

物理習題集

上 册

西安交通大学物理教研組編

西安交通大学

1960年2月

物理习题集附录

(1) 物理常数

万有引力恒量	$G = 6.670 \times 10^{-11} \text{米}^3/\text{千克} \cdot \text{秒}^2 = 6.670 \times 10^{-8} \text{厘米}^3/\text{克} \cdot \text{秒}^2$
重力加速度	$g = 980.655 \text{厘米}/\text{秒}^2$
地球的平均半径	$R_e = 6370 \text{千米}$
地球的质量	$M_e = 5.96 \times 10^{27} \text{克}$
太阳的半径	$R_s = 696000 \text{千米}$
太阳的质量	$M_s = 1.97 \times 10^{33} \text{克}$
地日平均距离	$d = 1.49 \times 10^8 \text{千米}$
气体普适恒量	$R = 0.820 \text{大气压} \cdot \text{升}/\text{度} \cdot \text{克分子} = 8.314 \text{焦耳}/\text{度} \cdot \text{克分子}$ $= 8.314 \times 10^7 \text{尔格}/\text{度} \cdot \text{克分子}$
亚佛伽德罗常数	$N_o = 6.0228 \times 10^{23}/\text{克分子}$
玻耳兹曼恒量	$k = 1.38 \times 10^{-16} \text{尔格}/\text{度}$
普朗克恒量	$h = 6.624 \times 10^{-27} \text{尔格} \cdot \text{秒}$
真空电常数	$\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} (= 1/4\pi \times 8.98776 \times 10^9) \text{法拉}/\text{米}$
真空磁常数	$\mu_o = 12.56 \times 10^{-7} (= 4\pi \times 10^{-7}) \text{亨利}/\text{米}$
光速	$c = 2.99776 \times 10^8 \text{米}/\text{秒}$
里德堡常数	$R = 109677.581/\text{厘米}$
电子电荷	$e = 1.6030 \times 10^{-19} \text{库仑} = 4.8025 \times 10^{-10} \text{静电单位}$ $= 1.6030 \times 10^{-20} \text{电磁单位}$
电子质量	$m = 9.1066 \times 10^{-31} \text{千克}$
电子荷质比	$e/m = 1.7592 \times 10^{11} \text{库仑}/\text{千克}$
质子质量	$M_p = 1.007593 \text{原子质量单位} = 1.67248 \times 10^{-27} \text{千克}$
中子质量	$M_n = 1.008928 \text{原子质量单位} = 1.67482 \times 10^{-27} \text{千克}$

下述各种物理量的量值见教研组所编物理学(括号内为页数)

气体定容热容量(2-20)

各种气体的临界温度、临界比容和临界压强(2-68)

各种气体的范德瓦耳斯修正值(2-72)

各种气体的焦耳——汤姆孙最高转换温度(2-75)

气体、液体、固体中的声速 (3-22)
 常遇声音的声强级 (3-29)
 各种材料的吸音系数 (3-30)
 电介质的相对介电系数 (4-51)
 导体的电阻率和电阻温度系数 (4-69)
 超导元素的转变温度 (4-70)
 各种金属的逸出功 (4-84, 7-18)
 各种元素的电化当量 (4-94)
 各种离子的迁移率 (4-96)
 顺磁质和抗磁质的相对导磁系数 (4-159)
 电磁波谱 (4-240)
 无线电波的波段 (4-240)
 各种物质对不同波长的折射率 (5-6)
 几种材料表面的黑度 (7-6)
 各种金属的红限 (7-16)
 固体原子热容量 (10-8)
 原子核的结合能 (11-22)

(2) 单位换算

1 米 = 10^3 厘米 = 10^5 毫米 = 10^6 微米
 1 升 = 10^3 厘米³
 1 弧度 = $57^{\circ}17'45'' = 57.2958^{\circ}$
 $1^{\circ} = 0.017453$ 弧度
 $1' = 0.000291$ 弧度
 $1'' = 0.000048$ 弧度
 1 标准大气压 = 760 毫米汞高 = 1.013×10^6 达因/厘米²
 1 毫米汞高 = 0.001316 标准大气压 = 1333 达因/厘米²
 1 卡 = 4.186 焦耳 = 4.186×10^7 尔格
 1 大气压 · 升 = 101.3 焦耳 = 24.2 卡
 1 电子伏特 = 1.602×10^{-19} 焦耳 = 1.602×10^{-12} 尔格
 1 瓦特 = 1 焦耳/秒 = 10^7 尔格/秒
 1 千瓦小时 = 3.6×10^3 焦耳 = 3.6×10^{13} 尔格
 1 匹马力 = 746 瓦特
 1 原子质量单位 = 1.660×10^{-24} 克
 * $\ln N = 2.3026 \lg N$
 * $\lg N = 0.43429 \ln N$
 电学量单位换算见教研组编物理学 4-253 页

(3) 对 数

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		0000	3010	4771	6021	6990	7782	8451	9031	9542
1	0000	0414	0792	1139	1461	1761	2041	2304	2553	2788
2	3010	3222	3424	3617	3802	3979	4150	4314	4472	4624
3	4771	4914	5051	5185	5315	5441	5563	5682	5798	5911
4	6021	6128	6232	6335	6435	6532	6628	6721	6812	6902
5	6990	7076	7160	7243	7324	7404	7482	7559	7634	7709
6	7782	7853	7924	7993	8062	8129	8195	8261	8325	8388
7	8451	8513	8573	8633	8692	8751	8808	8865	8921	8976
8	9031	9085	9138	9191	9243	9294	9345	9395	9445	9494
9	9542	9590	9638	9685	9731	9777	9823	9868	9912	9956
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1819	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40	6021	6034	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

对 数

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6990	6993	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7833	7839	7846
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88	9445	9450	9455	9460	9465	9470	9474	9479	9484	9489
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9953
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996
100	0000	0004	0009	0013	0017	0022	0026	0030	0035	0039
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

(4) 三角函数

角	正弦	余弦	正切	角	正弦	余弦	正切
0°	0.000	1.000	0.000	46°	.719	.695	1.036
1°	.018	.999	.018	47°	.731	.682	1.072
2°	.035	.999	.035	48°	.743	.669	1.111
3°	.052	.999	.052	49°	.755	.656	1.150
4°	.070	.998	.070	50°	.766	.643	1.192
5°	.087	.996	.088	51°	.777	.629	1.235
6°	.105	.995	.105	52°	.788	.616	1.280
7°	.122	.993	.123	53°	.799	.602	1.327
8°	.139	.990	.141	54°	.809	.588	1.376
9°	.156	.988	.158	55°	.819	.574	1.428
10°	.174	.985	.176	56°	.829	.559	1.483
11°	.191	.982	.194	57°	.839	.545	1.540
12°	.208	.978	.213	58°	.848	.530	1.600
13°	.225	.974	.231	59°	.857	.515	1.664
14°	.242	.970	.249	60°	.866	.500	1.732
15°	.259	.966	.268	61°	.875	.485	1.804
16°	.276	.961	.287	62°	.883	.470	1.881
17°	.292	.956	.306	63°	.891	.454	1.963
18°	.309	.951	.325	64°	.899	.438	2.050
19°	.326	.945	.344	65°	.906	.423	2.145
20°	.342	.940	.364	66°	.914	.407	2.246
21°	.358	.934	.384	67°	.921	.391	2.356
22°	.375	.927	.404	68°	.927	.375	2.475
23°	.391	.921	.425	69°	.934	.358	2.605
24°	.407	.914	.446	70°	.940	.342	2.747
25°	.423	.906	.466	71°	.946	.326	3.904
26°	.438	.899	.488	72°	.951	.309	3.078
27°	.454	.891	.510	73°	.956	.292	3.271
28°	.470	.883	.532	74°	.961	.276	3.487
29°	.485	.875	.554	75°	.966	.259	3.732
30°	.500	.866	.577	76°	.970	.242	4.011
31°	.515	.857	.601	77°	.974	.225	4.331
32°	.530	.848	.625	78°	.978	.208	4.705
33°	.545	.839	.649	79°	.982	.191	5.145
34°	.559	.829	.675	80°	.985	.174	5.671
35°	.574	.819	.709	81°	.988	.156	6.314
36°	.588	.809	.727	82°	.990	.139	7.115
37°	.602	.799	.754	83°	.993	.122	8.144
38°	.616	.788	.781	84°	.995	.105	9.514
39°	.629	.777	.810	85°	.996	.087	11.43
40°	.643	.766	.839	86°	.998	.070	14.30
41°	.656	.755	.869	87°	.999	.052	19.08
42°	.669	.742	.900	88°	.999	.035	28.64
43°	.682	.731	.933	89°	1.000	.018	57.29
44°	.695	.719	.966	90°	1.000	.000	∞
45°	.707	.707	1.000				

(5) 定 积 分

$$f(n) = \int_0^{\infty} x^n e^{-ax^2} dx$$

n	$f(n)$	n	$f(n)$
0	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{a}}$	1	$\frac{1}{2a}$
2	$\frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{a^3}}$	3	$\frac{1}{2a^2}$
4	$\frac{3}{8} \sqrt{\frac{\pi}{a^5}}$	5	$\frac{1}{a^3}$
6	$\frac{15}{16} \sqrt{\frac{\pi}{a^7}}$	7	$\frac{3}{a^4}$

如 n 为偶数, $\int_{-\infty}^{+\infty} x^n e^{-ax^2} dx = 2f(n)$ 。

如 n 为奇数, $\int_{-\infty}^{+\infty} x^n e^{-ax^2} dx = 0$ 。

(6) 誤 差 函 数

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

級数展开式为

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(x - \frac{x^3}{3 \cdot 1!} + \frac{x^5}{5 \cdot 2!} - \frac{x^7}{7 \cdot 3!} + \dots \right)$$

誤差函数的数值

x	$\operatorname{erf}(x)$	$x \operatorname{erf}(x)$	(x)	x	$\operatorname{erf}(x)$
0.00	.000	1.00	.843	2.00	.995
0.10	.113	1.10	.880	2.10	.997
0.20	.223	1.20	.910	2.20	.998
0.30	.329	1.30	.934	2.30	.999
0.40	.428	1.40	.952	2.40	.999
0.50	.521	1.50	.966	2.50	.999
0.60	.604	1.60	.976	2.60	1.000
0.70	.678	1.70	.984	2.70	1.000
0.80	.742	1.80	.989	2.80	1.000
0.90	.797	1.90	.993	2.90	1.000

当 x 大于上表所列的数值时, 可用下列漸近展开式計算:

$$\operatorname{erf}(x) \simeq 1 - \frac{e^{-x^2}}{x\sqrt{\pi}} \left(1 - \frac{1}{2x^2} + \frac{1 \cdot 3}{(2x^2)^2} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{(2x^2)^3} + \dots \right)$$

物 理 习 题 集

上 册 目 录

	頁数
附录(1)物理常数·····	i
(2)单位换算·····	ii
(3)对数·····	iii
(4)三角函数·····	iv
(5)定积分·····	v
(6)误差函数·····	vi
(一)力学·····	1
(二)分子物理学·····	5
(三)热力学第一定律·····	9
(四)热力学第二定律·····	11
(五)真实气体·····	14
(六)机械波·····	17
(七)声学·····	20
(八)真空中的静电场·····	23
(九)静电场中的导体和电解质·····	33
(十)直流电 金属电子理论 电解·····	38
(十一)电流的磁场 磁场对电流的作用·····	50
(十二)电磁感应·····	56
(十三)电磁振荡 电磁波·····	78

(一) 力 学

1-1 力学中有那几条守恒定律，它们的适用条件是什么？

1-2 在火车中悬挂一水壶，水滴自壶中落下。设(1)火车以匀速 v 前进，(2)火车以匀加速 a 前进，分别讨论车中乘客所观察到的水滴落下的情形（空气阻力略去不计）。

1-3 火车以匀速前进时，车中小飞虫从车箱后端飞到前端是否比它在地面上飞行同样距离要来得慢些？

1-4 牛顿运动定律和机械唯物论的哲学观点有何关系？我们知道，机械唯物论是形而上学的，那末牛顿运动定律是否也是形而上学的？

1-5 说明能量、功和运动状态的关系。

1-6 物理学中的能量守恒定律和辩证唯物主义的基本观点有什么关系？

1-7 质量为 m 的小球，在重力作用下，从静止开始在空气中落下。设空气阻力 R 与速度 v 成正比，即 $R = kmv$ ，式中 k 为比例常数。求小球落下时的位置 x 及速度 v 和时间 t 的关系，并证明当 $t \rightarrow \infty$ 时，小球将以匀速 $v = g/k$ 运动。

解：按照牛顿第二运动定律，得

$$m \frac{dv}{dt} = mg - kmv,$$

或

$$\frac{dv}{g - kv} = dt.$$

积分后，得

$$\int_0^v \frac{dv}{g - kv} = \int_0^t dt,$$

或

$$-\frac{1}{k} \ln \frac{g - kv}{g} = t.$$

从上式求得

$$v = \frac{g}{k} (1 - e^{-kt}). \quad (1)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时,

$$v = \frac{g}{k}.$$

因 $v = \frac{dx}{dt}$, 故(1)式可写成

$$\frac{dx}{dt} = \frac{g}{k}(1 - e^{-kt}).$$

将上式积分, 得

$$\int_0^x dx = \int_0^t \frac{g}{k}(1 - e^{-kt}) dt,$$

或

$$x = \frac{g}{k}t + \frac{g}{k^2}(e^{-kt} - 1).$$

1-8 质量为 m 的物体, 在重力作用下, 从静止开始在阻尼媒质中下落。设媒质的阻力 R 与速度 v 的平方成正比, 即 $R = mgh^2v^2$, 式中 k 为比例常数。求物体下落时的速度 v 与时间 t 的关系。当 $t \rightarrow \infty$ 时, 速度为多少?

$$\left(v = \frac{1}{k} \tanh\left(\frac{1}{2}gt\right); v = \frac{1}{k} \right)$$

1-9 质量为 m 的炮弹(视为质点), 以初速 v_0 与水平成 α_0 角射出。如空气阻力略去不计, 求炮弹的轨迹。

$$(x = v_0 t \cos \alpha_0; y = v_0 t \sin \alpha_0 - \frac{1}{2}gt^2)$$

1-10 质量为 m 的炮弹(视为质点), 以初速 v_0 与水平成 α_0 角射出。设空气阻力为 $\vec{R} = -km\vec{g}v$, 式中 k 为常数, v 为炮弹的速度。求炮弹的轨迹。

$$\left(x = \frac{v_0 \cos \alpha_0}{kg}(1 - e^{-kgt}); y = \frac{1}{k^2g}(1 - k v_0 \sin \alpha_0)(e^{-kgt} - 1) + \frac{t}{k} \right)$$

1-11 质量相同的两个小球, 在同一直线上运动时, 作弹性碰撞, 试证: 两球碰撞后互相交换速度。

1-12 质量为 m_1 的小球, 以速度 $\vec{v}_{10}$ 垂直地与墙壁作弹性碰撞, 墙壁的质量 $m_2 \gg m_1$, 试证: 碰撞后, 小球的速度 $\vec{v}_1 = -\vec{v}_{10}$, 墙壁的速度 $\vec{v}_2 = 0$ 。

1-13 证明: 两个质量相等的弹性小球碰撞后, 在碰撞方向两小球交换速度, 在垂直于碰撞的方向两小球各保持原来的速度不变。

1-14 在伦琴射线管中, 每秒有 7×10^{15} 个电子打到金属靶极上。电子质量为 9.1×10^{-28} 克, 速度为 10^{10} 厘米/秒。求靶极受到的平均冲力。

(0.064 达因)

1-15 用作图法証明，下述两个周期相同相互垂直振动的合成是椭圆振动：

$$x = 5 \cos 2\pi \frac{t}{T},$$

$$y = 6 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{1}{8} \right).$$

解：在图1-1中， x 方向的振动用旋轉矢 AO 在 x 軸上的投影来表示， y 方向的振动用旋轉矢 OB 在 y 軸上的投影来表示。图中 0, 1, 2 等数字分别表示在 $t = 0$, $t = \frac{1}{8}T$, $t = \frac{2}{8}T$ 等时刻旋轉矢的位置。从图中可看出，合成的旋轉矢应为 OC ，所以质点的振动是椭圆振动。

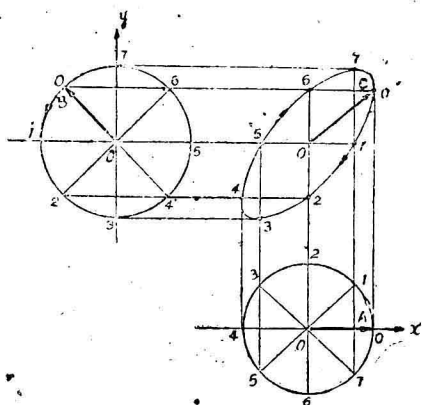


图 1-1

1-16 用作图法証明，下述两个周期相同相互垂直振动的合成是椭圆振动：

$$x = 5 \cos 2\pi \frac{t}{T},$$

$$y = 5 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{1}{4} \right).$$

1-17 証明：两个振幅相同、周期相同、初位相相同、但旋轉方向相反的振动的合成是一个諧振动。

1-18 用作图法求下述两个相互垂直振动的合振动：

$$x = 4 \cos 2\omega t,$$

$$y = 6 \cos 3\omega t.$$

1-19 一个质点同时作两个振幅相同、周期相同、相互垂直的諧振动：

$$x = A \sin 2\pi \frac{t}{T},$$

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \delta \right).$$

求质点的軌跡，設 (1) $\delta = 0$, (2) $\delta = \frac{1}{4}$, (3) $\delta = \frac{1}{8}$ 。

1-20 設大量分子作热运动时的平均速度为 $\bar{v}$ ，求分子碰撞时的平均相对速率 $\bar{v}_r$ 。（假设一个分子不动，另一分子以速度 $\vec{v}_r$ 碰撞，则 $\vec{v}_r$ 称为相对速度。）

解：两个分子碰撞时， $\vec{v}_1$ 和 $\vec{v}_2$ 间的夹角 θ 可有各种不同的数值。要求出平均相对速度，須先求出夹角的平均值。如图1-2所示，夹角在 θ 和 $\theta + d\theta$ 间的几率是

$$dW = \frac{\text{圆环面积}}{\text{整个球面}} = \frac{2\pi r \sin \theta \cdot r d\theta}{4\pi r^2} = \frac{1}{2} \sin \theta d\theta.$$

所以 θ 的平均值是

$$\bar{\theta} = \int \theta dW = \int_0^\pi \theta \cdot \frac{1}{2} \sin \theta d\theta = \frac{\pi}{2},$$

即平均夹角是 90° 。现每一分子的平均速率为 $\bar{v}$ ，由图 1-3 知平均相对速率为

$$\bar{v}_r = \frac{\bar{v}}{\cos 45^\circ} = \sqrt{2} \bar{v}.$$

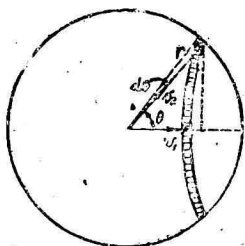


图 1-2

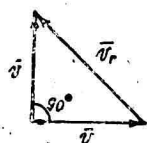


图 1-3

1-21 設行星的軌跡是一个偏心率為 ε 的橢圓，並已知在近日点时的速度为 v_1 ，求在远日点时的速度 v_2 。

$$(v_2 = \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon} v_1)$$

1-22 設質量為 m 的質点在有心力 $\vec{F} = -\frac{mP}{r^2} \vec{r}_0$ 作用下的运动軌跡是一个半長軸為 a 的橢圓，試証

$$v^2 = P \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right),$$

式中 v 为質点的速度， r 为矢徑。並証明，当質点在橢圓半短軸的端点时，速度为

$$v = \sqrt{\frac{P}{a}}.$$

1-23 証明：当行星繞太阳作椭圆运动时，从太阳（在椭圆的一个焦点上）引向行星的矢徑在相等的时间內扫过相等的面积。

1-24 証明：行星繞太阳一周的时间 T 的平方与椭圆半长軸 a 的立方成正比。

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{P} a^3$$

1-25 (a) 地球軌道椭圆的半长軸为 15×10^7 公里，周期为 365 天，計算太阳的质量。 $(1.9 \times 10^{30}$ 千克)

(b) 月球和地球間的距离为 38.6×10^4 公里，月球的周期为 27.3 天，計算地球的质量。 $(6.1 \times 10^{24}$ 千克)

1-26 設氫原子中电子作椭圆軌道运动时的半长軸 $a = 4r_1$ ， $r_1 = 0.528 \times 10^{-8}$ 厘米（称为玻耳半径），偏心率 $\varepsilon = \sqrt{3}/2$ ，求总能量 W 和动量矩 H 。再設电子作圆周运动，半径 $r = 4 \times 0.528 \times 10^{-8}$ 厘米，求总能量 W 和动量矩 H 。

1-27 証明：考虑到太阳本身的运动时，地球的周期应为

$$T' = \frac{2\pi a^{3/2}}{\sqrt{G(M+m)}}$$

式中 a 为軌道椭圆的半长軸， G 为引力恆量， M 和 m 分别为太阳和地球的质量。

(二) 分子物理学

2-1 說明分子物理学和热力学的研究对象、研究方法及其相互关系。

2-2 什么叫平衡状态？为什么我們要研究气体的平衡状态？

2-3 說明門捷列夫——克拉珀龍气体状态方程（包括方程中各量的单位）及其适用条件。

2-4 4 千克氧，貯在容积为 2 米³ 的瓶內，温度为 27°C，分別用各种不同单位的 R 值計算压强。

2-5 在压强为 380 毫米永高及温度为 270°C 时，1 克氮（ $\mu = 28$ ）的体积为若干升？

2-6 一容器內有装氧气 100 克，压强为 10 大气压，温度为 47°C。因

容器漏气，經若干時間后，压强降到原来的 $5/8$ ，溫度降到 27°C 。問 (1) 容器的容积多大？(2) 漏了多少氧气？

2-7 在推导压强基本公式 $p = \frac{2}{3} n \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right)$ 时，如果考虑到分子間的相互碰撞，是否会影响結果？

2-8 从分子运动的观点来看，溫度的意义是什么？如有平动动能相等的二个分子，經過碰撞（彈性碰撞）后，它們的动能是否仍相等？如有平均平动动能相等的二部分分子（每部分都含有大量分子），經過碰撞后，它們的平均平动动能是否仍相等？由此看出，討論单个分子的溫度，是否有意义？

2-9 溫度高，分子的平均动能是否一定大？压强大，分子的平均平动动能是否一定大？

2-10 对一定质量的气体說，当溫度維持不变时，气体的压强随容积的减小而增大（玻义耳定律），当容积維持不变时，压强随溫度的升高而增大（查理定律）。从宏观說，这两种变化同样使压强增大，从微观說，它們是否有什么区别？

2-11 将 1 克氮气导入半徑为 10 厘米的真空球內。求 (1) 球內每单位容积的分子数；(2) 当溫度为 27°C 时，球壁上所受压强。

2-12 什么叫一种分布可能出現的几率？在平衡状态下，那种分布出現的几率最大？在受到某种条件的約束时，情形又怎样？为什么在平衡状态下，气体分子按速度的分布不是均匀分布？

2-13 討論麦克斯韦气体分子速度（及速率）分布定律公式及曲綫所表示的意义。

2-14 从麦克斯韦气体分子速度（或速率）分布定律，討論統計規律中偶然性与必然性的联系。

2-15 証明：当溫度为 T 时，气体分子的最可几速率为 $v_p = \sqrt{2kT/m}$ 。

2-16 証明：若引入相对速率 $u = v/v_p$ （气体分子的速率与最可几速率之比），則相对速率在 $(u, u+du)$ 区間內的分子数为

$$dN_u = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N e^{-u^2} u^2 du.$$

並証明：相对速率在 u_1 与 u_2 之間的分子数占总分子数的百分比为

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(u_1 e^{-u_1^2} - u_2 e^{-u_2^2} \right) + \text{erf } u_2 - \text{erf } u_1,$$

式中 $\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-x^2} dx$ 称为误差函数，可展开为级数

$$\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(x - \frac{x^3}{1!3} + \frac{x^5}{2!5} - \frac{x^7}{3!7} + \dots \right).$$

当 x 很大时，可用渐近展开式

$$\operatorname{erf} x = 1 - \frac{e^{-x^2}}{x \sqrt{\pi}} \left(1 - \frac{1}{2x^2} + \frac{1 \cdot 3}{(2x^2)^2} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{(2x^2)^3} + \dots \right).$$

对不同 x 值， $\operatorname{erf} x$ 的数值可查表（见附录）。

2-17 如果說：速率等于最可几速率的分子数最多，是否錯誤？怎样根据速率分布曲线說明速率很大或很小的分子数都很少？

2-18 設总分子数 $N = 10^6$ ，最可几速率 $v_p = 500$ 米/秒，計算在下列速率区間内的分子数：

(0—100 米/秒)，(100—200 米/秒)，(200—300 米/秒)，
(300—400 米/秒)，(400—500 米/秒)，(500—600 米/秒)，
(600—700 米/秒)，(700—800 米/秒)，(800—900 米/秒)，
(900—1000 米/秒)，(1000 米/秒 $\rightarrow \infty$)。

2-19 計算速率大于最可几速率 v_p 的分子数占总分子数的百分比。

2-20 計算平动动能大于平均平动动能的二倍的分子数占总分子数的百分比。

2-21 計算氯分子在温度为 227°C 时的最可几速率 v_p 、平均速率 $\bar{v}$ 和均方根速率 $\sqrt{\bar{v}^2}$ 。

2-22 說明玻尔兹曼正则分布定律及由此导出的 (1) 在重力場中气体分子在空間的分布，(2) 能量按自由度均分原則，(3) 諧振子的平均动能与平均位能。

2-23 从玻尔兹曼正则分布定律导出麦克斯韦速度分布定律。

2-24 利用在重力場中气体分子随高度分布的公式

$$\frac{n_z}{n_0} = e^{-\frac{mgz}{kT}},$$

或大气压强与高度关系的公式

$$\frac{P_z}{P_0} = e^{-\frac{mgz}{kT}},$$

可測定阿佛伽德罗常数 N_0 ，試說明原理。

2-25 設有一种三原子組成的气体分子，可以看作小剛体，求这种

气体在温度为 27°C 时每 1 克分子的总动能。若温度升高一度，总动能增加多少？

2-26 从玻尔兹曼正则分布定律证明：如能量 w_z 是 z 的二次函数（即 $w_z = az^2$ ， a 为一恒量），且 z 的上下限为从 0 到 ∞ 或从 $-\infty$ 到 ∞ ，则 w_z 的平均值为（参攷表附录定积分）

$$\overline{w_z} = \frac{1}{2} kT。$$

2-27 说明统计规律和起伏现象的关系。为什么起伏现象是统计规律的重要特征？

2-28 说明气体分子的平均碰撞次数和平均自由程的意义。

2-29 温度愈高，分子的平均速率愈大，每秒碰撞次数愈多，因此分子的平均自由程愈小。这话有何错误？

2-30 说明气体分子的內摩擦现象、热传导现象和扩散现象的微观本质。

2-31 计算一个氮分子的平均碰撞次数，(a) 在 300°K 和大气压下，(b) 在 300°K 和 10^{-6} 大气压下。

2-32 某种气体分子在 25°C 时的平均自由程为 2.63×10^{-7} 米。(a) 如分子的半径为 2.56×10^{-10} 米，求气体的压强。(b) 计算在 1 米路程上一个分子的碰撞次数。

2-33 氧气装在容积为一升的瓶子里，压强为 1 大气压，温度为 300°K 。(a) 求任一分子每秒钟内和其他分子的碰撞次数。(b) 每秒有几个分子撞在瓶子的单位面积上？(c) 瓶子中有多少分子？

2-34 现在可达到的高度真空约为 10^{-9} 毫米汞高。求这时单位容积中的分子数 n 及平均自由程 $\bar{\lambda}$ 。设温度为 27°C ，分子直径为 10^{-8} 厘米。

2-35 将一放电管中的气体不断抽出，若温度为 27°C ，分子直径为 3×10^{-8} 厘米，问抽到什么压强时，分子的平均自由程 $\bar{\lambda} = 2.5$ 厘米？设这时分子的平均速率 $\bar{v} = 500$ 米/秒，求一个分子每秒平均碰撞次数。

(三) 热力学第一定律

3-1 那几种能量称为物体的内能？能量从一个物体传递到另一个物体有那两种方式？怎样量度物体能量的改变？

3-2 怎样区别内能、热能和热量？

3-3 下面各种说法是否正确？(1) 物体的温度愈高，则热量愈多。(2) 物体的温度愈高，则热能愈大。(3) 物体的温度愈高，则内能愈大。

3-4 一定量的气体，在同一温度时，内能是否一定相同？对一定量的理想气体来说，则如何？

3-5 我们知道，非弹性小球碰撞时会产生热，弹性小球碰撞时则不会产生热。气体分子是弹性小球，为什么气体会有热能。

3-6 热力学第一定律怎样叙述？各量的正负号怎样规定？

3-7 说明在下列过程中 dQ 、 du 、 dA 的正负：(1) 用气筒打气；(2) 水沸腾变成水蒸汽。

3-8 热力学第一定律是否有实验根据？热力学第一定律和能量守恒定律有何关系？

3-9 什么叫似平衡过程？为什么我们要研究这种过程？

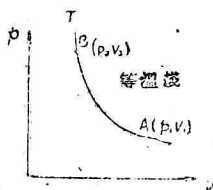


图 3-1

3-10 在图 3-1 中是一条等温线，线上每一个点代表一个平衡状态。如开始时气体处于平衡状态 P_1 、 V_1 、 T (T 为室温)，可用线上 A 点来表示。若突然将气体很快压缩至 V_2 ，等待一段时间后，温度仍恢复至室温，并达到平衡状态 P_2 、 V_2 、 T ，可用线上另一点 B 来表示。问在变化过程中任一时刻，气体是否都处于平衡状态？是否可用线上 AB 间每一个