	2.059	1.72970	.32.507	.26.64	.5431	5.636	2.992	1.885	.6145	.1452
2.24	.8785	.1	.1760	.4991	.3085	2.078	1.73357	.32.763	.26.51	.5418	5.687	3.005	1.892	.6100	.1440
2.25	.8648	.1	.1740	.4969	.3065	2.096	1.73742	.33.018	.26.39	.5406	5.740	3.019	1.901	.6055	.1428
2.26	.8514	.1	.1721	.4947	.3044	2.115	1.74125	.33.273	.26.26	.5393	5.792	3.032	1.910	.6011	.1417
2.27	.8382	.1	.1702	.4925	.3023	2.134	1.74504	.33.527	.26.14	.5381	5.845	3.045	1.919	.5966	.1405
2.28	.8251	.1	.1682	.4903	.3003	2.154	1.74882	.33.780	.26.03	.5369	5.898	3.058	1.928	.5924	.1394
2.29	.8123	.1	.1664	.4881	.2982	2.175	1.75257	.34.032	.25.89	.5356	5.951	3.071	1.938	.5877	.1382
2.30	.7967	.1	.1646	.4859	.2961	2.193	1.75629	.34.283	.25.77	.5344	6.008	3.085	1.947	.5833	.1371
2.31	.7873	.1	.1628	.4837	.2941	2.213	1.75999	.34.533	.25.65	.5332	6.056	3.098	1.956	.5789	.1360
2.32	.7751	.1	.1609	.4816	.2920	2.233	1.76366	.34.783	.25.53	.5320	6.104	3.110	1.965	.5755	.1349
2.33	.7631	.1	.1592	.4794	.2904	2.254	1.76731	.35.031	.25.42	.5309	6.167	3.123	1.974	.5702	.1338
2.34	.7512	.1	.1574	.4773	.2874	2.274	1.77093	.35.279	.25.30	.5297	6.222	3.136	1.984	.5655	.1328
2.35	.7396	.1	.1556	.4752	.2859	2.295	1.77443	.35.526	.25.18	.5286	6.276	3.149	1.993	.5615	.1317
2.36	.7281	.1	.1539	.4731	.2839	2.316	1.77791	.35.771	.25.07	.5275	6.324	3.162	2.002	.5572	.1307
2.37	.7168	.1	.1521	.4710	.2818	2.336	1.78139	.36.016	.24.96	.5264	6.386	3.174	2.012	.5529	.1297
2.38	.7057	.1	.1503	.4688	.2798	2.359	1.78459	.36.261	.24.85	.5253	6.442	3.187	2.021	.5484	.1286
2.39	.6948	.1	.1488	.4668	.2778	2.381	1.78869	.36.504	.24.73	.5242	6.497	3.199	2.031	.5444	.1276
2.40	.6840	.1	.1472	.4647	.2758	2.403	1.79218	.36.746	.24.62	.5231	6.553	3.212	2.040	.5401	.1266
2.41	.6724	.1	.1455	.4626	.2738	2.425	1.79563	.36.988	.24.52	.5220	6.609	3.224	2.050	.5359	.1257
2.42	.6609	.1	.1439	.4605	.2718	2.448	1.79907	.37.229	.24.41	.5210	6.666	3.237	2.059	.5317	.1247
2.43	.6527	.1	.1424	.4585	.2698	2.471	1.80248	.37.469	.24.30	.5200	6.722	3.249	2.069	.5276	.1237
2.44	.6426	.1	.1408	.4565	.2678	2.494	1.80587	.37.708	.24.19	.5189	6.777	3.261	2.079	.5233	.1228
2.45	.6327	.1	.1392	.4544	.2658	2.517	1.80924	.37.946	.24.09	.5179	6.826	3.272	2.088	.5193	.1218
2.46	.6224	.1	.1375	.4524	.2638	2.539	1.81258	.38.183	.23.99	.5169	6.884	3.285	2.098	.5152	.1209
2.47	.6133	.1	.1362	.4504	.2619	2.564	1.81591	.38.420	.23.88	.5159	6.951	3.298	2.108	.5111	.1200
2.48	.6038	.1	.1346	.4484	.2599	2.588	1.81921	.38.655	.23.78	.5149	7.009	3.310	2.118	.5071	.1191
2.49	.5945	.1	.1332	.4464	.2589	2.612	1.82249	.38.896	.23.68	.5139	7.067	3.321	2.128	.5030	.1182
2.50	.5853	.1	.1317	.4444	.2561	2.637	1.82574	.39.124	.23.58	.5130	7.125	3.333	2.138	.4990	.1173
2.51	.5762	.1	.1302	.4425	.2541	2.661	1.82895	.39.357	.23.48	.5120	7.183	3.345	2.147	.4950	.1164
2.52	.5674	.1	.1288	.4405	.2522	2.685	1.83219	.39.589	.23.38	.5111	7.242	3.357	2.157	.4911	.1155
2.53	.5586	.1	.1274	.4386	.2503	2.712	1.83538	.39.820	.23.28	.5102	7.301	3.369	2.167	.4871	.1147
2.54	.5500	.1	.1260	.4366	.2484	2.739	1.83853	.40.050	.23.18	.5092	7.360	3.380	2.177	.4832	.1138
2.55	.5415	.1	.1246	.4347	.2465	2.763	1.84170	.40.280	.23.09	.5083	7.420	3.392	2.187	.4793	.1130
2.56	.5332	.1	.1232	.4328	.2446	2.789	1.84483	.40.509	.22.99	.5074	7.479	3.403	2.198	.4754	.1122
2.57	.5250	.1	.1218	.4309	.2427	2.815	1.84790	.40.736	.22.91	.5065	7.539	3.415	2.208	.4715	.1113
2.58	.5169	.1	.1205	.4289	.2408	2.842	1.85103	.40.963	.22.81	.5056	7.599	3.426	2.218	.4676	.1105
2.59	.5080	.1	.1182	.4271	.2389	2.869	1.85410	.41.189	.22.71	.5047	7.659	3.438	2.228	.4639	.1097
2.60	.5012	.1	.1179	.4252	.2371	2.896	1.85714	.41.415	.22.62	.5039	7.720	3.449	2.238	.4601	.1089
2.61	.4905	.1	.1166	.4233	.2353	2.923	1.86017	.41.641	.22.53	.5030	7.781	3.460	2.249	.4564	.1081
2.62	.4829	.1	.1153	.4214	.2334	2.950	1.86326	.41.867	.22.43	.5021	7.842	3.471	2.259	.4526	.1074
2.63	.4754	.1	.1141	.4194	.2314	2.979	1.86616	.42.086	.22.33	.5013	7.903	3.483	2.269	.4489	.1066
2.64	.4688	.1	.1129	.4177	.2294	3.007	1.86913	.42.307	.22.26	.5005	7.963	3.494	2.280	.4452	.1058
2.65	.4639	.1	.1115	.4159	.2280	3.036	1.87208	.42.529	.22.17	.4996	8.026	3.505	2.290	.4416	.1051
2.66	.4588	.1	.1104	.4151	.2257	3.064	1.87501	.42.750	.22.08	.4988	8.088	3.516	2.301	.4379	.1043
2.67	.4538	.1	.1091	.4122	.2236	3.094	1.87792	.42.968	.22.00	.4980	8.150	3.527	2.311	.4343	.1036
2.68	.4489	.1	.1079	.4104	.2216	3.123	1.88081	.43.187	.21.91	.4972	8.213	3.537	2.322	.4307	.1028
2.69	.4432	.1	.1062	.4086	.2196	3.152	1.88368	.43.405	.21.82	.4964	8.275	3.548	2.332	.4271	.1021
2.70	.4395	.1	.1050	.4066	.2176	3.183	1.88683	.43.621	.21.74	.4956	8.338	3.559	2.343	.4236	.1014
2.71	.4362	.1	.1044	.4051	.2157	3.213	1.88936	.43.838	.21.65	.4949	8.401	3.570	2.354	.4201	.1007
2.72	.4345	.1	.1033	.4033	.2137	3.244	1.89218	.44.053	.21.57	.4941	8.465	3.580	2.364	.4198	.1000
2.73	.4324	.1	.1022	.4015	.2118	3.275	1.89547	.44.267	.21.49	.4933	8.528	3.591	2.375	.4151	.9929
2.74	.4309	.1	.1010	.4008	.2098	3.306	1.89775	.44.481	.21.41	.4926	8.592	3.601	2.386	.4097	.9890
2.75	.4298	.1	.9994	.3980	.2072	3.338	1.90051	.44.694	.21.32	.4918	8.656	3.612	2.397	.4062	.9792
2.76	.4291	.1	.9985	.3963	.2052	3.370	1.90325	.44.906	.21.24	.4911	8.721	3.622	2.407	.4028	.9724
2.77	.4288	.1	.9978	.3945	.2032	3.402	1.90505	.45.117	.21.16	.4903	8.785	3.633	2.418	.3994	.9658
2.78	.4284	.1	.9971	.3927	.2012	3.432	1.90683	.45.327	.21.08	.4896	8.849	3.643	2.429	.3961	.9601
2.79	.4280	.1	.9965	.3911	.1992	3.467	1.90853	.45.537	.20.99	.4887	8.915	3.653	2.440	.3928	.9536
2.80	.4245	.1	.9962	.3894	.1974	3.671	1.92214	.46.778	.20.54	.4847	9.310	3.714	2.507	.3733	.9447

REPORT 1135—NATIONAL ADVISORY COMMITTEE FOR AERONAUTICS

EQUATIONS, TABLES, AND CHARTS FOR COMPRESSIBLE FLOW

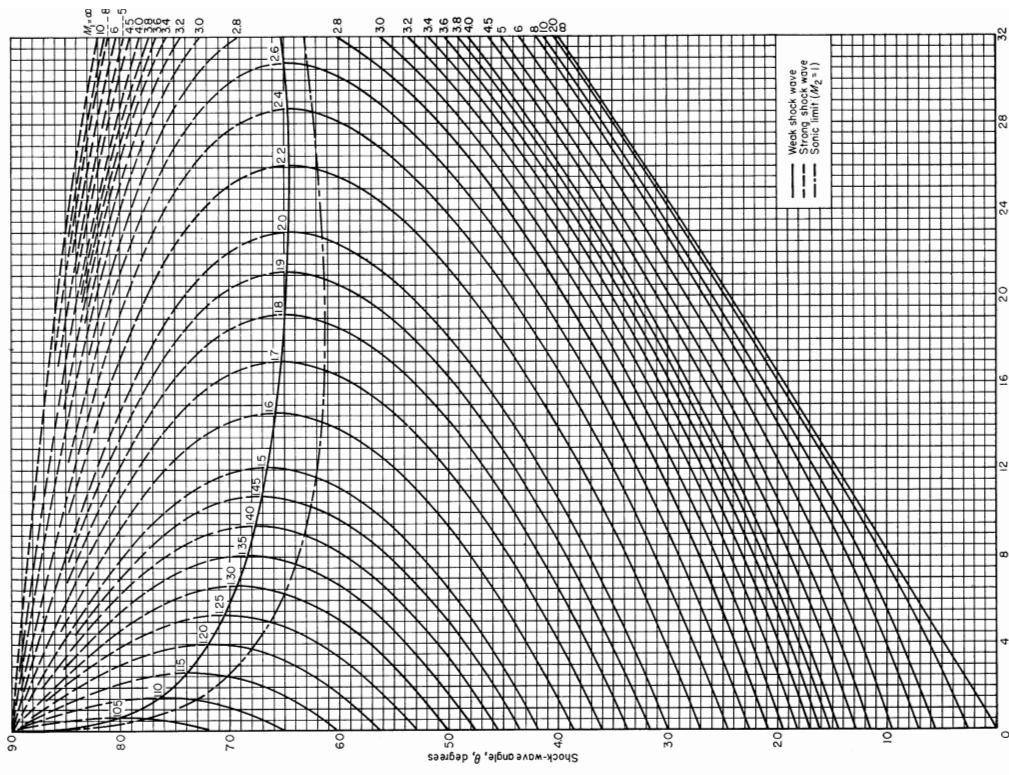


CHART 2.—Variation of shock-wave angle with flow-deflection angle for various upstream Mach numbers. Perfect gas, $\gamma = 7/5$.

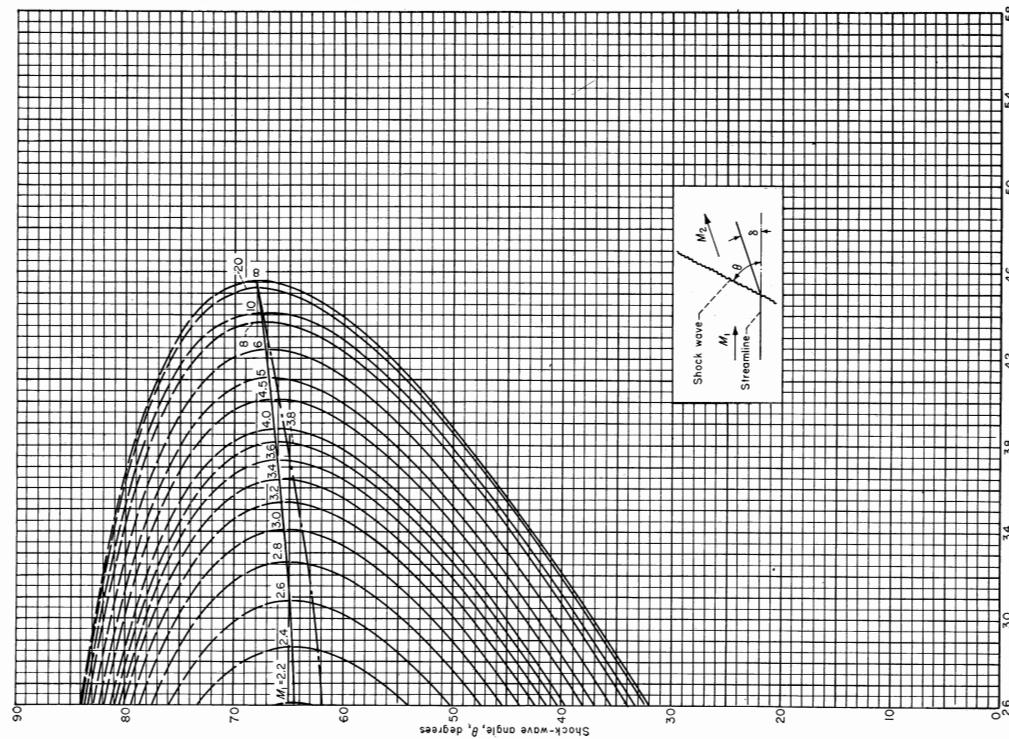


CHART 2.—Continued