ภาคผนวก

ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (กรัม. ซ.ม.$^{-3}$)

อุณหภูมิ (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.999841	847	854	860	866	872	878	884	889	895
1	900	905	909	914	918	923	927	930	934	938
2	941	944	947	950	953	955	958	960	962	964
3	965	967	968	969	970	971	972	972	973	973
4	973	973	973	972	972	972	970	969	968	966
5	965	963	961	959	957	955	952	950	947	944
6	941	938	935	931	927	924	920	916	911	907
7	902	898	893	888	883	877	872	866	861	855
8	849	843	837	830	824	817	810	803	796	789
9	781	774	766	758	751	742	734	726	717	709
10	700	691	682	673	664	654	645	635	625	615
11	605	595	585	574	564	553	542	531	520	509
12	498	486	475	463	451	438	427	415	402	390
13	377	364	352	338	326	312	299	286	272	258
14	244	230	216	202	188	178	159	144	129	114
15	099	084	069	054	038	023	007	991	975	959
16	0.998943	926	010	893	877	860	843	826	809	792
17	774	767	739	722	704	686	668	650	632	613
18	595	576	558	539	520	501	482	463	444	424
19	405	385	365	345	325	305	285	265	244	224
20	203	183	162	141	120	099	078	056	035	013
21	0.997992	970	942	926	904	882	860	837	815	792
22	770	747	724	701	678	655	632	608	585	561
23	538	514	490	466	442	418	394	369	345	320
24	296	271	246	221	196	171	146	120	095	069
25	044	018	992	967	941	914	888	862	836	809
26	0.996783	756	729	703	676	649	621	594	567	540
27	512	485	457	429	401	373	345	317	289	261
28	232	204	175	147	118	089	060	031	002	973
29	0.995944	914	885	855	826	796	766	736	706	676
30	646	616	586	555	525	494	464	433	402	371

ตารางความหนาแน่นสำหรับของแข็งและของเหลวบางชนิด*

ชนิดของสาร	**ความหนาแน่น (กิโลกรัม. เมตร$^{-3}$)**
เอทิลแอลกอฮอล์	0.806×10^3
เบนซีน	0.879×10^3
น้ำแข็ง	0.917×10^3
น้ำ	1.00×10^3
กลีเซอรีน	1.26×10^3
อลูมิเนียม	2.70×10^3
เหล็ก	7.86×10^3
ทองแดง	8.92×10^3
เงิน	10.5×10^3
ตะกั่ว	11.3×10^3
ปรอท	13.6×10^3
ทองคำ	19.3×10^3
ทองขาว	21.4×10^3

* ค่าความหนาแน่นเฉพาะที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐานเท่านั้น
(เปลี่ยนเป็นหน่วย กรัม.ซ.ม.$^{-3}$ ได้โดยคูณด้วย 10^{-3})

Resin group and subgroup	Trade names	ρ, g/cm³	
		Lower limit	Upper limit
Acrylate and methacrylate	Lucite, Crystalite, Plexiglas	1.16	1.20
Casein	Ameroid	1.34	1.35
Cellulose acetate (sheet)	Bakelite, Lumarith, Plastecele, Protectoid	1.27	1.60
Cellulose acetate (molded)	Fibestos, Hercules, Nixonite, Tenite	1.27	1.60
Cellulose acetobutyrate	Tenite II	1.14	1.23
Cellulose nitrate	Celluloid, Nitron, Nixonoid, Pyralin	1.35	1.60
Ethyl cellulose	Ditzler, Ethocel, Ethofoil, Lumarith, Nixon. Hercules	1.05	1.25
Phenol-formaldehyde compounds:			
Wood-flour-filled (molded)	Bakelite, Durez, Durite, Micarta, Catalin, Haveg, Indur, Makalot, Resinox, Textolite, Formica	1.25	1.52
Mineral-filled (molded)	Bakelite, Durez, Durite, Micarta, Catalin, Haveg, Indur, Makalot, Resinox, Textolite, Formica	1.59	2.09
Macerated-fabric-filled (molded)	Bakelite, Durez, Durite, Micarta, Catalin, Haveg, Indur, Makalot, Resinox, Textolite, Formica	1.36	1.47
Paper-base (laminated)	Bakelite, Durez, Durite, Micarta, Catalin, Haveg, Indur, Makalot, Resinox, Textolite, Formica	1.30	1.40
Fabric base (laminated)	Bakelite, Durez, Durite, Micarta, Catalin, Haveg, Indur, Makalot, Resinox, Textolite, Formica	1.30	1.40
Cast (unfilled)	Bakelite, Catalin, Gemstone, Marblette, Opalon, Prystal	1.20	1.40
Phenolic furfural (filled)	Durite	1.3	2.0
Polyvinyl acetals (unfilled)	Alvar, Formvar, Saflex, Butacite, Vinylite X, etc.	1.05	1.23
Polyvinyl acetate	Gelva, Vinylite A, etc.	1.19	(?)
Copolyvinyl chloride acetate	Vinylite V, etc.	1.34	1.37
Polyvinyl chloride (and copolymer) plasticized	Koroseal, Vinylite	1.2	1.7
Polystyrene	Bakelite, Loalin, Lustron, Styron	1.054	1.070
Modified isomerized rubber	Plioform, Pliolite	1.06	(?)
Chlorinated rubber	Torneseit, Parlon	1.64	(?)
Urea formaldehyde	Bakelite, Beetle, Plascon	1.45	1.55
Melamine formaldehyde filled	Catalin, Melmac, Plaskon	1.49	1.86
Vinylidene chloride	Saran, Velon	1.68	1.75

TABLE 2b-13. DENSITY OF RUBBERS*

Rubber; raw polymer	Trade Name	At 25°C
Natural rubber	Hevea	0.92
Butadienestyrene copolymer		0.94
Butadieneacrylonitrile copolymer		1.00
Polychloroprene (neoprene)		1.25
Isobutylenediolefin copolymer (butyl)		0.91
Alkylene polysulfide		1.35

* "Handbook of Chemistry and Physics," 30th ed., p. 1282.

สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานสถิติและจลน์

Materials	Static friction		Sliding friction	
	Dry	Greasy	Dry	Greasy
Cadmium on mild steel	.....	.....	0.46(3)	
Copper on mild steel	0.53(8)	.....	0.36(3)	0.18(17,a)
Nickel on nickel	1.10(16)	0.28(22,y)	0.53(3)	0.12(3,w)
Brass on mild steel	0.51(8)	0.11(22,c)	0.44(6)	
Brass on cast iron	.....	.....	0.30(6)	
Zinc on cast iron	0.85(16)	.....	0.21(7)	
Magnesium on cast iron	.....	.....	0.25(7)	
Copper on cast iron	1.05(16)	.....	0.29(7)	
Tin on cast iron	.....	.....	0.32(7)	
Lead on cast iron	.....	.....	0.43(7)	
Aluminum on aluminum	1.05(16)	0.30(22,y)	1.4(3)	
Glass on glass	0.94(8)	0.35(22,y)	0.4(3)	0.09(3,a)
		0.1(22,q)		
Carbon on glass	.....	.....	0.18(3)	
Garnet on mild steel	.....	.....	0.39(3)	
Glass on nickel	0.78(8)	.....	0.56(3)	
Copper on glass	0.68(8)	.....	0.53(3)	
Cast iron on cast iron	1.10(16)	0.2(22,y)	0.15(9)	0.070(9,d)
Bronze on cast iron	.....	.....	0.22(9)	0.077(9,n)
Oak on oak (parallel to grain)	0.62(9)	.....	0.48(9)	0.164(9,r)
				0.067(9,s)
Oak on oak (perpendicular)	0.54(9)	.....	0.32(9)	0.072(9,s)
Leather on oak (parallel)	0.61(9)	.....	0.52(9)	
Cast iron on oak	.....	.....	0.49(9)	0.075(9,n)
Leather on cast iron	.....	.....	0.56(9)	0.36(9,t)
Teflon on Teflon	0.04(22)	.....	0.04(22,f)	
Teflon on steel	0.04(22)	.....	0.04(22,f)	
Fluted rubber bearing on steel	.....	.....	.....	0.05(13,t)
Laminated plastic on steel	.....	.....	0.35(12)	0.05(12,t)
Tungsten carbide on tungsten carbide	0.2(22)	0.12(22,a)		
Tungsten carbide on steel	0.5(22)	0.08(22,a)		

Materials	Static friction		Sliding friction	
	Dry	Greasy	Dry	Greasy
Hard steel on hard steel	0.78(1)	0.11(1,a)	0.42(2)	0.029(5,h)
		0.23(1,b)	.....	0.081(5,c)
		0.15(1,c)	.....	0.080(5,i)
		0.11(1,d)	.....	0.058(5,j)
		0.0075(18,p)	.....	0.084(5,d)
		0.0052(18,h)	.....	0.105(5,k)
				0.096(5,l)
				0.108(5,m)
				0.12(5,n)
Mild steel on mild steel	0.74(19)	.....	0.57(3)	0.09(3,a)
				0.19(3,u)
Hard steel on graphite	0.21(1)	0.09(1,a)		
Hard steel on babbitt (ASTM 1)	0.70(11)	0.23(1,b)	0.33(6)	0.16(1,b)
		0.15(1,c)	.....	0.06(1,c)
		0.08(1,d)	.....	0.11(1,d)
		0.085(1,e)		
Hard steel on babbitt (ASTM 8)	0.42(11)	0.17(1,b)	0.35(11)	0.14(1,b)
		0.11(1,c)	.....	0.065(1,c)
		0.09(1,d)	.....	0.07(1,d)
		0.08(1,e)	.....	0.08(11,h)
Hard steel on babbitt (ASTM 10)	.....	0.25(1,b)	.....	0.13(1,b)
		0.12(1,c)	.....	0.06(1,c)
		0.10(1,d)	.....	0.055(1,d)
Mild steel on cadmium silver	.....	.....	.....	0.097(2,f)
Mild steel on phosphor bronze	.....	.....	0.34(3)	0.173(2,f)
Mild steel on copper lead	.....	.....	.....	0.145(2,f)
Mild steel on cast iron	.....	0.183(15,c)	0.23(6)	0.133(2,f)
Mild steel on lead	0.95(11)	0.5(1,f)	0.95(11)	0.3(11,f)
Nickel on mild steel	.....	.....	0.64(3)	0.178(3,x)
Aluminum on mild steel	0.61(8)	.....	0.47(3)	
Magnesium on mild steel	.....	.....	0.42(3)	
Magnesium on magnesium	0.6(22)	0.08(22,y)		

• Numbers in parentheses indicate references to data sources; letters identify lubricant in following list.

ตารางค่าลอการิทึมและฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล

x	e^x	$\mathrm{Log}_{10}(e^x)$	e^{-x}
0.00	1.0000	0.00000	1.000000
0.01	1.0101	.00434	0.990050
0.02	1.0202	.00869	.980199
0.03	1.0305	.01303	.970446
0.04	1.0408	.01737	.960789
0.05	1.0513	0.02171	0.951229
0.06	1.0618	.02606	.941765
0.07	1.0725	.03040	.932394
0.08	1.0833	.03474	.923116
0.09	1.0942	.03909	.913931
0.10	1.1052	0.04343	0.904837
0.11	1.1163	.04777	.895834
0.12	1.1275	.05212	.886920
0.13	1.1388	.05646	.878095
0.14	1.1503	.06080	.869358
0.15	1.1618	0.06514	0.860708
0.16	1.1735	.06949	.852144
0.17	1.1853	.07383	.843665
0.18	1.1972	.07817	.835270
0.19	1.2092	.08252	.826959
0.20	1.2214	0.08686	0.818731
0.21	1.2337	.09120	.810584
0.22	1.2461	.09554	.802519
0.23	1.2586	.09989	.794534
0.24	1.2712	.10423	.786628
0.25	1.2840	0.10857	0.778801
0.26	1.2969	.11292	.771052
0.27	1.3100	.11726	.763379
0.28	1.3231	.12160	.755784
0.29	1.3364	.12595	.748264
0.30	1.3499	0.13029	0.740818
0.31	1.3634	.13463	.733447
0.32	1.3771	.13897	.726149
0.33	1.3910	.14332	.718924
0.34	1.4049	.14766	.711770
0.35	1.4191	0.15200	0.704688
0.36	1.4333	.15635	.697676
0.37	1.4477	.16069	.690734
0.38	1.4623	.16503	.683861
0.39	1.4770	.16937	.677057
0.40	1.4918	0.17372	0.670320
0.41	1.5068	.17806	.663650
0.42	1.5220	.18240	.657047
0.43	1.5373	.18675	.650509
0.44	1.5527	.19109	.644036
0.45	1.5683	0.19543	0.637628
0.46	1.5841	.19978	.631284
0.47	1.6000	.20412	.625002
0.48	1.6161	.20846	.618783
0.49	1.6323	.21280	.612626
0.50	1.6487	0.21715	0.606531

x	e^x	$\mathrm{Log}_{10}(e^x)$	e^{-x}
0.50	1.6487	0.21715	0.606531
0.51	1.6653	.22149	.600496
0.52	1.6820	.22583	.594521
0.53	1.6989	.23018	.588605
0.54	1.7160	.23452	.582748
0.55	1.7333	0.23886	0.576950
0.56	1.7507	.24320	.571209
0.57	1.7683	.24755	.565525
0.58	1.7860	.25189	.559898
0.59	1.8040	.25623	.554327
0.60	1.8221	0.26058	0.548812
0.61	1.8404	.26492	.543351
0.62	1.8589	.26926	.537944
0.63	1.8776	.27361	.532592
0.64	1.8965	.27795	.527292
0.65	1.9155	0.28229	0.522046
0.66	1.9348	.28663	.516851
0.67	1.9542	.29098	.511709
0.68	1.9739	.29532	.506617
0.69	1.9937	.29966	.501576
0.70	2.0138	0.30401	0.496585
0.71	2.0340	.30835	.491644
0.72	2.0544	.31269	.486752
0.73	2.0751	.31703	.481909
0.74	2.0959	.32138	.477114
0.75	2.1170	0.32572	0.472367
0.76	2.1383	.33006	.467666
0.77	2.1598	.33441	.463013
0.78	2.1815	.33875	.458406
0.79	2.2034	.34309	.453845
0.80	2.2255	0.34744	0.449329
0.81	2.2479	.35178	.444858
0.82	2.2705	.35612	.440432
0.83	2.2933	.36046	.436049
0.84	2.3164	.36481	.431711
0.85	2.3396	0.36915	0.427415
0.86	2.3632	.37349	.423162
0.87	2.3869	.37784	.418952
0.88	2.4109	.38218	.414783
0.89	2.4351	.38652	.410656
0.90	2.4596	0.39087	0.406570
0.91	2.4843	.39521	.402524
0.92	2.5093	.39955	.398519
0.93	2.5345	.40389	.394554
0.94	2.5600	.40824	.390628
0.95	2.5857	0.41258	0.386741
0.96	2.6117	.41692	.382893
0.97	2.6379	.42127	.379083
0.98	2.6645	.42561	.375311
0.99	2.6912	.42995	.371577
1.00	2.7183	0.43429	0.367879

ตารางค่าลอการิทึมและฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (ต่อ)

x	e^x	$\text{Log}_{10}(e^x)$	e^{-x}
1.00	2.7183	0.43429	0.367879
1.01	2.7456	.43864	.364219
1.02	2.7732	.44298	.360595
1.03	2.8011	.44732	.357007
1.04	2.8292	.45167	.353455
1.05	2.8577	0.45601	0.349938
1.06	2.8864	.46035	.346456
1.07	2.9154	.46470	.343009
1.08	2.9447	.46904	.339596
1.09	2.9743	.47338	.336216
1.10	3.0042	0.47772	0.332871
1.11	3.0344	.48207	.329559
1.12	3.0649	.48641	.326280
1.13	3.0957	.49075	.323033
1.14	3.1268	.49510	.319819
1.15	3.1582	0.49944	0.316637
1.16	3.1899	.50378	.313486
1.17	3.2220	.50812	.310367
1.18	3.2544	.51247	.307279
1.19	3.2871	.51681	.304221
1.20	3.3201	0.52115	0.301194
1.21	3.3535	.52550	.298197
1.22	3.3872	.52984	.295230
1.23	3.4212	.53418	.292293
1.24	3.4556	.53853	.289384
1.25	3.4903	0.54287	0.286505
1.26	3.5254	.54721	.283654
1.27	3.5609	.55155	.280832
1.28	3.5966	.55590	.278037
1.29	3.6328	.56024	.275271
1.30	3.6693	0.56458	0.272532
1.31	3.7062	.56893	.269820
1.32	3.7434	.57327	.267135
1.33	3.7810	.57761	.264477
1.34	3.8190	.58195	.261846
1.35	3.8574	0.58630	0.259240
1.36	3.8962	.59064	.256661
1.37	3.9354	.59498	.254107
1.38	3.9749	.59933	.251579
1.39	4.0149	.60367	.249075
1.40	4.0552	0.60801	0.246597
1.41	4.0960	.61236	.244143
1.42	4.1371	.61670	.241714
1.43	4.1787	.62104	.239309
1.44	4.2207	.62538	.236928
1.45	4.2631	0.62973	0.234570
1.46	4.3060	.63407	.232236
1.47	4.3492	.63841	.229925
1.48	4.3929	.64276	.227638
1.49	4.4371	.64710	.225373
1.50	4.4817	0.65144	0.223130

x	e^x	$\text{Log}_{10}(e^x)$	e^{-x}
1.50	4.4817	0.65144	0.223130
1.51	4.5267	.65578	.220910
1.52	4.5722	.66013	.218712
1.53	4.6182	.66447	.216536
1.54	4.6646	.66881	.214381
1.55	4.7115	0.67316	0.212248
1.56	4.7588	.67750	.210136
1.57	4.8066	.68184	.208045
1.58	4.8550	.68619	.205975
1.59	4.9037	.69053	.203926
1.60	4.9530	0.69487	0.201897
1.61	5.0028	.69921	.199888
1.62	5.0531	.70356	.197899
1.63	5.1039	.70790	.195930
1.64	5.1552	.71224	.193980
1.65	5.2070	0.71659	0.192050
1.66	5.2593	.72093	.190139
1.67	5.3122	.72527	.188247
1.68	5.3656	.72961	.186374
1.69	5.4195	.73396	.184520
1.70	5.4739	0.73830	0.182684
1.71	5.5290	.74264	.180866
1.72	5.5845	.74699	.179066
1.73	5.6407	.75133	.177284
1.74	5.6973	.75567	.175520
1.75	5.7546	0.76002	0.173774
1.76	5.8124	.76436	.172045
1.77	5.8709	.76870	.170333
1.78	5.9299	.77304	.168638
1.79	5.9895	.77739	.166960
1.80	6.0496	0.78173	0.165299
1.81	6.1104	.78607	.163654
1.82	6.1719	.79042	.162026
1.83	6.2339	.79476	.160414
1.84	6.2965	.79910	.158817
1.85	6.3598	0.80344	0.157237
1.86	6.4237	.80779	.155673
1.87	6.4883	.81213	.154124
1.88	6.5535	.81647	.152590
1.89	6.6194	.82082	.151072
1.90	6.6859	0.82516	0.149569
1.91	6.7531	.82950	.148080
1.92	6.8210	.83385	.146607
1.93	6.8895	.83819	.145148
1.94	6.9588	.84253	.143704
1.95	7.0287	0.84687	0.142274
1.96	7.0993	.85122	.140858
1.97	7.1707	.85556	.139457
1.98	7.2427	.85990	.138069
1.99	7.3155	.86425	.136695
2.00	7.3891	0.86859	0.135335

ตารางค่าฟังก์ชันตรีโกณมิติ

มุม					มุม				
Degree	Radian	Sine	Cosine	Tangent	Degree	Radian	Sine	Cosine	Tangent
0°	.000	0.000	1.000	0.000					
1°	.017	.018	1.000	.018	46°	0.803	0.719	0.695	1.036
2°	.035	.035	0.999	.035	47°	.820	.731	.682	1.072
3°	.052	.052	.999	.052	48°	.838	.743	.669	1.111
4°	.070	.070	.998	.070	49°	.855	.755	.656	1.150
5°	.087	.087	.996	.088	50°	.873	.766	.643	1.192
6°	.105	.105	.995	.105	51°	.890	.777	.629	1.235
7°	.122	.122	.993	.123	52°	.908	.788	.616	1.280
8°	.140	.139	.990	.141	53°	.925	.799	.602	1.327
9°	.157	.156	.988	.158	54°	.942	.809	.588	1.376
10°	.175	.174	.985	.176	55°	.960	.819	.574	1.428
11°	.192	.191	.982	.194	56°	.977	.829	.559	1.483
12°	.209	.208	.978	.213	57°	.995	.839	.545	1.540
13°	.227	.225	.974	.231	58°	1.012	.848	.530	1.600
14°	.244	.242	.970	.249	59°	1.030	.857	.515	1.664
15°	.262	.259	.966	.268	60°	1.047	.866	.500	1.732
16°	.279	.276	.961	.287	61°	1.065	.875	.485	1.804
17°	.297	.292	.956	.306	62°	1.082	.883	.470	1.881
18°	.314	.309	.951	.325	63°	1.100	.891	.454	1.963
19°	.332	.326	.946	.344	64°	1.117	.899	.438	2.050
20°	.349	.342	.940	.364	65°	1.134	.906	.423	2.145
21°	.367	.358	.934	.384	66°	1.152	.914	.407	2.246
22°	.384	.375	.927	.404	67°	1.169	.921	.391	2.356
23°	.401	.391	.921	.425	68°	1.187	.927	.375	2.475
24°	.419	.407	.914	.445	69°	1.204	.934	.358	2.605
25°	.436	.423	.906	.466	70°	1.222	.940	.342	2.747
26°	.454	.438	.899	.488	71°	1.239	.946	.326	2.904
27°	.471	.454	.891	.510	72°	1.257	.951	.309	3.078
28°	.489	.470	.883	.532	73°	1.274	.956	.292	3.271
29°	.506	.485	.875	.554	74°	1.292	.961	.276	3.487
30°	.524	.500	.866	.577	75°	1.309	.966	.259	3.732
31°	.541	.515	.857	.601	76°	1.326	.970	.242	4.011
32°	.559	.530	.848	.625	77°	1.344	.974	.225	4.331
33°	.576	.545	.839	.649	78°	1.361	.978	.208	4.705
34°	.593	.559	.829	.675	79°	1.379	.982	.191	5.145
35°	.611	.574	.819	.700	80°	1.396	.985	.174	5.671
36°	.628	.588	.809	.727	81°	1.414	.988	.156	6.314
37°	.646	.602	.799	.754	82°	1.431	.990	.139	7.115
38°	.663	.616	.788	.781	83°	1.449	.993	.122	8.144
39°	.681	.629	.777	.810	84°	1.466	.995	.105	9.514
40°	.698	.643	.766	.839	85°	1.484	.996	.087	11.43
41°	.716	.658	.755	.869	86°	1.501	.998	.070	14.30
42°	.733	.669	.743	.900	87°	1.518	.999	.052	19.08
43°	.751	.682	.731	.933	88°	1.536	.999	.035	28.64
44°	.768	.695	.719	.966	89°	1.553	1.000	.018	57.29
45°	.785	.707	.707	1.000	90°	1.571	1.000	.000	∞

การเทียบค่าตามมาตราต่าง ๆ

1 กิโลกรัม (kg)	=	10^3	กรัม
1 นิวตัน (N)	=	10^5	ไดน์
1 แคลอรี่ (cal)	≃	4.18	จูล
1 บรรยากาศ (atm)	≃	760	มิลลิเมตรปรอท
	~	$1.013*10^5$	นิวตันต่อตารางเมตร
	~	$1.013*10^6$	ไดน์ต่อตารางเซนติเมตร
1 คูรี (Ci)	~	$3.7*10^{10}$	เบ็กเคอเรล

หมายเหตุ เครื่องหมาย ≃ และ ~ หมายถึง "เท่ากันโดยประมาณ" และ "ใกล้เคียงกัน" ตามลำดับ

แบบทดสอบการชมวีดิทัศน์

1. การทดลองเรื่องการชั่งอย่างละเอียดใช้เครื่องชั่งแบบใดบ้าง
2. การใช้เครื่องชั่งแบบใดต้องทราบน้ำหนักของวัตถุที่ต้องการชั่งโดยประมาณล่วงหน้า
3. การทดลองเรื่องการวัดอย่างละเอียดกำหนดให้นักศึกษาสร้างเครื่องมือวัดชนิดใดในห้องปฏิบัติการ
4. เครื่องมือวัดชนิดใดที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียดที่สุดและเท่ากับเท่าใด
5. การทดลองเรื่องความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะใช้วิธีใดบ้างและหาค่าของวัตถุประเภทใด
6. ค่าความหนาแน่นที่ถูกต้องของวัตถุที่กำหนดให้ในการทดลองเท่ากับเท่าใด
7. การทดลองเรื่องสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานมีกี่วิธี
8. ความเสียดทานเกิดขึ้นได้อย่างไรและเกี่ยวข้องกับค่าใดบ้าง
9. การทดลองเรื่องการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิกอาศัยกฎใดเป็นสำคัญและกฎนี้กล่าวไว้อย่างไร
10. การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิกมีลักษณะอย่างไรและจะศึกษาได้อย่างไร
11. การทดลองเรื่องโมเมนตัมและการเคลื่อนที่ของโปรเจคไทล์ใช้อุปกรณ์อะไรบ้าง
12. การชนกันเป็นแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์หรือไม่และจะพิจารณาได้อย่างไร
13. การทดลองเรื่องการเคลื่อนที่เป็นวงกลมต้องจัดเครื่องมือให้อยู่ในลักษณะใดเป็นสำคัญ
14. การเคลื่อนที่เป็นวงกลมเกิดจากแรงใดบ้างและอัตราเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่าใด
15. การทดลองเรื่องกฎของบอยล์ต้องทราบค่าที่ถูกต้องใดบ้างก่อนเป็นอันดับแรกและต้องอ่านค่าจากเครื่องมืออะไร
16. โดยการสร้างกราฟในเรื่องกฎของบอยล์จะได้ผลสรุปอย่างไร

รศ. อัจฉรา พันธุ์อำไพ

ข้อควรระวังในการปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

PH 113 (L)

โดย

รองศาสตราจารย์ อัจฉรา พันธุ์อำไพ

การทดลองที่ 1 การชั่งอย่างละเอียด

เครื่องชั่งชนิดสองแขน

* ก่อนใช้ต้องตรวจสภาพของการวางเครื่องชั่งให้อยู่แนวระดับ และให้เข็มแกว่งไปทางซ้ายและขวาเท่า ๆ กัน (ในการทดลองไม่จำเป็นต้องปรับใด ๆ ควรให้เป็นหน้าที่ของผู้ดูแล)
* ใช้เครื่องหมาย – สำหรับการแกว่งเข็มไปทางซ้าย และเครื่องหมาย + ไปทางขวา
* วางวัตถุหรือตุ้มน้ำหนักไว้ตรงกลางจานชั่งทุกครั้ง แต่ต้องหมุนปุ่มยกคันชั่งให้ทั้งสองข้างแขนถูกยึดไว้เสียก่อน (ทำเช่นเดียวกันนี้ก่อนจะนำวัตถุหรือตุ้มน้ำหนักออกจากจานชั่งด้วย)
* หาน้ำหนักของวัตถุใดวัตถุหนึ่งจากการชั่งบนจานซ้าย (m_1) และขวา (m_2) สลับกันจะได้น้ำหนักของวัตถุ, $P = \sqrt{m_1 m_2}$

เครื่องชั่งอ่านค่าโดยตรง (เครื่องชั่งไฟฟ้า)

* อ่านได้ละเอียดถึงทศนิยมสี่ตำแหน่ง
* ก่อนชั่งวัตถุใดต้องรู้น้ำหนักโดยประมาณของวัตถุนั้น เพื่อเตรียมปุ่มตัวเลขให้แสดงน้ำหนักที่แท้จริงถึงทศนิยมตำแหน่งที่สี่ได้โดยง่าย
* วางวัตถุบนจานชั่งให้อยู่ตรงกลางจานชั่งทุกครั้ง แต่ก่อนจะนำวัตถุวางลงหรือออกไปจากจานชั่ง ต้องหมุนปุ่มจับคานไปที่ตำแหน่งหยุด (ตรงกลาง)
* เริ่มต้นหมุนปุ่มจับคานไปข้างหน้า (ตำแหน่ง (PARTIAL) ในกรณีที่ไม่รู้น้ำหนักโดยประมาณ
* หาน้ำหนักที่ละเอียดถึงจุดทศนิยม โดยหมุนปุ่มจับคานไปข้างหลัง (ตำแหน่ง FULL)

สรุปการทดลอง

* หาความเคลื่อนคลาดของการทดลองนี้ จากการเทียบความแตกต่างระหว่างค่า P กับค่าที่ได้จากเครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับการชั่งวัตถุเดียวกัน (คิดเป็นร้อยละ)
* วิจารณ์ผลการทดลองโดยพิจารณาจากค่าต่าง ๆ ซึ่งได้จากการทดลองแต่ละขั้นตอนว่าถูกต้องเพียงใด และได้จากการทดลองตามวิธีทดลองในคู่มือปฏิบัติการหรือไม่ เพราะเหตุใด
* วิจารณ์คุณลักษณะด้านความไวและความสมดุลของระยะแขนซ้าย-ขวา โดยใช้สูตรคำนวณแทนค่าประกอบคำอธิบาย

ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

หมายเหตุ

* แสดงวิธีการคำนวณทุกขั้นตอน โดยยกตัวอย่างการแทนค่าหาผลลัพธ์ด้วยทุกครั้ง
* หากมีปัญหาใด ๆ ควรปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุม ไม่ควรให้เกิดปัญหาขึ้นโดยไม่มีการแก้ไข

การทดลองที่ 2 การวัดอย่างละเอียด

บรรทัดโลหะ

* ใช้วัดระยะในระบบอังกฤษ (ในหน่วยนิ้ว-ฟุต) และระบบเมตริก (ในหน่วย ซ.ม.)
* วัดระยะได้ละเอียดถึง 1/64 นิ้ว (ระบบอังกฤษ) และ 1/20 ซ.ม. (ระบบเมตริก) โดยแบ่งสเกลใน 1 นิ้ว เป็น 64 ช่อง และใน 1 ซ.ม. เป็น 20 ช่อง

เวอร์เนียร์แคลิปเปอร์

* ก่อนใช้ต้องตรวจขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์ ให้ตรงกับขีดศูนย์ของเกลหลัก
* พิจารณาว่าสามารถอ่านค่าได้ละเอียดที่สุดเท่าใดในหน่วยนิ้วและ ซ.ม. (ดูคู่มือ น.32)
* ใช้วัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ภายในและความลึกของทรงกระบอกกลวงได้
* สร้างเวอร์เนียร์แคลิปเปอร์จากกระดาษแข็งตามที่อาจารย์ผู้ควบคุมกำหนด โดยแสดงการแบ่งสเกลตามสูตรคำนวณให้ชัดเจน และแบ่งช่องต่าง ๆ ให้สม่ำเสมอกันโดยวิธีเรขาคณิต
* ก่อนตัดตามรูป 2.3 (คู่มือ น.35) ควรให้อาจารย์ผู้ควบคุมตรวจความถูกต้อง
* วัดขนาดของวัตถุต่าง ๆ ด้วยเวอร์เนียร์แคลิปเปอร์มาตรฐานและที่สร้างขึ้นเอง โดยอ่านค่าให้ได้ละเอียดที่สุดตามแต่ละอันที่ใช้วัดครั้งหนึ่ง ๆ
* บันทึกค่าที่อ่านได้ตามตัวเลขที่มีนัยสำคัญเท่านั้น (ดู "ตัวเลขนัยสำคัญ" ในคู่มือ น.30)
* หาความเคลื่อนคลาดจากความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จากแต่ละอันคิดเป็นร้อยละ

ไมโครมิเตอร์แคลิปเปอร์

* ก่อนใช้ต้องตรวจขีดศูนย์ของสเกลปลอกหมุนให้ตรงกับขีดศูนย์ของสเกลหลัก
* ใช้วัดขนาดของวัตถุเล็ก ๆ เช่น ความหนาของเส้นผมได้ละเอียดถึง 1 ใน 1000 ซ.ม.
* บันทึกค่าที่อ่านได้ตามตัวเลขนัยสำคัญ ได้ถึงทศนิยมสี่ตำแหน่งในหน่วย ซ.ม. (ดูคู่มือ น.38)
* หาความเคลื่อนคลาดคิดเป็นร้อยละ โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณทุกครั้ง

สเฟียโรมิเตอร์

* ก่อนใช้ต้องตรวจขีดศูนย์ของเวอร์เนียร์ (บนขอบแผ่นกลม) ให้ตรงกับขีดศูนย์ของสเกลหลัก (บนขอบแผ่นตรงแนวดิ่ง) โดยทดสอบบนแผ่นกระจกราบ ให้ขาทั้งสี่สัมผัสระนาบเดียวกัน

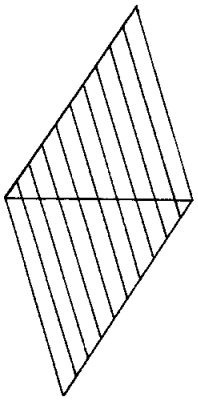
ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

* ตรวจว่าอ่านค่าได้ละเอียดที่สุดเท่าใด โดยหมุนแผ่นกลมให้ครบรอบ สังเกตการเลื่อนไปเป็นระยะเท่าใดบนสเกลหลัก (S) และขอบแผ่นกลมมีทั้งหมดกี่ช่อง (n)
* ใช้วัดส่วนนูน (หรือเว้า) ของวัตถุ เช่น เลนส์นูน (หรือเว้า) และกระจกนูน (หรือเว้า)
* ปรับขากลางให้อยู่ตรงจุดสูงสุด (หรือต่ำสุด) ในขณะที่ปรับให้ขาอื่น ๆ ทั้งสามขาค้ำยันไว้อย่างสมดุล โดยที่ระนาบของแผ่นกลมขนานกับพื้นราบอย่างแท้จริง
* อ่านระยะบนสเกลหลักที่แผ่นกลมเลื่อนขึ้น (หรือลง) ตามขากลาง ซึ่งเลื่อนจากขีดศูนย์เดิมบนพื้นราบ เพราะความนูน (หรือเว้า) ของวัตถุ ไปที่ช่องที่เล็กที่สุดบนสเกลหลัก (S)
* อ่านตัวเลขสเกลเวอร์เนียร์บนขอบแผ่นกลม (ให้ตรงกับขีดบนสเกลหลัก) ได้ละเอียดถึงค่าที่อ่านได้ละเอียดที่สุดของสเกลของสเฟียโรมิเตอร์ (S/n) เท่าใด
* นำตัวเลขที่อ่านได้จากสเกลหลักและเวอร์เนียร์มารวมกัน เป็นระยะ h ในหน่วย ซ.ม. วัดระยะห่างระหว่างจุดปลายขาทั้งสาม (ไม่ใช่ขากลาง) เป็นระยะ L ในหน่วย ซ.ม. โดยกดปลายขาลงบนกระดาษหนาพร้อมกันทั้งสามขา เพื่อหาจุดปลายแต่ละขาก่อนวัด
* คำนวณหารัศมีความโค้งของวัตถุนั้น จาก $R = L^2/6h + h/2$ ในหน่วย ซ.ม. โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณและแทนค่าเฉพาะตัวเลขที่นัยสำคัญ
* หาความเคลื่อนคลาดคิดเป็นร้อยละ โดยแสดงการคำนวณให้ชัดเจน

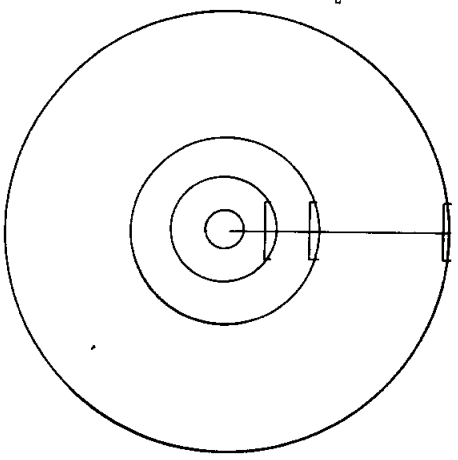
สรุปการทดลอง

* เทียบความเคลื่อนคลาดของแต่ละตอนว่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และวิจารณ์ว่ามีสาเหตุมาจากความละเอียดของเครื่องวัดแต่ละชนิดหรือไม่

วิธีแบ่งเส้นตรงเป็นส่วน ๆ ที่เท่ากันโดยเรขาคณิต



ขนาดรัศมีความโค้งสำหรับส่วนนูน (หรือเว้า) ต่าง ๆ



ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

การทดลองที่ 3 ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ

โดยใช้หลักอาร์คิมีดิส

* ใช้หาความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะสำหรับ**ของแข็ง**เท่านั้น
* ก่อนชั่งวัตถุควรพิจารณาว่าเป็น**ของแข็ง**ชนิดใด (ทำจากวัสดุอะไร) บันทึกลงในตารางให้ชัดเจน ในช่องภายใต้ "ชนิดของวัตถุ"
* ถ้าใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า ต้องหาน้ำหนักของวัตถุโดยประมาณเสียก่อน (ดูการทดลองที่ 1)
* ชั่งมวลวัตถุในน้ำ โดยวิธีผูกวัตถุในน้ำด้วยเชือกกับคานเครื่องชั่ง แต่ต้อง**ไม่วาง**ภาชนะบรรจุน้ำบนจานชั่ง ควรรองรับภาชนะไว้ไม่ให้สัมผัสจานชั่ง (ใช้ที่รองซึ่งพาดคร่อมจานชั่ง)
* สังเกตว่าวัตถุนั้นลอยหรือจมน้ำ (ถ้าลอยจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำและในทางกลับกัน)
* วัดอุณหภูมิของน้ำและอ่านค่าความหนาแน่นของน้ำจากตารางที่อุณหภูมิน้ำนั้น
* คำนวณหาค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของวัตถุ โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณและแทนค่าทุกครั้ง

โดยใช้ขวด ถ.พ.

* ใช้หาความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะสำหรับของเหลวและของแข็งตามลำดับ
* ก่อนบรรจุวัตถุลงในขวด ถ.พ. ควรพิจารณาว่าเป็นของเหลวหรือของแข็งชนิดใด (เฉพาะของแข็งเม็ดเล็ก ๆ เท่านั้นในการทดลองนี้) บันทึกลงในช่อง "ชนิดของวัตถุ" ให้ชัดเจน
* ถ้าใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า ต้องหาน้ำหนักของวัตถุโดยประมาณเสียก่อน
* ชั่งมวลขวด ถ.พ. ที่สะอาดและแห้งก่อนเป็นอันดับแรก โดยปิดจุกขวดไว้ด้วย
* ชั่งมวลขวด ถ.พ. รวมกับของเหลวหรือของแข็งเต็มขวด โดยปิดจุกขวดและเช็ดขวดให้แห้ง
* ก่อนชั่งมวลขวด ถ.พ. รวมกับน้ำเต็มขวด (ปิดจุกขวด) ต้องทำความสะอาดภายในขวดไม่ให้มีของเหลว หรือของแข็งเดิมตกค้างอยู่ และควรไล่ฟองอากาศให้หมดในกรณีบรรจุของแข็ง
* คำนวณหาค่าความหนาแน่นและ ถ.พ.ของวัตถุ โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณและแทนค่า

สรุปการทดลอง

* หาความเคลื่อนคลาดของการทดลองนี้ โดยเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ทราบแล้ว (ค่ามาตรฐาน) คิดเป็นร้อยละ
* วิจารณ์ผลการทดลอง โดยพิจารณาจากค่าต่าง ๆ ที่ได้จากแต่ละขั้นตอนว่าเป็นค่าที่ถูกต้องเพียงใด และได้มาจากกรรมวิธีที่ถูกต้องหรือไม่ เพราะเหตุใด ถ้าวัตถุทดลองเป็นชนิดเดียวกันโดยใช้หลักการอาร์คิมีดีสและใช้ขวด ถ.พ. จะได้ผลลัพธ์ตรงกันหรือไม่

การทดลองที่ 4 สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน

ตอนที่ 1 หาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานในแนวระดับ

* จัดวางแผ่นไม้หนัก W บนพื้นไม้ ซึ่งวางอยู่ในแนวราบ และหาแรง P (น้ำหนักถ่วงบนจาน ซึ่งแขวนด้วยเชือกคล้องผ่านรอกไปยังแผ่นไม้) ที่สามารถลากแผ่นไม้ให้เคลื่อนที่ โดยผิวไม้ทั้งสองเสียดสีกันไปได้พอดี
* ใช้มือเคาะพื้นเบา ๆ หลังจากใส่น้ำหนักลงบนจานทีละน้อย แต่แผ่นไม้ยังไม่เคลื่อนที่ออกไป
* ทดลองหาแรง P ที่พอดีทำให้แผ่นไม้ ซึ่งมีน้ำหนักต่าง ๆ เคลื่อนที่ได้ โดยเพิ่มน้ำหนักบนแผ่นไม้ครั้งละ 100 กรัม รวม 4 ครั้ง (แรง P คือ น้ำหนักของจาน + น้ำหนักถ่วงบนจาน)
* คำนวณหา ส.ป.ส. ของความเสียดทานจลน์, μ = P/W ในแต่ละครั้งและหาค่าเฉลี่ย โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณและแทนค่าด้วย
* สร้างกราฟระหว่าง P (บนแกน Y) กับ W (บนแกน X) โดยเริ่มต้นเป็นศูนย์ทั้งสองแกน
* หาความชันของกราฟ = μ และจุดตัดบนแกน Y = c โดยแสดงหน่วยของ c ตามหน่วยของ P ด้วย (เนื่องจาก c เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างรอกกับเชือกมีค่าคงที่)

ตอนที่ 2 หาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเมื่อวัตถุพอดีเคลื่อนที่ลงบนพื้นเอียง

* ใช้แผ่นไม้**เดียวกัน**กับตอนที่ 1 วางบนพื้นไม้ในแนวราบเช่นเดิม แต่**ไม่**ใช้จานถ่วงน้ำหนัก
* หามุมยกที่ทำให้พื้นเอียงจนกระทั่งแผ่นไม้ไถลลงไปช้า ๆ อย่างสม่ำเสมอ โดยผิวไม้ทั้งสองสัมผัสกันในระยะหนึ่งได้พอดี
* กำหนดระยะ d บนแนวราบ (ตามสะดวกในช่วงใดช่วงหนึ่ง) ระหว่างจุดวัดความสูงจากแนวราบของพื้นเอียงสองจุด h_1 และ h_2
* หา ส.ป.ส. ของความเสียดทานจลน์, $\mu = (h_2 - h_1)/d$ โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณ
* ทำการทดลองซ้ำ โดยเพิ่มน้ำหนักบนแผ่นไม้ 4 ครั้ง ๆ ละ 100 กรัม และหาค่าเฉลี่ย

ตอนที่ 3 หา ส.ป.ส.ของความเสียดทานเมื่อวัตถุพอดีเคลื่อนที่ขึ้นบนพื้นเอียง

* ใช้แผ่นไม้เดียวกันกับตอนที่ 2 แต่ให้พื้นเอียงทำมุม ($= \theta$) น้อยกว่าตอนที่ 2
* ถ่วงน้ำหนัก P บนจานแขวนเชือกพาดรอกไปผูกกับแผ่นไม้หนัก W จนกระทั่งแผ่นไม้เริ่มเคลื่อนที่ขึ้นไปตามพื้นเอียง โดยผิวไม้ทั้งสองเสียดสีกันไประยะหนึ่งพอดีเมื่อเคาะพื้นเบา ๆ

ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

* หา ส.ป.ส.ของความเสียดทานจลน์, $\mu = P/W \cos\theta - \tan\theta$ โดยแสดงการคำนวณ
* ทำการทดลองซ้ำ โดยเพิ่มน้ำหนักบนแผ่นไม้ 4 ครั้ง ๆ ละ 100 กรัม และหาค่าเฉลี่ย

สรุปผลการทดลอง

* หาความเคลื่อนคลาดของการทดลองนี้ จากการเทียบความแตกต่างระหว่างค่า μ ที่ได้ในแต่ละตอน (คิดเป็นร้อยละ) และเทียบกับค่า μ เฉลี่ยจากทั้งสามตอน
* วิจารณ์ผลการทดลองโดยพิจารณาจากค่า μ ที่ได้ในแต่ละตอนว่าตรงกันหรือแตกต่างกันเพราะเหตุใด และค่า μ ที่ได้จากแต่ละตอนควรเท่ากันหรือต่างกันอย่างไร (พิจารณาวิธีการทดลองแต่ละตอนต่างกันอย่างไร และใช้ผิวสัมผัสคู่เดียวกันทุกครั้งหรือไม่)

การทดลองที่ 6 การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิก

ตอนที่ 1 หาความสัมพันธ์ระหว่างการแกว่งลูกตุ้ม (แบบซิมเปิลฮาร์มอนิก) กับการฉายเงา (บนเส้นผ่าศูนย์กลาง) ของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ

* จัดวางชุดสาธิตการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิก ให้แนวเส้นผ่าศูนย์กลางตรงกับแนวการแกว่งลูกตุ้มซึ่งแขวนไว้กับขาตั้ง โดยให้สามารถบิดมือหมุนจนแผ่น N (ติดลูกศร) เลื่อนไปตามจังหวะลูกตุ้มได้สะดวก (ดูคู่มือ น.81 รูปที่ 5.6)
* บันทึกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของจุด P รอบวงกลม และทิศของลูกศรบนแผ่น N ในขณะที่เลื่อนแผ่น N ไปตามจังหวะลูกตุ้มบนเส้นผ่าศูนย์กลางของชุดสาธิต

ตอนที่ 2 หาความสัมพันธ์ระหว่างการแกว่งมวลแขวนสปริงกับการฉายเงา (บนเส้นผ่าศูนย์กลาง) ของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ

* จัดชุดสาธิตการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิก ให้แนวเส้นผ่าศูนย์กลาง**ตรงกับ**แนวของการแกว่งมวลแขวนสปริงไว้กับขาตั้ง โดยให้สามารถบิดมือหมุนได้สะดวก จนแผ่น N เลื่อนไป**ตามจังหวะ**มวลแขวนสปริงในแนวดิ่ง และมีอัมปลิจูดเริ่มต้นเท่ากับอัมปลิจูดของแผ่น N (ดูคู่มือ น.82 รูปที่ 5.7)
* บันทึกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของจุด P รอบวงกลม และทิศของลูกศรบนแผ่น N ในขณะที่เลื่อนแผ่น N ไปตามจังหวะมวลแขวนสปริง บนเส้นผ่าศูนย์กลางของชุดสาธิต

ตอนที่ 3 หาการยืดของสปริงเป็นไปตามกฎของฮุก

* แขวนจานวางน้ำหนักกับสปริงในแนวดิ่งกับขาตั้ง ซึ่งมีสเกลแสดงขีดศูนย์ให้ตรงกับเข็มชี้บนจานวางน้ำหนักเมื่อเริ่มต้น (ดูคู่มือ น.80 รูปที่ 5.5)
* วางน้ำหนักครั้งละ 50 กรัม = แรงกระทำต่อสปริง, F = 50 ก. × 980 ซ.ม./วินาที^{2} = 4.9×10^4 ไดน์
* บันทึกตำแหน่งเข็มชี้บนสเกล (ส่วนยืด = x ซ.ม.) เมื่อสปริงหยุดแกว่งทุกครั้งที่วางน้ำหนัก 5 ครั้ง ๆ ละ 50 กรัม และคิดแรงกระทำต่อสปริง (F) ที่เพิ่มขึ้นทุกครั้ง

ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

* ตรวจสอบตำแหน่งเข็มชี้บนสเกลที่อ่านได้แต่ละครั้ง โดยนำน้ำหนักออกครั้งละ 50 กรัม ในขณะเดียวกันต้องไม่ทำให้จานวางน้ำหนักสั่นสะเทือนด้วย จนเข็มชี้ตรงกับจุดเริ่มต้น
* หาค่าคงที่ของสปริง, $k = F/x$ ในหน่วยไดน์ต่อ ซ.ม. จากความชันของกราฟระหว่างแรงกระทำต่อสปริง, F ในหน่วยไดน์ (บนแกนดิ่ง) กับส่วนยืดของสปริง, x ในหน่วย ซ.ม.

ตอนที่ 4 หาน้ำหนักสปริง

* จับเวลาการแกว่งจานเปล่า (รวมน้ำหนัก 40 กรัม = P) ครบ 30 รอบ ในแนวดิ่ง โดยเริ่มจากจุดสูงกว่าตำแหน่งสมดุลเล็กน้อย และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย
* หาคาบการแกว่ง, T ในหน่วยวินาทีต่อรอบ โดยหารเวลาที่แกว่งครบสามสิบรอบด้วย 30
* คำนวณหาค่า T จาก $T = 2\pi\sqrt{(m_A + P + S/3)/k}$ โดยเพิ่มน้ำหนัก, m_A บนจานครั้งละ 50 กรัม และแทนค่า k ซึ่งได้จากตอนที่ 3
* เทียบค่า T จากการทดลอง (จับเวลา) ให้ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ (จากสูตร) ทุกครั้งที่เพิ่มน้ำหนัก m_A บนจาน โดยพยายามควบคุมการแกว่งของสปริงให้อยู่ในแนวดิ่งเท่านั้น
* สร้างกราฟระหว่าง T^2 กับ m_A โดยยกกำลังสองค่า T จากการทดลองบนแกนดิ่ง และ m_A บนแกนระนาบ
* หาค่า m_A จากจุดตัดกับแกนระนาบของเส้นกราฟ ในหน่วยกรัม
* คำนวณหาน้ำหนักสปริง, S จาก $m_A = -(P + S/3)$ โดยการแทนค่า m_A จากกราฟ

สรุปการทดลอง

* หาความเคลื่อนคลาดของการทดลองนี้ จากการเทียบความแตกต่างระหว่างการชั่งน้ำหนักสปริงกับการคำนวณหาน้ำหนักสปริงจากกราฟ (คิดเป็นร้อยละ)
* วิจารณ์ผลการทดลองโดยพิจารณาการแกว่งลูกตุ้มนาฬิกาและมวลแขวนสปริงว่าเป็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิกหรือไม่อย่างไร และการยืดของสปริงเป็นไปตามกฎของฮุกเพียงใด

ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

การทดลองที่ 6 ลูกตุ้มนาฬิกาชนิดธรรมดา

ครั้งที่ 1 หาเวลาการแกว่งลูกตุ้มไม้

* ตรวจสอบวัสดุที่ผูกกับลูกตุ้มนาฬิกาสำหรับแขวนลูกตุ้มว่ายืดหยุ่นได้หรือไม่ ถ้าปรากฏว่ายืดหยุ่นได้ไม่ควรนำมาใช้
* จัดด้ายหรือเชือกสำหรับแขวนลูกตุ้มให้ผูกกับจุดแขวนอย่างแน่นหนา เพื่อไม่ให้เลื่อนไปมาขณะแกว่ง โดยให้ความยาวเท่ากับ 80 เซนติเมตรจากจุดแขวนถึงกึ่งกลางลูกตุ้มพอดี
* จับเวลาหลังจากเริ่มแกว่งลูกตุ้มไปแล้วทันที โดยดึงลูกตุ้มให้กางทำมุม 3 องศาจากแนวดิ่งพอดี
* บันทึกเวลาการแกว่งครบ 30 รอบ ทำซ้ำ 2 ครั้ง และคำนวณหาเวลาแกว่งโดยเฉลี่ยครบ 1 รอบ

ครั้งที่ 2 หาเวลาการแกว่งลูกตุ้มโลหะ

* จัดระยะจากจุดแขวนถึงกึ่งกลางลูกตุ้มให้ยาว 80 เซนติเมตร
* ดึงลูกตุ้มให้กางทำมุม 3 องศา จากแนวดิ่ง แล้วปล่อยให้ลูกตุ้มแกว่งอย่างอิสระ
* จับเวลาการแกว่งครบ 30 รอบ ทำซ้ำ 2 ครั้ง และคำนวณหาเวลาแกว่งโดยเฉลี่ยครบ 1 รอบ และกำลังสองของคาบเวลาการแกว่งครบรอบ

ครั้งที่ 3-6 หาเวลาการแกว่งลูกตุ้มโลหะเมื่อมีแอมปลิจูดระหว่าง 5-20 องศา

* จัดระยะจากจุดแขวนถึงกึ่งกลางลูกตุ้มให้ยาวเท่ากับ 80 เซนติเมตร
* ดึงลูกตุ้มให้กางทำมุม 5 องศาจากแนวดิ่ง แล้วปล่อยให้ลูกตุ้มแกว่งอย่างอิสระ
* จับเวลาการแกว่งครบ 30 รอบ ทำซ้ำ 2 ครั้ง และคำนวณหาเวลาแกว่งโดยเฉลี่ยครบ 1 รอบ
* ปรับมุมในการดึงลูกตุ้มจากแนวดิ่งเป็น 10, 15 และ 20 องศา และจับเวลาการแกว่งครบ 30 รอบ โดยทำซ้ำ 2 ครั้ง สำหรับการทำมุมต่าง ๆ และคำนวณหาเวลาแกว่งโดยเฉลี่ยครบ 1 รอบ

ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

ครั้งที่ 7-10 หาเวลาการแกว่งลูกตุ้มโลหะเมื่อมีความยาวระหว่าง 60-140 ซ.ม.

* จัดระยะจากจุดแขวนถึงกึ่งกลางลูกตุ้มให้ยาวเท่ากับ 60, 100, 120, และ 140 เซนติเมตร ตามลำดับ
* ดึงลูกตุ้มให้กางทำมุม 3 องศา จากแนวดิ่ง แล้วปล่อยให้ลูกตุ้มแกว่งอย่างอิสระทุกครั้งที่ปรับเปลี่ยนความยาว
* จับเวลาการแกว่งครบ 30 รอบ ทำซ้ำ 2 ครั้ง สำหรับความยาวต่าง ๆ และหาเวลาแกว่งโดยเฉลี่ยครบ 1 รอบ และกำลังสองของคาบเวลาแกว่งครบรอบทุกระยะความยาว

สรุปการทดลอง

* หาความเคลื่อนคลาดร้อยละของการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ประกอบคำอธิบายตามแนวคำถามข้อ 1 ข้างท้ายบันทึกผลการทดลอง โดยอาศัยสมการ (6.4)
* วิจารณ์การทดลองโดยเฉพาะการแกว่งลูกตุ้มทำมุมต่าง ๆ ว่า มุมของการแกว่งคงที่หรือไม่ และในกรณีที่มุมของการแกว่งมากขึ้นทำให้ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงอย่างไร

การทดลองที่ 7 โมเมนตัมและการเคลื่อนที่ของโปรเจคไทล์

ตอนที่ 1 หาความเร็วต้นของโปรเจคไทล์โดยบอลลิสติกเพนดูลัม

* ก่อนเริ่มการทดลองต้องยึดชุดอุปกรณ์ไว้ขอบโต๊ะให้แน่นในแนวระดับ
* วัดระดับความสูงของส่วนตุ้ม (เพนดูลัม) จากแนวระดับ ภายหลังจากยิงลูกปืนเข้าไปในตุ้ม เป็นระยะ h_1 และระดับที่แขวนอยู่อิสระเป็นระยะ h_2 โดยทดลองซ้ำรวม 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของ $h = h_1 - h_2$ ในหน่วยเซนติเมตร
* คำนวณหาความเร็วต้นของโปรเจคไทล์ (ลูกปืน), v จาก $= [(M+m)/m]V$ โดยที่ M และ m คือมวลของระบบลูกตุ้มและลูกปืนในหน่วย ก.ก.ตามลำดับ ส่วน V คือความเร็วหลังชนทันที ซึ่งหาได้จาก $V = \sqrt{2gh}$ ในหน่วยเมตร/วินาที เมื่อ h มีหน่วยเป็นเมตรและ $g = 9.8$ เมตร/วินาที^{2}

ตอนที่ 2 หาความเร็วต้นของโปรเจคไทล์โดยวัดระยะตกและระยะไกลสุด

* ก่อนเริ่มการทดลองต้องนำลูกตุ้มขัดราง R ไว้ เพื่อให้อยู่นอกวิถีการเคลื่อนที่ของลูกปืน
* วัดระยะตกตามแนวดิ่ง, y และระยะไกลตามแนวระดับ, x ภายหลังจากยิงลูกปืนในแนวระดับด้วยความเร็วต้น, v และปล่อยให้ตกอย่างอิสระลงบนกระดาษซ้อนหลายชั้น โดยมีกระดาษคาร์บอนรองใต้กระดาษขาวแผ่นแรกอยู่ด้านบน
* คำนวณหาความเร็วต้นของลูกปืน, v จาก $v = x\sqrt{g/2y}$
* คำนวณหามุมกด, θ จาก $\tan\theta = [gy/2]^{1/2}/v$

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบ y_{max} (ทดลอง) กับ y_{max} (ทฤษฎี)

* ก่อนเริ่มการทดลองต้องจัดชุดอุปกรณ์ (อีกชุดหนึ่ง) ให้ลูกปืนพุ่งออกจากปลายพื้นเอียงทำมุม $\phi = 20°, 30°$, และ $40°$ กับแนวระดับตามลำดับ
* วัดระยะไกลสุดในแนวระดับ, x และระยะสูงสุด, y ที่ลูกปืนพุ่งขึ้นไปได้ โดยวัดระยะทั้งสองจากแนวขนานกับแนวระดับซึ่งต่อจากจุดที่ลูกปืนพุ่งออกไป (ดูคู่มือ น.104 รูปที่ 7.2)
* ทดลองซ้ำที่มุมยกหนึ่ง ๆ รวม 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยสำหรับระยะทั้งสองแต่ละมุมยก
* คำนวณค่า y_{max} (ทฤษฎี) จาก $y_{max} = (v^2 \sin^2\phi)/2g$ เทียบกับค่าเฉลี่ยของ y_{max} (ทดลอง) คิดเป็นร้อยละ

ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

* ก่อนส่งคืนชุดทดลองต้องปลดไกปืนที่ขึ้นค้างไว้ และเก็บลูกปืนไว้ในลูกตุ้มให้เรียบร้อย

สรุปการทดลอง

* ตอบคำถามข้างท้ายบทโดยแสดงการคำนวณและแทนค่า (ถ้ามี) และวิจารณ์ตามเหตุและผล

การทดลองที่ 8 กฎของบอยล์

หาความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง

* ก่อนบันทึกความดันบรรยากาศ ให้อ่านระดับความสูงของปรอทจากบารอมิเตอร์ (แขวนอยู่ในกล่องไม้สีดำบนผนังด้านหน้าทางซ้ายของช่องจ่ายอุปกรณ์ทดลองในห้อง TBB 109) โดยจัดบารอมิเตอร์ให้แขวนอยู่ในแนวดิ่งอย่างแท้จริง และขีดศูนย์ของเวอร์เนียร์ตรงกับระดับปรอท (ไม่ควรแกว่งหรือทำให้บารอมิเตอร์กระทบกระเทือนอย่างแรง จนปรอทในอ่างปรอทหกล้นออกมา) บันทึกความดันบรรยากาศในหน่วย ซ.ม. ถึงทศนิยมตำแหน่งที่สอง
* อ่านค่าอุณหภูมิห้องจากเทอร์มอมิเตอร์ (แขวนไว้กับบารอมิเตอร์) ในหน่วยขององศาเซลเซียส ถึงทศนิยมตำแหน่งที่หนึ่ง
* หาค่าแก้เนื่องจากความเคลื่อนคลาดของความดันบรรยากาศที่อ่านบารอมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ (ดูคู่มือ น.128-130) โดยแสดงวิธีหาค่าแก้และความดันที่แก้แล้ว (P_a)

หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันของอากาศ

* ก่อนใช้ชุดอุปกรณ์ทดลอง ซึ่งติดตั้งหลอดแก้วคู่หนึ่งต่อเข้าไว้ด้วยกันกับท่อยางบรรจุปรอทบนขาเหล็ก ต้องจัดวางทั้งชุดนี้บนพื้นราบ โดยให้หลอดแก้วอยู่ในแนวดิ่งอย่างแท้จริง
* จัดระดับปรอทในหลอดแก้วทั้งสองให้เท่ากัน โดยเปิดจุกแก้วทางหลอดซ้าย (ปลายปิด) ออกเสียก่อนและบันทึกขีดบน (H) ของหลอดปลายปิดในหน่วย ซ.ม. หลังจากปิดจุกไว้ที่หลอดเดิม
* อ่านระดับปรอทในหลอดเปิด (h′) และหลอดเปิด (h″) ทุกครั้ง หลังจากที่เลื่อนหลอดปลายเปิดทางขวาให้**สูงขึ้น** ครั้งละ 3 ซ.ม. รวม 5 ครั้ง
* หาผลต่างของระดับปรอทในหลอดทั้งสอง, $h = h' - h''$ ในหน่วย ซ.ม.
* คำนวณหาผลต่างของระดับปรอททั้งสองข้างอีก หลังจากเลื่อนหลอดเปิดจนมีระดับปรอทเท่ากันทั้งสองข้าง ก่อนที่จะเลื่อนหลอดเปิดให้**ต่ำลง** ครั้งละ 3 ซ.ม. รวม 5 ครั้ง
* หาปริมาตรของอากาศ (V) ในหลอดปิด จากความยาวของช่วงอากาศเหนือระดับปรอท (L) คูณกับพื้นที่ภาคตัดขวางของหลอด โดยที่ $L = H - h''$
* หาความดันของอากาศในหลอดปิด (ในหน่วยความสูงของปรอท) จาก $p = P_a \pm h$

ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

* สร้างกราฟระหว่าง p กับ L และ 1/p กับ L (เนื่องจากภาคตัดขวางของหลอดเท่ากันตลอด ดังนั้น V เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ L) โดยแสดงกราฟทั้งสองลงบนแผ่นเดียวกัน ให้ p และ 1/p อยู่บนแกนดิ่ง และ L อยู่บนแกนระนาบ
* หาค่า pV (หรือ pL) = K จาก**ส่วนกลับ**ของความชันสำหรับเส้น 1/p กับ L

สรุปการทดลอง

* หาความเคลื่อนคลาดของการทดลองนี้ โดยเทียบความแตกต่างของค่า pV (หรือ pL) จากการคำนวณ (ค่าเฉลี่ยในตารางบันทึกผลการทดลองช่องสุดท้าย) กับค่าที่ได้จากกราฟ (คิดเป็นร้อยละ)
* วิจารณ์ผลการทดลองว่าเป็นไปตามกฎของบอยล์หรือไม่ และมีข้อบกพร่องในการทดลองอย่างไรบ้าง

การทดลองที่ 9 ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง

ครั้งที่ 1

* ก่อนต้มน้ำควรตรวจสอบระดับอุณหภูมิของบรรยากาศ (อุณหภูมิห้อง) ในขณะนั้นและบันทึกไว้ (ควรอ่านอุณหภูมิห้องอีกครั้งหนึ่งเมื่ออ่านอุณหภูมิผสมหรืออุณหภูมิสุดท้ายเรียบร้อยแล้วเพื่อเปรียบเทียบกัน)
* ไม่ควรให้อุณหภูมิของน้ำต้มก่อนที่จะรินใส่กระป๋องในแคลอรีมิเตอร์สูงกว่าอุณหภูมิห้องเกินกว่า 20°C และไม่ควรให้ปริมาณน้ำในกระป๋องเกินกว่าครึ่งกระป๋องมากนัก
* หลังจากใส่น้ำอุ่นลงในแคลอรีมิเตอร์แล้ว ต้องทำให้น้ำเย็นลงเล็กน้อยจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง 10°C โดยการกวนน้ำด้วยเครื่องคนอย่างระมัดระวังไม่ให้น้ำกระฉอก
* นำน้ำแข็งก้อนเล็ก ๆ ผสมลงไปในแคลอรีมิเตอร์ทีละน้อย คอยระวังไม่ให้น้ำล้นกระป๋อง และอ่านอุณหภูมิผสมตลอดเวลาจากเทอร์มอมิเตอร์ที่จุ่มอยู่ในแคลอรีมิเตอร์ โดยไม่ให้น้ำแข็งกระทบกับเทอร์มอมิเตอร์หรือเทอร์มอมิเตอร์กระทบกับน้ำแข็ง และปิดฝาแคลอรีมิเตอร์ขณะที่กวนน้ำด้วยเครื่องคนอย่างระมัดระวัง
* เมื่ออุณหภูมิผสมต่ำกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 10°C นั้น น้ำแข็งภายในกระป๋องควรละลายหมดพอดี และบันทึกอุณหภูมิสุดท้ายไว้ก่อนที่จะนำแคลอรีมิเตอร์พร้อมด้วยน้ำและอุปกรณ์ทั้งหมดไปชั่งรวมกัน
* แทนค่ามวลและอุณหภูมิต่าง ๆ ลงในสมการ (11.4) และหาค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง

ครั้งที่ 2

* ทำซ้ำการทดลองในครั้งที่ 1 ตามขั้นตอนเดียวกันด้วยความระมัดระวัง
* หาค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งโดยเฉลี่ยจากการทดลองทั้งสองครั้ง

สรุปการทดลอง

* เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งจากการทดลองกับค่าทางทฤษฎีว่าต่างกันคิดเป็นร้อยละเท่าใด
* วิจารณ์การทดลองในแต่ละครั้งว่ามีปัจจัยใดบ้างที่ทำให้เกิดความเคลื่อนคลาด (ถ้ามี)

ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

การทดลองที่ 11 ความหนืด

ตอนที่ 1 หาความหนาแน่นของของเหลว

* โดยใช้วิธีทำการทดลองในการทดลองที่ 3 เรื่องความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะตอนที่ 2 ซึ่งใช้ขวดความถ่วงจำเพาะ
* ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง และหาความหนาแน่นของของเหลวโดยเฉลี่ย

ตอนที่ 2 หาความหนาแน่นของวัตถุทรงกลม

* วัดรัศมีของวัตถุทรงกลมอย่างน้อย 3 ชนิด และคำนวณหาปริมาตรของวัตถุแต่ละชนิด โดยทำซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง
* ชั่งน้ำหนักของวัตถุโดยใช้เครื่องชั่งอย่างละเอียดอย่างน้อย 2 ครั้ง
* คำนวณหาความหนาแน่นของวัตถุจากอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตร และหาค่าเฉลี่ย

ตอนที่ 3 หาความหนืดของของเหลว

* เตรียมกระบอกแก้วสำหรับบรรจุของเหลวที่ต้องการหาค่าความหนืดหรือสัมประสิทธิ์ของความหนืด และทำเครื่องหมายบนกระบอกแก้วทุกระยะ 35-50 เซนติเมตร
* จับเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมที่มีความหนาแน่นต่างกัน 3 ชนิด ขณะที่วัตถุมีอัตราเร็วคงที่ในช่วงที่วัตถุเคลื่อนที่ต่ำจากผิวของเหลวเล็กน้อย และวัดระยะทางของการเคลื่อนที่ในช่วงเวลานั้น โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง และหาอัตราเร็วเฉลี่ย
* หาสัมประสิทธิ์ของความหนืดของของเหลวโดยการคำนวณและแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ (14.3) จากการทดลองกับวัตถุแต่ละชนิด
* หาสัมประสิทธิ์ของความหนืดของของเหลวจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (รัศมี)^2 กับอัตราเร็วของวัตถุทรงกลมชนิดเดียวกัน แต่มีขนาดต่าง ๆ กันซึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ ในของเหลวเดียวกัน

ข้อควรระวังในปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

สรุปการทดลอง

* เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดของของเหลวที่หาได้จากการคำนวณตามสมการ (14.3) กับค่าที่ได้จากกราฟ
* หาความเคลื่อนคลาด (คิดเป็นร้อยละ) ของค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดของของเหลวที่ได้จากการทดลอง โดยเทียบค่าที่ทราบแน่นอนและถือว่าเป็นค่าที่ถูกต้อง
* วิจารณ์การทดลองในแต่ละครั้งว่ามีสาเหตุใดบ้างที่ทำให้เกิดความเคลื่อนคลาด