



赫兹接触应力

——第23届亚洲物理奥林匹克竞赛实验第1题解答

翁雨燕¹ 宋峰²

(1. 苏州大学物理科学与技术学院 215006; 2. 南开大学物理科学学院 300071)

第23届亚洲物理奥林匹克竞赛的第一题,通过赫兹接触理论,将经典力学、接触力学与实验技术结合,揭示了弹性体接触行为的物理本质。依据赛会提供的参考答案,本文阐述实验题第一题的相关解答,供读者参考。

1 赛题解答分析

A. 大角度摆

根据题目要求,学生需要确定单摆(单球摆)从大角度到小角度运动中最大速度与角振幅的关系,并尽可能覆盖更大范围的角振幅。使用摆锤时,需要调整好球体位置。每个摆锤悬挂器上有两根弦线调节旋钮:z方向(上下),通过旋钮调整球的垂直位置;y方向(前后),通过旋钮调整球的水平纵向位置;x方向(左右),需移动整个摆锤悬挂器单元进行

调整(见图1)。实验任务A和B均仅使用一个摆锤,并将另一个已固定的球体安装在摆锤悬挂器的紧固螺丝头部;确保悬挂摆锤的线缆不会干扰工作摆锤的运动。

根据任务A,学生需要在不同的释放角度,记录图2所示的 $t_{3,in}$ 、 $t_{3,out}$ 和 $t_{5,in}$,完成表1。小球经过光电门所需的时间 $\Delta t = t_{3,out} - t_{3,in}$,周期 $T = t_{5,in} - t_{3,in}$,小球的最大速度也就是经过最低点的速度为 $v = \frac{d}{\Delta t}$ 。

对应地,即可绘制 $\frac{1}{\Delta t} - \sin \frac{\varphi_0}{2}$ 图,完成任务A.1,得到其斜率 $\text{grad}_{1/\Delta t} = 110.77 \text{ s}^{-1}$,如图3所示。

A.2为推导任意初始摆角下,摆球最大速度的表达式。此过程满足能量守恒,最低点的动能和释放初始位置的势能相等,即 $\frac{mv^2}{2} = mgl(1 - \cos \varphi_0) =$

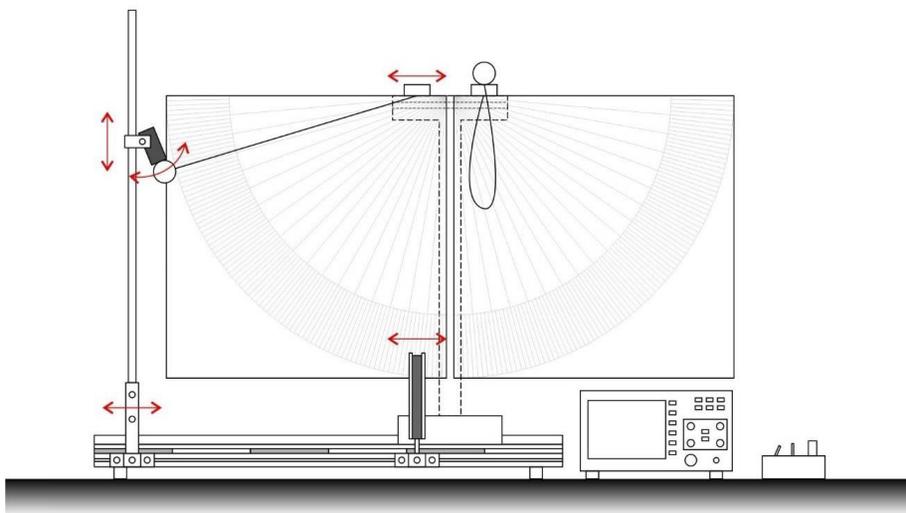


图1 大角度摆装置的示意图

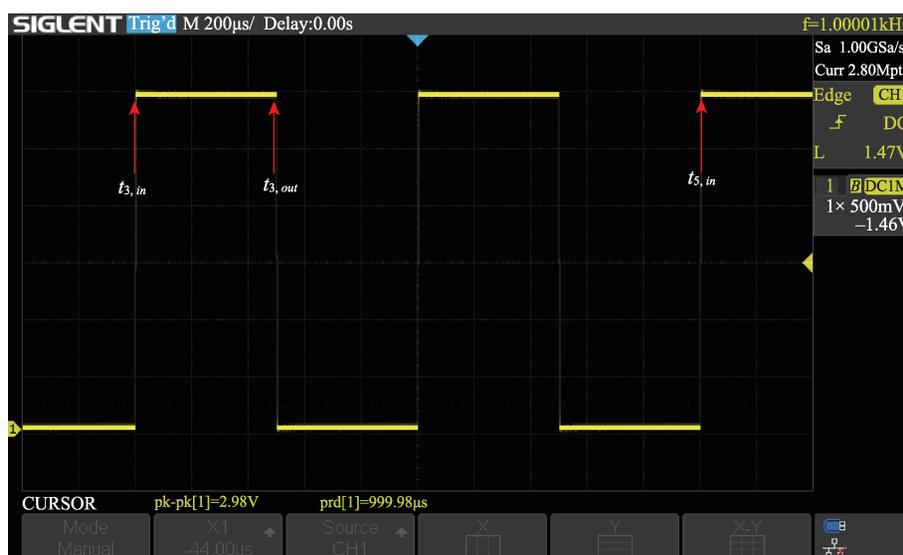


图2 摆球经过光电门时示波器上的波形显示。 $t_{3,in}$ 和 $t_{3,out}$ 对应小球第三次经过光电门时进出光电门的时间点。 $t_{5,in}$ 则为第五次进入光电门的时间点。

表1 不同释放角度,记录 $t_{3,in}$ 、 $t_{3,out}$ 和 $t_{5,in}$

No	$\varphi_0/^\circ$	$\sin \frac{\varphi_0}{2}$	$t_{3,in}/s$	$t_{3,out}/s$	$t_{5,in}/s$	$\Delta t/s$	$\frac{1}{\Delta t}/s^{-1}$	T/s $t_{5,in} - t_{3,in}$	$v/m/s$
1	77.0	0.6188	1.257570	1.272170	2.51094	0.01460	68.49	1.25337	2.174
2	70.0	0.5701	1.227325	1.243150	2.45284	0.01583	63.19	1.22552	2.006
3	65.5	0.5376	1.218315	1.234875	2.43444	0.01656	60.39	1.21612	1.917
4	60.5	0.5006	1.203485	1.221420	2.40432	0.01794	55.76	1.20083	1.770
5	56.0	0.4664	1.188010	1.207500	2.37514	0.01949	51.31	1.18713	1.629
6	48.0	0.4041	1.170770	1.192860	2.34031	0.02209	45.27	1.16954	1.437
7	41.5	0.3519	1.158360	1.183990	2.31476	0.02563	39.02	1.15640	1.238
8	36.0	0.3069	1.147050	1.176660	2.29352	0.02961	33.77	1.14647	1.072
9	31.0	0.2654	1.140020	1.174520	2.27940	0.03450	28.99	1.13938	0.9200
10	24.5	0.2107	1.135300	1.179100	2.26742	0.04380	22.83	1.13212	0.7246
11	19.0	0.1639	1.115780	1.171840	2.24334	0.05606	17.84	1.12756	0.5662
12	14.9	0.1288	1.100050	1.174300	2.22485	0.07425	13.47	1.12480	0.4275
13	9.5	0.0822	1.107750	1.221600	2.23065	0.11385	8.78	1.12290	0.2789

$2mgl \sin^2 \frac{\varphi_0}{2}$, 则 $v = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\varphi_0}{2}$ 。

而摆球经过最低点的速度 $v = \frac{d}{\Delta t}$, 其中 d 为摆

球半径 $31.75 \times 10^{-3} \text{ m}$, 所以 $\frac{1}{\Delta t} = 2\sqrt{\frac{gl}{d}} \sin \frac{\varphi_0}{2}$ 。

又有单摆周期 $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, 因此, $\frac{1}{\Delta t} =$

$$\frac{T_0 g}{\pi d} \sin \frac{\varphi_0}{2}。$$

根据 A.1 的结果 $\text{grad}_{v/\Delta t} = 110.77 \text{ s}^{-1}$, $v = d \times$

$\text{grad}_{v/\Delta t} \sin \frac{\varphi_0}{2}$, A.2 的最终表达式可以写为: $v =$

$$k_v \sin \frac{\varphi_0}{2}, k_v = 3.517 \text{ m/s}。$$

B. 摆动周期测量及拟合

题目要求测量摆球周期 T 随角度 φ_0 的变化。

小角度时, $T \approx T_0$; 大角度时, 周期展开为 $T =$

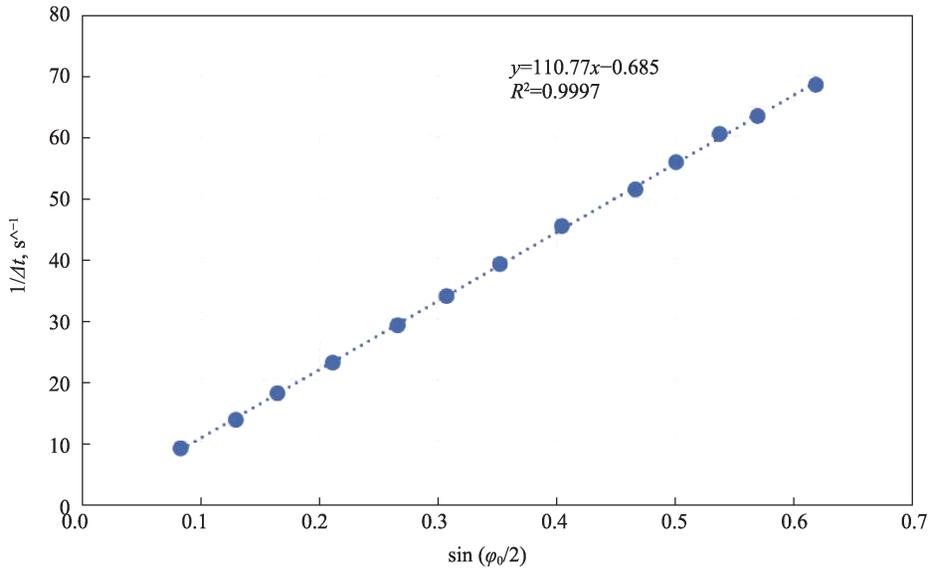


图3 拟合 $\frac{1}{\Delta t} - \sin \frac{\varphi_0}{2}$ 的斜率

$$T_0(1 + \alpha \sin^2(\varphi_0/2) + \beta \sin^4(\varphi_0/2) + \dots)$$

通过测量不同 φ_0 对应的 T , 线性化 $T - \sin^2(\varphi_0/2)$, 即可获得截距 T_0 和 α 。

在此基础上, 拟合 $T - \sin^4(\varphi_0/2)$, 即可获得 β 。

要分区域线性化拟合, 必须确定大角度和小角度范围的临界区, 此处, 代入初始摆角 $\varphi_0 = 30^\circ$, 可以算得 $\sin^4(\varphi_0/2) = 4.5 \times 10^{-3} \ll 1$, 以 30° 为分界线, 区分大角度区域和小角度区域。

在小角度摆的范围内, 如图4拟合 $T -$

$\sin^2(\varphi_0/2)$, 其截距即为 T_0 , 斜率即为 α 。

从拟合结果可知, 截距 $T_0 = 1.1267 \text{ s}$, 斜率为 $\alpha T_0 = 0.2829 \text{ s}$, 因此 $\alpha = \frac{0.2829}{1.1267} = 0.251$ 。小角度摆

的理论值 $\alpha_{theory} = \frac{1}{4}$, 百分比误差 $\varepsilon_\alpha < 1\%$ 。

大角度摆的测量结果, 见表3。

为了准确拟合 β 值, 需要对测量结果进行线性化处理, 将 Y 轴定义为 $Y = \frac{T}{T_0} - 1 - \alpha \sin^2 \frac{\varphi_0}{2}$, X 轴

定义为 $X = \sin^4 \frac{\varphi_0}{2}$, 此斜率即为 $\beta = 0.149$, 如图5所

表2 小角度摆的测量结果

No	$\varphi_0/^\circ$	$\sin \frac{\varphi_0}{2}$	$\sin^2 \frac{\varphi_0}{2}$	$t_{3,in}/s$	$t_{3,out}/s$	$t_{5,in}/s$	$\frac{T}{s}$ $t_{5,in} - t_{3,in}$	$\Delta t/s$	$\frac{1}{\Delta t}/s^{-1}$
1	35.0	0.3007	0.09042	1.153908	1.183840	2.307440	1.1535	0.02993	33.41
2	32.0	0.2756	0.07598	1.148388	1.181756	2.296584	1.1482	0.03337	29.97
3	29.0	0.2504	0.06269	1.138780	1.176372	2.282468	1.1437	0.03759	26.60
4	26.0	0.2250	0.05060	1.140252	1.182736	2.280460	1.1402	0.04248	23.54
5	23.0	0.1994	0.03975	1.133444	1.181036	2.271252	1.1378	0.04759	21.01
6	20.0	0.1736	0.03015	1.117848	1.175064	2.252636	1.1348	0.05722	17.48
7	18.0	0.1564	0.02447	1.133656	1.197872	2.267360	1.1337	0.06422	15.57
8	16.0	0.1392	0.01937	1.128688	1.204768	2.260812	1.1321	0.07608	13.14
9	14.0	0.1219	0.01485	1.131244	1.232416	2.262348	1.1311	0.10117	9.884
10	11.0	0.0958	0.00919	1.130564	1.269412	2.260456	1.1299	0.13885	7.202
11	7.0	0.0610	0.00373	1.127648	1.338152	2.255932	1.1283	0.21050	4.751

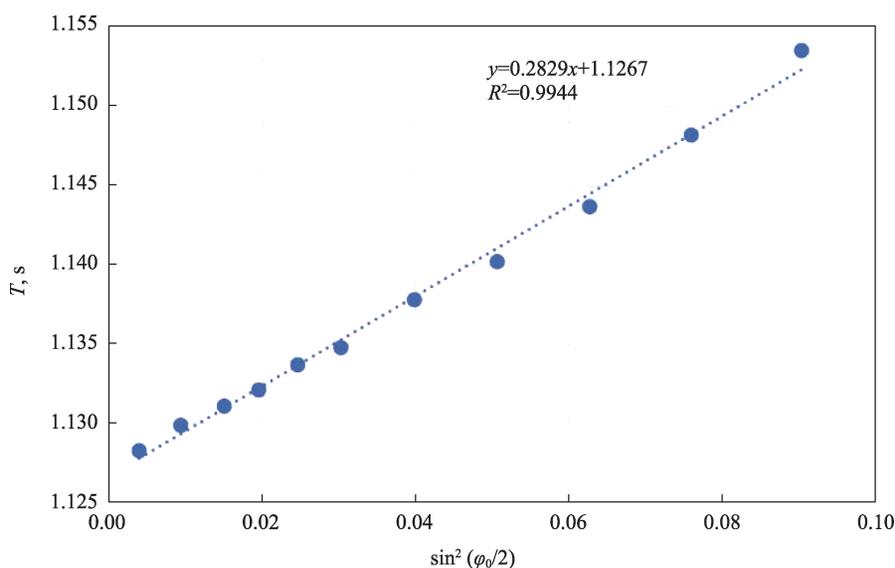


图4 $T-\sin^2(\varphi_0/2)$ 图和拟合结果

表3 大角度摆的测量结果

No	$\varphi_0/^\circ$	$t_{3,\text{in}}/s$	$t_{5,\text{in}}/s$	$\sin \frac{\varphi_0}{2}$	$\sin^2 \frac{\varphi_0}{2}$	$\sin^4 \frac{\varphi_0}{2}$	$\frac{T}{s}$ $t_{5,\text{in}} - t_{3,\text{in}}$	Y
1	77.0	1.257570	2.50900	0.6188	0.3829	0.1466	1.25143	0.0150
2	70.0	1.227325	2.45380	0.5701	0.3250	0.1056	1.22648	0.0073
3	65.5	1.218315	2.43430	0.5376	0.2890	0.08353	1.21599	0.0070
4	60.5	1.203485	2.40432	0.5006	0.2506	0.06279	1.20083	0.0031
5	56.0	1.188010	2.37514	0.4664	0.2176	0.04734	1.18713	-0.0008
6	48.0	1.170770	2.34031	0.4041	0.1633	0.02665	1.16954	-0.0028
7	41.5	1.158360	2.31476	0.3519	0.1238	0.01534	1.15640	-0.0046
8	36.0	1.147050	2.29352	0.3069	0.09420	0.00887	1.14647	-0.0060
9	31.0	1.140020	2.27940	0.2654	0.07044	0.00496	1.13938	-0.0064
10	24.5	1.135300	2.26742	0.2107	0.04440	0.00197	1.13212	-0.0063
11	19.0	1.115780	2.24334	0.1639	0.02686	0.000722	1.12756	-0.0060
12	14.9	1.100050	2.22485	0.1288	0.01658	0.000275	1.12480	-0.0058
13	9.5	1.107750	2.23065	0.0822	0.00676	0.000046	1.12290	-0.0051

示。根据理论结果, $\beta_{\text{theory}} = 0.141$, 百分比误差 $\varepsilon_\beta = 6\%$ 。

利用任务 A.1 中得到的斜率和任务 B.1 中得到的 T_0 , 求出乌兰巴托当地的重力加速度的精确数值。大钢球直径为 $d_{\text{big}} = 31.75 \times 10^{-3} \text{ m}$ 。

由任务 A.1 中, $\frac{1}{\Delta t} = 2\sqrt{\frac{gl}{d}} \sin \frac{\varphi_0}{2}$ 的拟合结果可知, $\text{grad}_{1/\Delta t} = 110.77 \text{ s}^{-1} = 2\sqrt{\frac{gl}{d}}$ 。

由任务 B.1 中, $T-\sin^2(\varphi_0/2)$ 图的拟合斜率可知,

$$T_0 = 1.1267 \text{ s} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

因此, $g_{\text{exp}} = \frac{\pi d \times \text{grad}_{1/\Delta t}}{T_0} =$

$$\frac{3.142 \times 3.175 \times 10^{-2} \times 110.77}{1.1267} = 9.808 \text{ m/s}^2$$

乌兰巴托市重力加速度的理论值为 $g_{\text{UB}} = 9.804 \text{ m/s}^2$, 百分比误差 $\varepsilon_g < 1\%$ 。

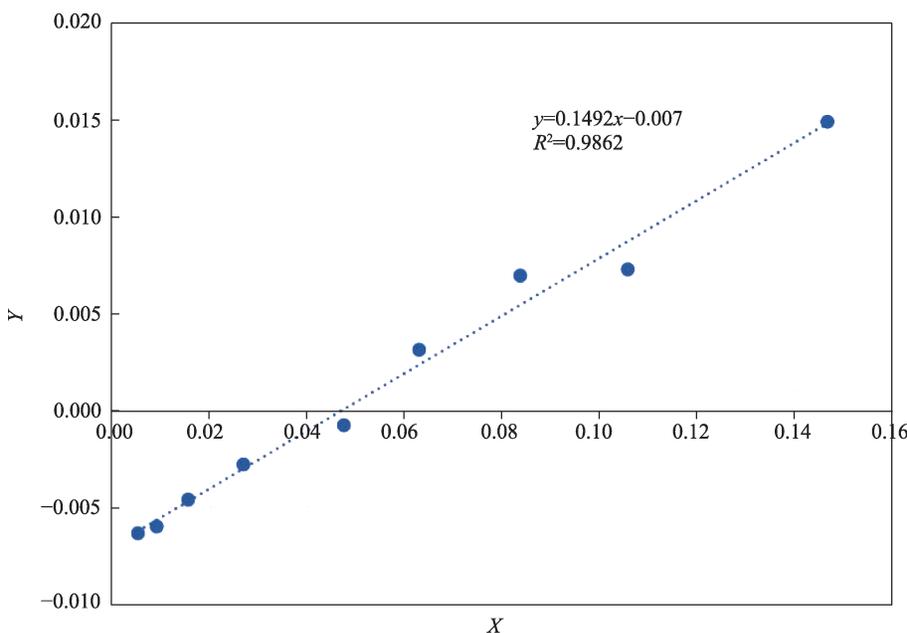


图5 $Y \cdot \sin^4(\varphi_0/2)$ 图和拟合结果

C. 碰撞行为

本任务旨在分析接触位置对2个大小相同球的碰撞行为的影响(左侧球从 $25^\circ \sim 30^\circ$ 范围内某个角度自由释放)。因此,我们需要对接触位置对碰撞行为的影响做出定性分析,从释放角度,我们可以知道小球处于小角度释放范围,周期并非常量,而是呈 $T = T_0 + \alpha T_0 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2}$ 。当两球有高度差时,碰撞造成能量衰减会最快,因此,很快两球同步运动。当两球没有高度差时,两球首次碰撞的时机将决定其碰撞后的行为。若左球在经过最低点后,首次与右球碰撞,由于进入减速阶段,重力会使得左球向相反方向运动。若左球在未到最低点时,就与右球发生首次碰撞,由于左球还处于加速阶段,重力会使得左球向相同方向运动。若左右两球等大,且在最低点相撞,撞击后左球的动能会全部传递给右球,因此完成首次碰后几乎静止。结合上述分析,C.1对应的是运动轨迹d,C.2对应的是运动轨迹c,C.3对应的是运动轨迹e,而C.4对应的是运动轨迹a。

D. 碰撞时间

在实际碰撞过程中,赫兹接触将持续一段时

间,之后两球分离,本任务要结合具体测量,通过相同大小和不同大小的球的碰撞,分析碰撞时间 τ 依赖于球的哪些参量,并研究这些依赖关系。

D.1 两球的碰撞时间 τ 满足如下方程: $\tau = A \cdot M^{\varepsilon_1} \cdot E^{\varepsilon_2} \cdot R^{\varepsilon_3} \cdot v^{\varepsilon_4}$ 。其中 A 是无量纲常数, M 为质量, E 为杨氏模量, R 为半径, v 为速度(其他如用密度、直径等类似答案均可)。根据LMT量纲分析,为确定4个指数,需实验测量1个指数。

D.2 实验相对方便改变的参量为 v 。碰撞时间的测量就成了本实验的重点,示波器采用单次触发模式,碰撞时间约为 $10^2 \mu\text{s}$ 量级。用测量结果分析 $\tau = A v^{\varepsilon_4}$ 。由任务A.2可知, $v = k_v \sin \frac{\varphi_0}{2}$, $k_v = 3.517 \text{ m/s}$ 。又已知小球质量 $m = 131.48 \text{ g}$,小球直径 $d = 31.73 \text{ mm}$,摆长 $l = 29.70 \text{ cm}$,钢铁中声速 $c = \sqrt{\frac{E'}{\rho}} = 5180 \text{ m/s}$ 。

为了准确拟合得到指数,要将结果进行对数处理,并进行线性拟合,如图6示,所获斜率即为 $\varepsilon_4 = -0.1925$,其理论值 $\varepsilon_{theory} = -0.2$ 。

根据碰撞时间公式 $\tau = A \cdot M^{\varepsilon_1} \cdot E^{\varepsilon_2} \cdot R^{\varepsilon_3} \cdot v^{\varepsilon_4}$ 的量纲关系可知,质量量纲: $0 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$,长度量纲: $0 =$

表4 碰撞时间随撞击速度的变化

$\varphi_0/^\circ$	Corrected	$v/$ m/s	$v_{1c}/$ m/s	$\tau/\mu\text{s}$	$\ln(v_{1c})$	$\ln(\tau)$
70.0	69.98	1.96	0.978	81.7	-0.0227	4.403
52.0	51.99	1.49	0.747	87.14	-0.2916	4.468
37.0	36.99	1.08	0.541	93.58	-0.6148	4.539
29.1	29.09	0.86	0.428	98.47	-0.8483	4.590
21.2	21.19	0.63	0.313	104.00	-1.1600	4.644
15.0	15.00	0.44	0.222	110.50	-1.5030	4.705
12.0	12.00	0.36	0.178	115.50	-1.7252	4.749
9.0	9.00	0.27	0.134	123.40	-2.0121	4.815
7.0	7.00	0.21	0.104	128.90	-2.2630	4.859
6.0	6.00	0.18	0.089	131.80	-2.4169	4.881
4.0	4.00	0.12	0.059	141.00	-2.8222	4.949
3.0	3.00	0.09	0.045	149.00	-3.1098	5.004
1.0	1.00	0.03	0.015	207.00	-4.2083	5.333

$-\varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4$, 时间量纲: $1 = -2\varepsilon_2 - \varepsilon_4$ 。因此由 $\varepsilon_4 = -0.2$, $\varepsilon_2 = -0.4$, $\varepsilon_3 = -0.2$, $\varepsilon_1 = 0.4$ 。因此, 碰撞时间满足 $\tau = A \cdot M^{0.4} \cdot E^{-0.4} \cdot R^{-0.2} \cdot v^{-0.2}$, A为无量纲量。代入具体实验参数, 即可得到 $A = 2.40$ 。此为D.3和D.4的相关解答。

E. 赫兹形变参量

为完成E.1~E.5的相关实验参数确定, 数据测量详见表5, 可通过相关曲线的拟合获得对应数值解。其中, Δp 为动量变化量; F_{av} 为平均力, 满足 $F_{av} =$

$$\frac{\Delta p}{\tau} = \frac{2m_1 m_2 v}{(m_1 + m_2) \tau}; \delta \text{ 为赫兹形变, } \delta = \sqrt[3]{\frac{9F_{av}^2}{16RE'^2}}; R \text{ 为}$$

赫兹等效半径, 可写为 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$; E' 为约化杨氏模

量, 其定义式为 $\frac{1}{E'} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}$, 两个相同材质

的小球可简化为 $\frac{1}{E'} = 2 \frac{1 - \nu_1^2}{E_1}$; a 为赫兹半径, 可写

为 $a = \sqrt{R\delta}$; p_0 为最大赫兹压强, 满足以下关系 $p_0 =$

$$\frac{3F_{av}}{2\pi a^2} = \frac{2}{\pi} E' \sqrt{\frac{\delta}{R}}; p_{av} \text{ 为平均压强, 可写为 } p_{av} = \frac{2}{3} p_0。$$

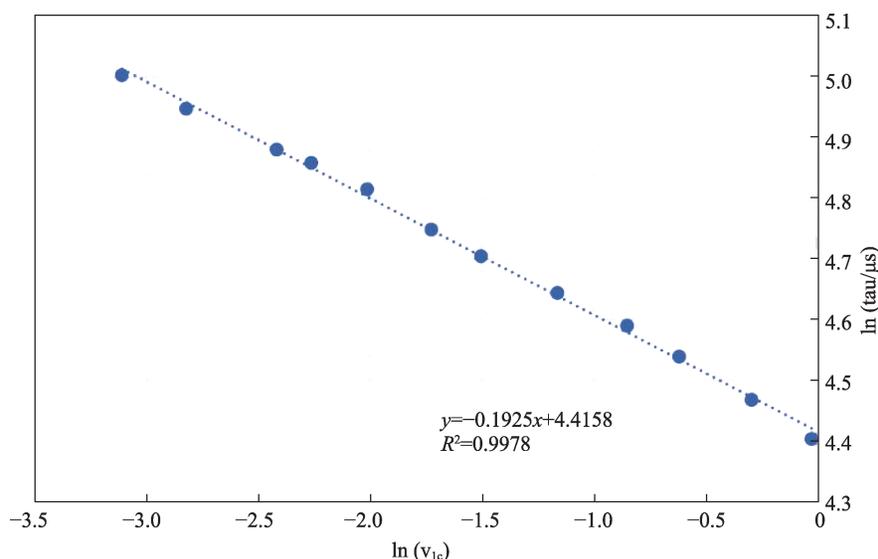


图6 $\ln \tau - \ln(v_{1c})$ 关系图

表5-1 不同初始角度 vs 平均力、赫兹形变、赫兹等效半径、最大赫兹压强表格

——两球相同

Balls	$\varphi_0/^\circ$	$v/\text{m/s}$	$\tau/\mu\text{s}$	$\Delta p/\text{Ns}$	F_{av}/N	$\delta/\mu\text{m}$	$\delta^{1.5}/\mu\text{m}^{1.5}$	$\frac{F_{av}}{\sqrt{R}}/\text{Nm}^{-0.5}$	a/mm	P_0/GPa
d/mm	70.0	1.96	81.70	0.2565	3139	39.93	252.3	1114.2	0.55	4.88
31.74	52.0	1.49	87.14	0.1960	2249	32.55	185.7	798.4	0.50	4.37
m/g	37.0	1.08	93.58	0.1419	1516	25.30	127.3	538.1	0.43	3.83
131.48	29.1	0.86	98.47	0.1123	1141	21.08	96.8	404.9	0.40	3.48
	21.2	0.63	104.00	0.0822	791	16.30	65.8	280.7	0.35	3.08
	15.0	0.44	110.50	0.0584	528	12.29	43.1	187.5	0.31	2.70
	12.0	0.36	115.50	0.0467	405	10.29	33.0	143.6	0.28	2.47
	9.0	0.27	123.40	0.0351	284	8.25	23.7	100.9	0.25	2.19
	7.0	0.21	128.90	0.0273	212	6.71	17.4	75.2	0.23	1.99
	6.0	0.18	131.80	0.0234	178	5.88	14.3	63.0	0.21	1.87
	4.0	0.12	141.00	0.0156	111	4.19	8.6	39.3	0.18	1.60
	3.0	0.09	149.00	0.0117	79	3.32	6.1	27.9	0.16	1.43
d/mm	70.0	1.958	65.43	0.1274	1947	32.02	181.2	778.1	0.44	4.87
25.42	47.1	1.362	71.20	0.0886	1245	24.24	119.4	497.4	0.38	4.2
m/g	30.1	0.909	77.27	0.0591	765	17.55	73.5	305.8	0.32	3.54
67.55	23.5	0.693	80.40	0.0451	561	13.93	52.0	224.2	0.29	3.22
	18.5	0.552	85.20	0.0359	422	11.76	40.3	168.5	0.26	2.92
	13.8	0.407	91.85	0.0265	288	9.34	28.6	115.2	0.23	2.59
	8.4	0.257	99.70	0.0167	168	6.41	16.2	67.1	0.19	2.13
d/mm	70.0	2.022	47.15	0.0497	1054	23.84	116.4	496.8	0.32	4.91
18.00	50.5	1.523	50.25	0.0374	745	19.13	83.7	351.0	0.28	4.35
m/g	37.5	1.142	53.00	0.0281	529	15.13	58.9	249.6	0.25	3.89
24.57	27.5	0.849	55.10	0.0209	379	11.70	40.0	178.5	0.22	3.47
	21.1	0.653	59.25	0.0161	271	9.68	30.1	127.7	0.2	3.11
	15.0	0.439	62.80	0.0108	172	6.89	18.1	81.0	0.18	2.72
	7.0	0.226	70.20	0.0056	79	3.97	7.9	37.3	0.13	2.04
	4.0	0.136	78.80	0.0033	42	2.68	4.4	20.0	0.1	1.63

表5-2 不同初始角度 vs 平均力、赫兹形变、赫兹等效半径、最大赫兹压强表格

——两球不同

Balls	$\varphi_0/^\circ$	$v/\text{m/s}$	$\tau/\mu\text{s}$	$\Delta p/\text{Ns}$	F_{av}/N	$\delta/\mu\text{m}$	$\delta^{1.5}/\mu\text{m}^{1.5}$	$\frac{F_{av}}{\sqrt{R}}/\text{Nm}^{-0.5}$	a/mm	P_0/GPa
$R_1, R_2/\text{mm}$	70.0	1.956	54.89	0.0809	1475	26.83	139.0	615.2	0.39	4.71
9.00	69.0	1.931	55.37	0.0799	1443	26.73	138.2	602.3	0.38	4.68
15.88	46.5	1.346	59.61	0.0557	934	20.06	89.8	389.9	0.33	4.04
$m_1, m_2/\text{g}$	45.9	1.329	60.13	0.0550	915	19.98	89.3	381.8	0.33	4.02
24.57	36.5	1.068	62.00	0.0442	713	16.55	67.3	297.4	0.3	3.7
131.18	34.2	1.002	63.92	0.0415	649	16.02	64.1	270.8	0.29	3.58
$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}/\text{mm}$	27.4	0.807	66.30	0.0334	504	13.38	49.0	210.3	0.27	3.29
5.74	26.5	0.781	67.10	0.0323	482	13.11	47.5	201.1	0.27	3.24
$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}/\text{g}$	21.5	0.636	69.46	0.0263	379	11.04	36.7	158.1	0.25	2.99
20.69	18.0	0.533	70.90	0.0221	311	9.45	29.1	129.9	0.23	2.8

2. 赛题考察点的背景应用

任务 A 通过测量 $\Delta t^{-1} - \sin(\varphi_0/2)$ 直线的斜率,间接验证能量守恒的适用性。钢球的弹性模量 ($E=200$ GPa)和泊松比 ($\nu=0.3$)是赫兹公式中等效模量 $\left(E' = \frac{E}{2(1-\nu^2)}\right)$ 的计算基础,材料弹性行为的表征决定了碰撞过程中的能量耗散与接触变形。光电门技术用于捕捉摆球通过特定位置的瞬时信号,是动力学参数测量的核心工具。任务 B.1 的周期测量需排除前两次脉冲的干扰,体现了实验设计对误差源的控制。在任务 D(碰撞时间测量)中,通过赫兹接触时间公式 $\tau \propto \left(\frac{m^{2/5}}{E^{2/5} R^{1/5} \nu^{1/5}}\right)$,分析碰撞时间与材料参数 (E, ν)、几何参数 (R)及动力学参数 (ν)的关联,体现了接触力学对实验的指导作用。示波器测量(如 7 位有效数字的时间测量)确保碰撞时间(任务 D)和光闸遮挡时间(任务 A.1)的精确性,任务 D.4

要求通过实验数据计算常数 A(需 4 位有效数字),依赖示波器的高精度时间分辨率。赫兹理论解析解为实验提供理论预测,而实际工程问题(如齿轮接触、MEMS 器件)则场通过有限元分析(Finite Element Analysis, FEA)扩展赫兹模型。实验数据(如碰撞时间 τ 与功率关系)可验证计算模型的准确性。任务 D.2 要求通过实验数据对数化后,绘制线性图并拟合指数,本质上是通过实验验证理论模型的标度律(Scaling Law)。任务 E 中所有赫兹参数(如 F_m, δ, a, p_0)的计算均依赖于给定的材料参数,凸显材料科学对实验定量预测的重要性。

因此,实验赛题通过多学科交叉,将接触力学的理论框架、经典力学的动力学分析、材料科学的参数支撑、实验物理的测量技术以及计算力学的验证方法紧密结合。这种关联不仅体现在公式推导和实验步骤中,更延伸至机械工程、生物医学等前沿领域,展现了物理学基础研究对实际工程问题的指导意义。

科苑快讯

太阳能眼科植入物恢复阅读视力

一种新的电子眼植入物,使干性老年性黄斑变性致盲的人恢复了阅读视力。患者使用称为 PRIMA 的植入物和增强现实眼镜,在多年的黑暗之后能够再次看到字母和单词。

手术过程包括玻璃体切除术,其中从晶状体和视网膜之间去除眼睛的天然凝胶。然后,外科医生通过一个小开口在视网膜中央插入一个极薄的微芯片,约为 SIM 卡大小(2 mm×2 mm)。手术后,患者会戴上配有摄像头的增强现实眼镜,摄像头与一台具有变焦功能的小型电脑相连,戴在腰带上。摄像头捕捉视觉信息并将其传输到植入物,让大脑将这些信号解读为视觉。

该设备是一种新型的无线视网膜下光伏植入物,

它与专门的眼镜配对,可以向植入物投射红外光,就像一个微型太阳能电池板。它的厚度为 30 微米(0.03 毫米),大约是人类头发厚度的一半。

放大功能使患者能够放大字母。它被植入视网膜下层,在已经死亡的视网膜细胞下面。在眼镜和腰带电脑打开之前,植入物没有视觉刺激或信号传递到大脑。

除了练习阅读和参加定期培训之外,试验中的患者还被鼓励探索使用该设备的方法,比如拼图和填字游戏等。

(高凌云编译自 2025 年 10 月 23 日 SciTechDaily 网站)