

Name: Vorname: Punkte:

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

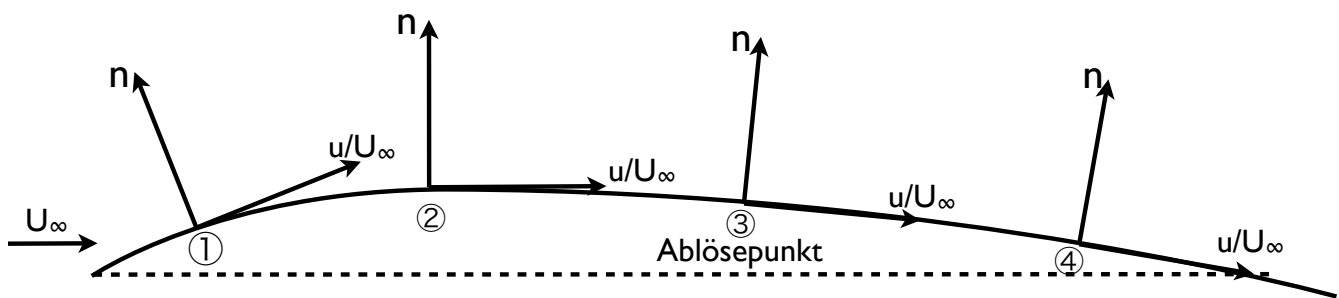
KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE

Fragenteil

Bitte direkt auf die Angabe schreiben!

- 1) Wie lautet die allgemeine Definition einer Stromlinie? (1P)

- 2) Skizzieren Sie an den Positionen 1-4 das Geschwindigkeitsprofil jeweils in einem lokalen Koordinatensystem (4P).

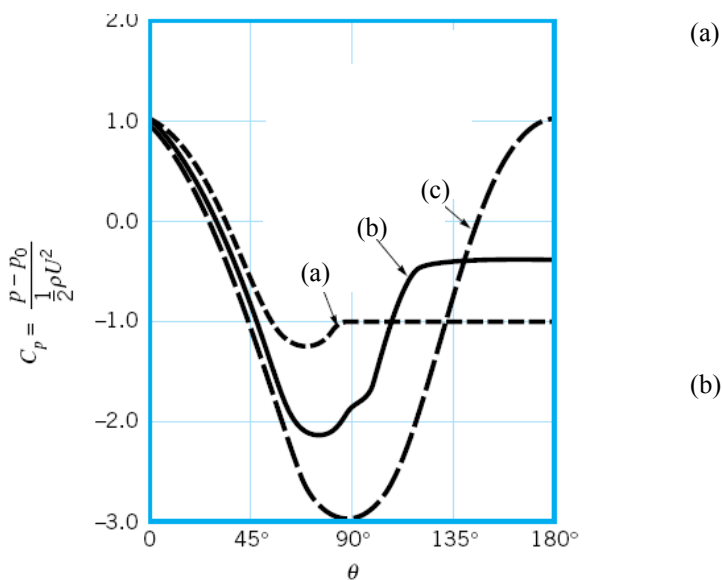


Wie groß ist die Wandschubspannung am Ablösepunkt 3 und welches Vorzeichen besitzt Sie am Punkt 4? (1P)

- 3) Wie hoch maximal kann man mit einem Strohhalm aus einem Gefäß Wasser saugen? Schätzen Sie ab (Rechnung! 3P).

- 4) Das Kolmogorovsche Längenmaß (Einheit m) ist definiert als: $\eta = (\nu^3/\epsilon)^{1/4}$. ν ist die kinematische Viskosität und ϵ die Dissipationsrate. Leiten Sie diesen Zusammenhang kurz mittels des Buckingham PI-Theorems her (4P).

- 5) Wie verhält sich der Druck in wandnormaler Richtung in einer laminaren Grenzschicht? (1P)
- 6) Skizzieren Sie den Druckverlauf in der Mitte eines Rohres der Länge L als Funktion der Stromabkoordinate x . Die Strömung erfolge gleichmäßig (2P).
- 7) Folgendes Diagramm zeigt den Druckbeiwert einer Zylinderumströmung entlang der Oberfläche für eine reibungsbehaftete turbulente, eine laminare, sowie eine reibungsfreie Umströmung. Welche der Kurven gehört zu welcher Umströmung? Erklären Sie **stichpunktartig** den beobachteten Unterschied. (9P)



(c)

- 8) Wie lautet die dimensionslose Form der idealen Gasgleichung? Referenzgrößen sind ρ_∞ , u_∞ , T_∞ . R ist konstant. (3P)

Name:
Vorname:
Matr.-Nr.:

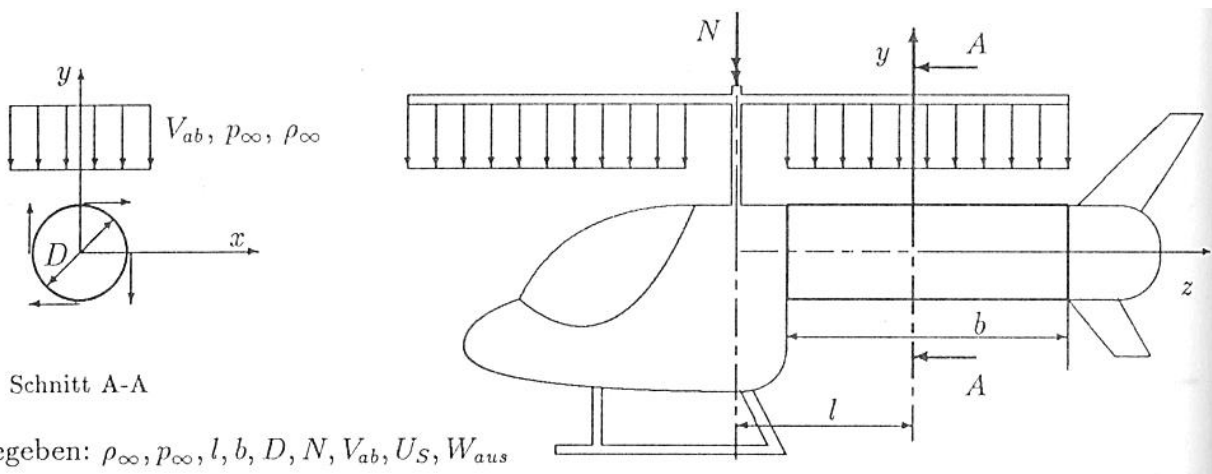
MB-DI / MB-DII / IP-DII / WIW-DII
BSc-MB / BSc-MBD / BSc-BIBME

Aufg.	Punkte
1	
2	
3	
Σ	

KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE

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

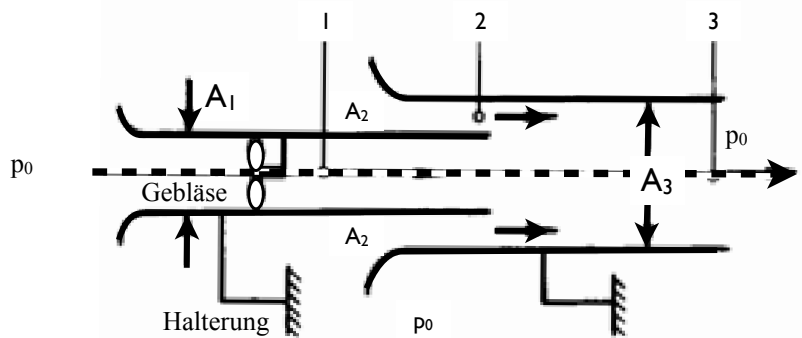
- 1) Um das Moment N des Rotors auszugleichen, wird Luft in Umfangsrichtung ausgeblasen (siehe Abbildung links). Die Umströmung des Heckauslegers (Länge b) mit Kreisquerschnitt (Durchmesser D) erfolgt durch den Abwind des Rotors mit Geschwindigkeit V_{ab} und erzeugt eine Kraft F zum Momentenausgleich. Die Strömungsverhältnisse in der x - y -Ebene (Schnitt A-A) sollen **potentialtheoretisch** (eben, stationär, inkompressibel) untersucht werden. Modellieren Sie die Strömung um den Heckausleger mittels einer Translationsströmung mit Geschwindigkeit V_{ab} , einem Dipol mit Stärke M und einem Potentialwirbel (Zirkulation Γ)



- Skizzieren Sie qualitativ das Stromlinienbild (Symmetrie, Staupunkte, Staupunktstromlinie). Geben Sie dann das komplexe Potential an. Ist Γ positiv oder negativ?
- Bestimmen Sie die Stromfunktion (jeweils in kartesischen und in Polarkoordinaten) der Strömung und berechnen Sie nun die Geschwindigkeitskomponenten w_ϕ, w_r .
- Wie groß ist die Dipolstärke M ?
- Wie groß ist die Luftkraft in y -Richtung (Begründung)? In welche Richtung wirkt die resultierende Kraft F und wie groß ist diese, falls Momentengleichgewicht herrscht (mittlerer Hebelarm l). Wie groß ist die Zirkulation Γ ?
- Bestimmen Sie Ort und Größe des minimalen Druckes und der maximalen Geschwindigkeit auf der Kreiskontur ($|\Gamma| < 2\pi V_{ab} D$)

Hinweis: $w_\phi = -\partial\psi/\partial r, w_r = (1/r) \partial\psi/\partial\phi$

2) Gegeben ist folgende Freistrah-Apparatur (Rohre), die über ein Gebläse angetrieben wird, welches den konstanten Volumenstrom dV_2/dt durch den ringförmigen Einlass mit Fläche A_2 bei 2 saugt. Die Strömung sei jeweils inkompressibel und homogen, Verluste werden vernachlässigt. Das Gebläse saugt Luft aus dem freien Raum mit Druck p_0 an.

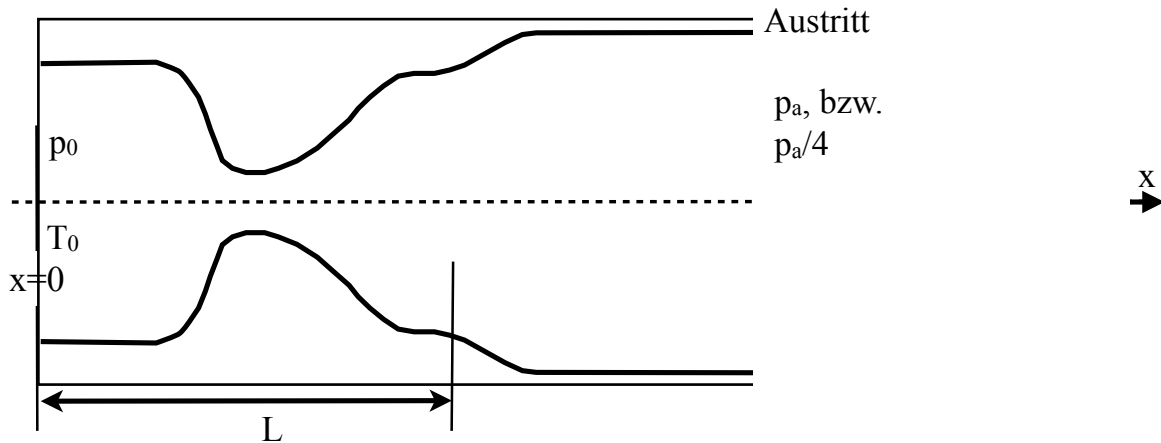


Gegeben: $A_1=0.1\text{m}^2$, $A_2=0.2\text{m}^2$, p_0 , $dV_2/dt=4\text{m}^3/\text{s}$, $\rho=1.25\text{kg}/\text{m}^3$, $p_0=100000\text{ Pa}$

- Bestimmen Sie die Geschwindigkeit u_2 und den Druck p_2 (Formel).
- Bestimmen Sie u_1 als Funktion von u_2 . Wählen Sie hierzu ein geeignetes Kontrollvolumen. Wie groß ist u_3 ? Hinweise: 1) Der Druck über die gesamte Fläche bei Punkt 2 (am Austritt des Gebläses), p_2 , sei konstant. 2) Um die Gleichung nach u_1 aufzulösen müssen sie zuvor quadratisch ergänzen, um die Lösung einer quadratischen Gleichung zu vermeiden. 3) Nutzen Sie a) zur Bestimmung der Druckdifferenz
- Wie groß ist die Leistung des **Gebläses**?
- Wie groß ist die Kraft auf die Gebläsestruktur (Haltekraft)?

- 3) Eine Lavaldüse erzeugt eine Machzahl am Austritt von $Ma_1=2$, bei einem Aussendruck p_a . Danach wird der Druck erniedrigt, auf $0.25p_a$, dabei bleiben die Ruhegrößen p_0 , T_0 sowie die Austrittsfläche A_E konstant, und es ergibt sich eine neue Machzahl Ma_2 . Damit keine Stöße auftreten, muss das Verhältnis aus Austrittsfläche A_E und engstem Querschnitt A^*_1 verändert werden, so dass sich eine neue kritische Fläche A^*_2 ergibt.

Gegeben: $\gamma=1.4$, $Ma_1=2$, $p_0 = 100000\text{Pa}$. Alle Formeln die benutzt werden bitte angeben!



- Wie groß ist das Verhältnis der kritischen Flächen A^*_2 / A^*_1 , wie groß ist p_a (Hinweis: bestimmen Sie zuerst Ma_2)?
- Nehmen Sie nun ein Flächenverhältnis von $A_E / A^*_1=2.5$ an. Für welchen Aussendruck liegt der Stoß genau am Austritt?
- Nachdenkfrage: Wie groß muss p_a sein, falls der Querschnitt nicht veränderlich ist und keine Stöße auftreten sollen, falls Ma_2 am Austritt vorliegt?

TABLE I.—SUBSONIC FLOW

[illegible]

TABLE II.—SUPERSONIC FLOW
 $\gamma = 7/5$

[illegible] $y = 7$ [illegible]

EQUATIONS, TABLES, AND CHARTS FOR COMPRESSIBLE FLOW

TABLE II.—SUPERSONIC FLOW—Continued

 $\gamma=7/5$

M or M_1	$\frac{p}{p_1}$	$\frac{\rho}{\rho_1}$	$\frac{T}{T_1}$	β	$\frac{q}{p_1}$	$\frac{A}{A^*}$	$\frac{V}{a^*}$	ν	μ	M_2	$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{\rho_2}{\rho_1}$	$\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{P_{02}}{P_{01}}$	$\frac{p_1}{p_{12}}$
2.15	.1011	.1946	.5196	1.903	.3272	1.919	1.69774	30.425	27.72	.5540	5.226	2.882	1.813	.6511	.1553
2.16	.9956	—	.1925	.5173	.3252	1.935	1.70183	30.689	27.58	.5525	5.277	2.896	1.822	.6464	.1540
2.17	.9802	—	.1903	.5150	.3231	1.953	1.70599	30.951	27.44	.5511	5.327	2.910	1.831	.6419	.1527
2.18	.9649	—	.1882	.5127	.3210	1.970	1.70992	31.212	27.30	.5498	5.378	2.924	1.839	.6373	.1514
2.19	.9500	—	.1861	.5104	.3189	1.987	1.71393	31.473	27.17	.5484	5.429	2.938	1.848	.6327	.1502
2.20	.9352	—	.1841	.5081	.3169	2.005	1.71791	31.732	27.04	.5471	5.480	2.951	1.857	.6281	.1489
2.21	.9207	—	.1820	.5059	.3148	2.023	1.72187	31.991	26.90	.5457	5.531	2.965	1.866	.6236	.1476
2.22	.9064	—	.1800	.5036	.3127	2.041	1.72579	32.250	26.77	.5444	5.583	2.978	1.875	.6191	.1464
2.23	.8923	—	.1780	.5014	.3106	2.059	1.72970	32.507	26.64	.5431	5.636	2.992	1.883	.6145	.1452
2.24	.8785	—	.1760	.4991	.3085	2.078	1.73357	32.763	26.51	.5418	5.687	3.005	1.892	.6100	.1440
2.25	.8648	—	.1740	.4969	.3065	2.096	1.73742	33.018	26.39	.5406	5.740	3.019	1.901	.6055	.1428
2.26	.8514	—	.1721	.4947	.3044	2.115	1.74125	33.273	26.26	.5393	5.792	3.032	1.910	.6011	.1417
2.27	.8382	—	.1702	.4925	.3023	2.134	1.74504	33.527	26.14	.5381	5.845	3.045	1.919	.5966	.1405
2.28	.8251	—	.1683	.4903	.3003	2.154	1.74882	33.780	26.01	.5368	5.898	3.058	1.929	.5921	.1394
2.29	.8123	—	.1664	.4881	.2982	2.173	1.75257	34.032	25.89	.5356	5.951	3.071	1.938	.5877	.1382
2.30	.7997	—	.1646	.4859	.2961	2.193	1.75629	34.283	25.77	.5344	6.005	3.085	1.947	.5833	.1371
2.31	.7873	—	.1628	.4837	.2941	2.213	1.75999	34.533	25.65	.5332	6.059	3.098	1.956	.5789	.1360
2.32	.7751	—	.1609	.4816	.2920	2.233	1.76366	34.783	25.53	.5321	6.113	3.110	1.965	.5745	.1349
2.33	.7631	—	.1592	.4794	.2900	2.254	1.76731	35.031	25.42	.5309	6.167	3.123	1.974	.5702	.1338
2.34	.7512	—	.1574	.4773	.2879	2.274	1.77093	35.279	25.30	.5297	6.222	3.136	1.984	.5658	.1328
2.35	.7396	—	.1556	.4752	.2859	2.295	1.77453	35.526	25.18	.5286	6.276	3.149	1.993	.5615	.1317
2.36	.7281	—	.1539	.4731	.2839	2.316	1.77811	35.771	25.07	.5275	6.331	3.162	2.002	.5572	.1307
2.37	.7168	—	.1522	.4709	.2818	2.338	1.78166	36.017	24.96	.5264	6.386	3.174	2.012	.5529	.1297
2.38	.7057	—	.1505	.4688	.2798	2.359	1.78519	36.261	24.85	.5253	6.442	3.187	2.021	.5486	.1286
2.39	.6948	—	.1488	.4668	.2778	2.381	1.78869	36.504	24.73	.5242	6.497	3.199	2.031	.5444	.1276
2.40	.6840	—	.1472	.4647	.2758	2.403	1.79218	36.746	24.62	.5231	6.553	3.212	2.040	.5401	.1266
2.41	.6734	—	.1456	.4626	.2738	2.425	1.79565	36.988	24.52	.5221	6.609	3.224	2.050	.5359	.1257
2.42	.6630	—	.1439	.4606	.2718	2.448	1.79907	37.229	24.41	.5210	6.666	3.237	2.059	.5317	.1247
2.43	.6527	—	.1424	.4585	.2698	2.471	1.80246	37.469	24.30	.5200	6.722	3.249	2.069	.5276	.1237
2.44	.6425	—	.1408	.4565	.2678	2.494	1.80587	37.708	24.19	.5189	6.779	3.261	2.079	.5234	.1228
2.45	.6327	—	.1392	.4544	.2658	2.517	1.80924	37.946	24.09	.5179	6.836	3.273	2.088	.5193	.1218
2.46	.6229	—	.1377	.4524	.2639	2.540	1.81258	38.183	23.99	.5169	6.894	3.285	2.098	.5152	.1209
2.47	.6133	—	.1362	.4504	.2619	2.564	1.81591	38.420	23.88	.5159	6.951	3.298	2.108	.5111	.1200
2.48	.6038	—	.1346	.4484	.2599	2.588	1.81921	38.655	23.78	.5149	7.009	3.310	2.118	.5071	.1191
2.49	.5945	—	.1332	.4464	.2580	2.612	1.82248	38.890	23.68	.5140	7.067	3.321	2.128	.5030	.1182
2.50	.5853	—	.1317	.4444	.2561	2.637	1.82574	39.124	23.58	.5130	7.125	3.333	2.138	.4990	.1173
2.51	.5762	—	.1302	.4425	.2541	2.661	1.82898	39.357	23.48	.5120	7.183	3.345	2.147	.4950	.1164
2.52	.5674	—	.1286	.4405	.2522	2.686	1.83219	39.589	23.38	.5111	7.242	3.357	2.157	.4911	.1155
2.53	.5586	—	.1274	.4386	.2503	2.712	1.83538	39.820	23.28	.5102	7.301	3.369	2.167	.4871	.1147
2.54	.5500	—	.1260	.4366	.2484	2.737	1.83855	40.050	23.18	.5092	7.360	3.380	2.177	.4832	.1138
2.55	.5415	—	.1246	.4347	.2465	2.763	1.84170	40.280	23.09	.5083	7.420	3.392	2.187	.4793	.1130
2.56	.5332	—	.1232	.4328	.2446	2.789	1.84483	40.509	22.99	.5074	7.479	3.403	2.198	.4754	.1122
2.57	.5250	—	.1218	.4309	.2427	2.815	1.84794	40.736	22.91	.5065	7.539	3.415	2.208	.4715	.1113
2.58	.5169	—	.1205	.4289	.2408	2.842	1.85103	40.963	22.81	.5056	7.599	3.426	2.218	.4677	.1105
2.59	.5090	—	.1192	.4271	.2389	2.869	1.85410	41.189	22.71	.5047	7.659	3.438	2.228	.4639	.1097
2.60	.5012	—	.1179	.4252	.2371	2.896	1.85714	41.415	22.62	.5039	7.720	3.449	2.238	.4601	.1089
2.61	.4935	—	.1166	.4233	.2353	2.923	1.86017	41.639	22.53	.5030	7.781	3.460	2.249	.4564	.1081
2.62	.4859	—	.1153	.4214	.2335	2.951	1.86318	41.863	22.44	.5022	7.842	3.471	2.259	.4526	.1074
2.63	.4784	—	.1140	.4196	.2317	2.979	1.86616	42.086	22.35	.5013	7.903	3.483	2.269	.4489	.1066
2.64	.4711	—	.1128	.4177	.2298	3.007	1.86913	42.307	22.26	.5005	7.965	3.494	2.280	.4452	.1058
2.65	.4639	—	.1115	.4159	.2280	3.036	1.87208	42.529	22.17	.4996	8.026	3.505	2.290	.4416	.1051
2.66	.4568	—	.1103	.4141	.2262	3.065	1.87501	42.749	22.08	.4988	8.088	3.516	2.301	.4379	.1043
2.67	.4498	—	.1091	.4122	.2245	3.094	1.87792	42.968	22.00	.4980	8.150	3.527	2.311	.4343	.1036
2.68	.4429	—	.1079	.4104	.2227	3.123	1.88081	43.187	21.91	.4972	8.213	3.537	2.322	.4307	.1028
2.69	.4362	—	.1067	.4086	.2209	3.153	1.88368	43.405	21.82	.4964	8.275	3.548	2.332	.4271	.1021
2.70	.4295	—	.1056	.4068	.2192	3.183	1.88653	43.621	21.74	.4956	8.338	3.559	2.343	.4236	.1014
2.71	.4229	—	.1044	.4051	.2174	3.213	1.88936	43.838	21.65	.4949	8.401	3.570	2.354	.4201	.1007
2.72	.4163	—	.1033	.4033	.2157	3.244	1.89218	44.053	21.57	.4941	8.465	3.580	2.364	.4166	.9998
2.73	.4102	—	.1022	.4015	.2140	3.275	1.89497	44.267	21.49	.4933	8.528	3.591	2.375	.4131	.9999
2.74	.4039	—	.1010	.3998	.2123	3.306	1.89775	44.481	21.41	.4926	8.592	3.601	2.386	.4097	.9990
2.75	.3978	—	.1004	.3980	.2106	3.338	1.90051	44.694	21.32	.4918	8.656	3.612	2.397	.4062	.9982
2.76	.3917	—	.0995	.3963	.2089	3.370	1.90325	44.906	21.24	.4911	8.721	3.622	2.407	.4028	.9974
2.77	.3858	—	.0987	.3945	.2072	3.402	1.90598	45.117	21.16	.4903	8.785	3.633	2.418	.3994	.9965
2.78	.3799	—	.0979	.3928	.2055	3.434	1.90868	45.327	21.08	.4896	8.850	3.643	2.429	.3961	.9957
2.79	.3742	—	.0971	.3911	.2038	3.467	1.91137	45.537	21.00	.4889	8.915	3.653	2.440	.3928	.9949
2.80	.3685	—	.0963	.3894	.2022	3.500	1.91404	45.746	20.92	.4882	8.980	3.664	2.451	.3895	.9941
2.81	.3629	—	.0956	.3877	.2006	3.534	1.91669	45.954	20.85	.4875	9.045	3.674	2.462	.3862	.9933
2.82	.3574	—	.0950	.3860	.1990	3.567	1.91933	46.161	20.77	.4868	9.111	3.684	2.473	.3829	.9925
2.83	.3520	—	.0943	.3844	.1973	3.601	1.92195	46.368	20.69	.4861	9.177	3.694	2.484	.3797	.9917
2.84	.3467	—	.0937	.3827	.1957	3.636	1.92455	46.573	20.62	.4854	9.243	3.704	2.495	.3765	.9909
2.85	.3415	—	.0932	.3810	.1941	3.671	1.92714	46.778	20.54	.4847	9.310	3.714	2.507	.3733	.9901
2.86	.3363	—	.0926	.3794	.1926	3.706	1.92970	46.982	20.47	.4840	9.376	3.724	2.518	.3701	.9893
2.87	.3312	—	.0921	.3777	.1910	3.741	1.93225	47.185	20.39	.4833	9.443	3.734	2.529	.3670	.9885
2.88	.3263	—	.0916	.3761	.1894	3.777	1.93477	47.388	20.32	.4827	9.510	3.743	2.540	.3639	.9876
2.89	.3213	—	.0911	.3745	.1879	3.813	1.93731	47.589	20.24	.4820	9.577	3.753	2.552	.3608	.9868
2.90	.3165	—	.0906	.3729	.1863	3.850	1.93981	47.790	20.17	.4814	9.645	3.763	2.563	.3577	.9860
2.91	.3118	—	.0901	.3712	.1848	3.887	1.94230</								