

Appunti di Fisica

– Note da un corso di Fisica per Scienze Naturali –

Giulio D'Agostini
Dipartimento di Fisica, Università "La Sapienza", Roma

13 giugno 2013

Indice

1	Misure di densità	1
1.1	Massa e forza peso	1
1.1.1	Sistema Internazionale e unità di misura	2
1.2	Forze	5
1.3	Legge di gravità ('Legge di Newton')	7
1.3.1	Forza di Newton e forza di Coulomb	9
1.4	Forze e accelerazione: massa come inerzia	10
1.4.1	Sull'unità di misura della forza	12
1.5	Gravi fermi, in caduta libera e in 'caduta frenata'	12
1.5.1	Caduta libera per effetto della forza di gravità	13
1.5.2	Accelerazione di caduta libera e "g convenzionale"	14
1.5.3	Sui diversi modi di scrivere g: 9.8 m/s^2 ; 9.8 (m/s)/s ; 35 (km/h)/s ; 9.8 N/kg	16
1.5.4	Caduta a velocità costante	18
	Caso di resistenza dell'aria proporzionale alla velocità	20
1.6	Misure di massa	20
1.7	Misura di massa con la bilancia di laboratorio	22
1.8	Misure di volume	24
1.8.1	Solidi regolari	24
	Volume di un parallelepipedo rettangolo	24
	Volume di un prisma retto a base triangolare	25
	Volume di un cilindro	26
	Volume di un cono	26
	Volume di una sfera	27
	Volume di un ellissoide	27
1.8.2	Solidi irregolari non 'interagenti' con l'acqua (con digressione sul concetto di sensibilità)	29
1.8.3	Sensibilità di un dispositivo di misura	29
1.8.4	Casi più complicati	30
1.8.5	Volume di un palloncino	31
1.9	Numero di moli di aria dall'equazione di stato dei gas perfetti	32
1.10	Peso molare dell'aria secca (e digressione sulle incertezze)	34
1.11	Densità dell'aria secca ed effetto dell'umidità	38
1.11.1	Tasso di umidità e pressione (parziale) di vapore	38
1.11.2	Dipendenza della densità dell'aria da umidità e pressione	42
1.12	Pesa più un chilo di piombo o un chilo di polistirolo?	43
1.13	Risultati e cifre 'significative'	44
1.13.1	Densità di solidi metallici	44

1.13.2	Densità dell'aria dalla dati della 'bottiglia vuota'	44
1.13.3	Densità dell'aria dai dati dell'esperimento con il palloncino	44
1.13.4	Densità del polistirolo	46
1.14	Programmi in linguaggio R	47
1.14.1	Formula (1.12)	47
1.14.2	Figura 1.4	48
1.14.3	Massa molare media e densità dell'aria secca	48
1.14.4	Figura 1.22	49
1.14.5	Formula (1.101)	49
1.14.6	Figura 1.25	49
1.14.7	Densità dell'aria: caso generale (1.107)	50
1.15	Problemi	51
2	Fondamenti della meccanica e dell'idrostatica	55
2.1	Principi della Meccanica (leggi di Newton)	55
2.2	Velocità e accelerazione	56
2.2.1	Spazio percorso, distanza, velocità e accelerazione	56
2.2.2	Velocità media, velocità media delle componenti e vettore velocità media	58
2.2.3	Velocità istantanea	60
2.2.4	Accelerazione	62
2.2.5	Esempi numerici	62
	Posizione di un oggetto a tre istanti diversi	62
	Accelerazione ortogonale alla velocità che un corpo aveva ad un certo istante	63
	Accelerazione ortogonale, istante per istante, alla direzione del moto	64
	Uso delle equazioni orarie	64
2.2.6	Equazioni orarie e traiettoria	65
2.3	Analisi di un caso reale	66
2.4	$a(t) \rightarrow v(t) \rightarrow s(t)$	70
2.5	Principio di inerzia e sistemi di riferimento inerziali	74
2.5.1	Sistemi di riferimento inerziali e non inerziali	74
2.5.2	Forze inerziali	76
2.6	Cambiamento di sistema di riferimento	76
2.6.1	Sistemi di riferimento traslati	76
2.6.2	Sistemi di riferimento in moto relativo uniforme	77
2.6.3	Gare su un fiume	79
	Gara di attraversamento	79
	Gara di andata e ritorno	79
2.6.4	Oggetto rimbalzante visto da treno in movimento e da stazione	80
2.7	Principio di relatività di Galileo	80
2.7.1	Il gran Navilio	80
2.8	Seconda legge del moto di Newton	81
2.8.1	Natura vettoriale della forza	82
2.8.2	Composizione delle forze	82
2.8.3	Scomposizione di una forza	83
2.9	Azione e reazione	86
2.9.1	Un semplice 'esperimento' come test riassuntivo	87
2.9.2	Peculiarità delle reazioni vincolari e della forza di attrito statico	88
2.10	Secondo e terzo principio rivisti	89

2.10.1	Quantità di moto di un corpo e impulso di una forza	90
2.10.2	Equivalenza delle due formulazioni	92
2.10.3	Terzo principio e conservazione della quantità di moto	92
	Un classico problemino	94
2.10.4	Forza \times spostamento e variazione di $mv^2/2$	95
	Corpo lanciato verso l'alto con velocità iniziale v_0	96
	Corpo cade di un tratto h	97
2.11	Pressione	98
2.12	Forza e pressione	98
2.12.1	Unità di misura e alcuni valori di riferimento	99
2.13	Pressione nei fluidi	102
2.13.1	Legge di Stevino e principio di Archimede	103
	Analisi di una porzione di fluido in condizioni di equilibrio	103
	Paradosso idrostatico	104
	Spinta verso l'alto di corpi immersi in fluidi	105
2.13.2	Principio di Pascal	106
2.14	Ulteriori considerazioni e qualche problemino pratico	110
2.14.1	Condizione di galleggiamento	110
2.14.2	Pressione sopra e sotto il tappo della bottiglia rovesciata	112
2.14.3	Sperimentando su principio di Archimede e principio di azione-reazione	112
2.14.4	Un altro simpatico quesito	114
2.14.5	Pressione all'interno del palloncino	114
2.14.6	Densimetri a galleggiamento	116
2.15	Dall' <i>error vacui</i> alla 'rivoluzione torricelliana'	118
2.15.1	Perché non si riesce ad aspirare l'acqua oltre le '18 braccia'??	119
2.15.2	Esperimento di Gasparo Berti	120
2.15.3	Peso dell'aria e 'creazione' del vuoto	120
2.15.4	Macchine per il vuoto ed <i>emisferi di Magdeburgo</i>	122
2.16	Riepilogo delle varie forze incontrate	122
2.17	Problemi	124
3	Dalla Terra alla Luna (e oltre)	127
3.1	Forma e dimensioni della Terra: da Anassimandro a Eratostene	128
3.2	Miscellanea	132
3.3	Problemi	138
4	Luce, colori e sistemi ottici elementari	141
4.1	Una curiosa anomalia dei satelliti di Giove (Rømer, 1676)	141
4.1.1	Analogia con effetto Doppler	142
4.2	Altre misure storiche della velocità della luce	142
4.2.1	Aberrazione della luce (Bradley, 1725)	143
	Esercizio	143
4.2.2	Intermezzo: parallasse	144
	Parsec	146
4.2.3	Prime misura terrestre della velocità della luce (Fizeau, 1849; Foucault, 1850)	146
4.3	Introduzione all'ottica geometrica	149
4.3.1	Concetti di base di una teoria fenomenologica	149
4.4	Reinterpretazione delle leggi dell'ottica: Fermat, Huygens, Maxwell	152

4.4.1	Principio di Fermat	152
	Riflessione	152
	Rifrazione	154
4.4.2	Principio di Huygens	155
	Altri tipi di rifrazione	156
	Cenni su rifrazione	156
4.4.3	Sintesi maxwelliana	156
4.5	Fenomeni dovuti alla rifrazione	156
4.5.1	Sollevamento del fondo di un bicchiere (e accorciamento delle gambe al mare)	156
4.5.2	Rifrattometri	157
4.5.3	Miraggi	159
4.5.4	Aberrazione della posizione dei corpi celesti	159
4.6	Concetto di immagine – specchi piani e specchi sferici	162
4.6.1	Camera oscura	164
4.6.2	Immagini di immagini in sistemi di specchi piani	166
4.6.3	Fisica del biliardo, parte 1: tiri di sponda	167
4.7	Specchi sferici, diottri e lenti	168
4.7.1	Fuoco di uno specchio concavo (con misura del raggio della sfera)	173
4.7.2	Superfici speculari concave e convesse	173
4.7.3	Fuoco di lenti di occhiali da presbite	173
4.7.4	Defocalizzazione di lenti di occhiali da miope	173
4.7.5	Osservazione del fuoco virtuale di lenti divergenti	174
4.7.6	Diottro cilindrico (cucchiaino in un bicchier d'acqua)	174
	Esperimento in aula	174
4.8	Dispersione della luce	175
4.8.1	Prisma	175
4.8.2	Il 'fuoco' del diamante	175
4.8.3	Arcobaleno	175
4.8.4	Oggetti colorati, cielo azzurro e tramonto rosso: dipendenza dal colore della diffusione	176
	Il colore degli oggetti	176
	Diffusione da molecole di aria secca e da vapore acqueo	176
	Sole rosso al tramonto (e al suo sorgere)	176
	“Rosso di sera bel tempo si spera”	176
	Montagne azzurre	176
4.8.5	Diaframma delle macchine fotografiche e suo effetto sulla messa a fuoco	176
4.9	Problemi	181

Elenco delle figure

1.1	Ginnasta alle prese con un estensore	6
1.2	Allungamento di elastici e molle	7
1.3	Esperimento sulla nave del film Agorà	8
1.4	Forza gravitazionale su un corpo di massa unitaria	9
1.5	Forza gravitazionale e forza elettrica	10
1.6	Esperimento di caduta dei gravi eseguito sulla Luna	14
1.7	Caduta in aria e caduta in vuoto	15
1.8	Velocità in funzione del tempo di un oggetto lanciato verso l'alto	16
1.9	Corpi soggetti ad accelerazione	17
1.10	Fisica del lancio con paracadute	19
1.11	Bilancia a due piatti e stadera	21
1.12	Bilancia elettronica da laboratorio	23
1.13	Prisma retto a base irregolare	25
1.14	Calcolo di volume di prismi	25
1.15	Calcolo del volume di un cilindro e di un cono	26
1.16	Calcolo del volume di una sfera e di un ellissoide	28
1.17	Caratteristica di risposta di uno strumento. L'eventuale <i>soglia di discriminazione</i> corrisponde al segnale minimo al quale lo strumento reagisce.	30
1.18	Determinazione del volume di un palloncino	31
1.19	Geoide e ellissoide	35
1.20	Geoide EGM96: variazioni di altezza rispetto all'ellissoide di riferimento	35
1.21	Composizione dell'aria	37
1.22	Densità dell'aria secca in funzione della temperatura	39
1.23	Barometro aneroide	40
1.24	Pressione di vapore dell'acqua in funzione della temperatura	41
1.25	Pressione di vapore dell'acqua in funzione della temperatura	42
1.26	Cilindro, cono e bottiglia 'vuota'	44
2.1	Treno in movimento	56
2.2	Moti rettilinei e circolari, uniformi e non	57
2.3	<i>Proprietà dei vettori spostamento. Nella composizione dei vari spostamenti lo spostamento totale è indicato con il tratteggio.</i>	59
2.4	Generica traiettoria nel piano	61
2.5	Variazione di velocità di un corpo soggetto ad accelerazione di gravità	64
2.6	Moto con accelerazione linearmente decrescente	67
2.7	Esperimento della pallina lanciata orizzontalmente	69
2.8	Ricostruzione della traiettoria della pallina	70
2.9	Velocità e spostamento in un moto uniformemente accelerato	72

2.10	$a(t)$, $v(t)$ e $y(t)$ nel problema dell'oggetto lanciato verticalmente	73
2.11	Lanciatore di martello in una gara di atletica	75
2.12	Cambiamento di sistemi di riferimenti	77
2.13	Trasformazioni di coordinate fra sistemi di riferimento in moto relativo uniforme	78
2.14	Rimorchiatori trainano una nave	82
2.15	Scomposizione di una forza diretta verso il basso	83
2.16	Epitafio di Stevino	84
2.17	Tiro alla fune	86
2.18	Bottiglia ferma su un tavolo e inventario delle forze in gioco	87
2.19	Forza di attrito su un piano verticale	89
2.20	Macchina che percorre un 'doppio loop'	90
2.21	Propulsione e frenamento mediante la conservazione della quantità di moto	93
2.22	Pressione dei piedi su terreno: disomogeneità, effetti dinamici e attenuazione	98
2.23	Pressione esercitata di una bottiglia d'acqua rovesciata	101
2.24	Forze su <i>superfici di test</i> dovute alla pressione all'interno di un fluido	102
2.25	Forze di pressione su oggetti immersi in un fluido	103
2.26	Paradosso idrostatico	105
2.27	Variazione di pressione e principio di Pascal	107
2.28	Vasi comunicanti	107
2.29	Esperimento di Boyle sulla <i>elasticità</i> dei gas	110
2.30	Analisi delle forze agenti su un corpo galleggiante	111
2.31	Forze di pressione su un contenitore	111
2.32	Misura della reazione alla spinta di Archimede	112
2.33	Grafici dei dati delle misure di affondamento di solidi in recipiente contenente acqua e posto su una bilancia	114
2.34	Misura della pressione all'intero del palloncino	115
2.35	Densimetri e termometro di Galileo	117
2.36	Densità di acqua e ghiaccio in funzione della temperatura	118
2.37	Gatto che beve con la cannucchia	119
2.38	Esperimento di Berti	121
2.39	Evangelista Torricelli	122
2.40	Emisferi di Magdeburgo	123
3.1	Mappa di Macrobio delle zone climatiche del <i>Somnus Scipionis</i>	129
3.2	Terra fotografata dall'Apollo 17	130
3.3	Effetti visivi della curvatura terrestre	131
3.4	Inclinazione dei raggi solari rispetto alla verticale	132
3.5	Stima delle dimensioni della Luna dall'ombra della Terra	133
3.6	Lunghezza di un arco di meridiano di un grado in funzione della latitudine	134
3.7	Forza di gravità dal centro della Terra a 10 raggi terrestri	135
3.8	Disegno di Newton che mostra l'analogia fra gravi in caduta e gravi orbitanti	135
3.9	Moto circolare uniforme: equazioni orarie delle possibili coordinate	136
3.10	Equazioni orarie, velocità e accelerazioni delle componenti	137
4.1	Misura della longitudine e scoperta della velocità finita della luce	142
4.2	Aberrazione della direzione luce stellare	143
4.3	Errore di parallasse	144
4.4	Angolo di parallasse	145
4.5	Esperimento di Fizeau per la determinazione della velocità della luce	147

4.6	Esperimento di Foucault per la determinazione della velocità della luce	148
4.7	Concetti di base dell'ottica geometrica	150
4.8	Cucchiaino 'spezzato' dalla rifrazione	151
4.9	Principio di Fermat applicato a riflessione e rifrazione	153
4.10	Profondità apparente di un corpo in acqua	158
4.11	Miraggi inferiore e superiore (normale e invertito)	160
4.12	Miraggio inferiore e superiore	161
4.13	Effetto di sole a Ω durante il suo sorgere	162
4.14	Aberrazione della luce dovuta alla rifrazione	163
4.15	Specchio piano e occhio umano	164
4.16	Camera oscura	165
4.17	Immagini da specchi posti a 90 gradi	166
4.18	Tiri di sponda	167
4.19	Specchi sferici e lenti	169
4.20	Fuochi di specchi e lenti. Convenzione dei segni	170
4.21	Condizione per immagini reali	171
4.22	Costruzione grafica di immagini	172
4.23	Misura 'artigianale' del raggio di curvatura di uno specchio sferico	173
4.24	Ingradimento orizzontale di un diottro cilindrico	174
4.25	Dispersione della luce e 'fuoco' di un diamante	175
4.26	Arcobaleno su uno spruzzo d'acqua	176
4.27	Apertura di diaframma di foto- e videocamere	178
4.28	Apertura del diaframma e profondità di campo	179
4.29	Apertura del diaframma e profondità di campo	180