



Dipartimento di Matematica e Fisica
Ennio De Giorgi

XIV Scuola Estiva di Fisica

GARA A SQUADRE

6 Settembre 2024



Associazione per l'Insegnamento della Fisica
Sezione del Salento

Gli esercizi provengono da vari libri di testo, archivi sia cartacei che on line, problemi dei Campionati di Fisica.

- LA GARA HA UNA DURATA DI 2 ore.
- Il tempo disponibile per scegliere il Jolly è 15 minuti.
- Durante la prima ora la Capitana, o il Capitano, della squadra potrà rivolgere domande di chiarimento sul testo tramite bigliettino.
- Se non diversamente richiesto, le risposte sono da fornire nelle unità del Sistema Internazionale.
- Per raggiungere la tolleranza richiesta si consiglia di effettuare i calcoli conservando, durante eventuali passaggi intermedi, tutte le cifre, utilizzare i valori numerici forniti in tabella e procedere all'arrotondamento solo alla fine.
- I risultati vanno riportati in forma decimale, non in notazione scientifica, con un massimo di 5 cifre significative.

TABELLA DELLE COSTANTI FISICHE

Denominazione	Simbolo	Valore
Accelerazione gravitazionale terrestre	g	9.81 m/s ²
Costante di gravitazione universale	G	$6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$
Velocità della luce	c	$2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$
Costante dielettrica del vuoto	ϵ_0	$8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N} \cdot \text{m}^2)$
Densità acqua	ρ_a	$1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Densità acqua di mare	ρ_m	$1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Densità aria	ρ_0	1.29 kg/m^3
Densità ferro	ρ_{Fe}	$7.87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Densità mercurio	ρ_{Hg}	$13.579 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Velocità del suono in aria a $T_0 = 273.15 \text{ K}$	v_0	331 m/s
Calore specifico acqua	c_0	$4.187 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
Indice di rifrazione dell'acqua	n_a	1.33
Raggio terrestre	R_T	6375 km
Massa terrestre	M_T	$5.972 \times 10^{24} \text{ kg}$
Coefficiente di dilatazione lineare del ferro	λ_{Fe}	$12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
Coefficiente di dilatazione lineare del mercurio	λ_{Hg}	$18.1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$
Coefficiente di dilatazione volumica del mercurio	β_{Hg}	$5.43 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$
Pressione atmosferica	p_0	$1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$
Electronvolt	eV	$1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$

Sono il capitano Atsushi Marlock, uno dei pochi superstiti scampati agli eventi estremi che hanno devastato la nostra civiltà, il cui modello fallimentare, fondato sul profitto, è stato la causa del drammatico cambiamento climatico. Dal 2050 in poi, ovunque c'erano stati terremoti, tempeste violente ed inondazioni. Anche i virus hanno contribuito a sterminare un'umanità già in ginocchio. Quel poco che ne restava ha comunque lottato unito per la sopravvivenza.

1. Tsunami

Ricordo benissimo il 6 Settembre del 2050. Quel giorno, un terremoto in Alaska, avvenuto nell'oceano ad una profondità h pari a 4000 m, ha prodotto un'onda di tsunami, che procedeva con una velocità v funzione solo di h e dell'accelerazione di gravità g . Il comando generale della nostra base, che si trovava a riva a circa 150 km dal punto H della superficie posto sopra l'epicentro, doveva calcolare al più presto quanto tempo (arrotondato al secondo, tolleranza 1 s) avevamo a disposizione per l'evacuazione, e quali dispositivi potevamo mettere in salvo. Le uniche informazioni erano che la velocità dell'onda nel punto H valeva 200 m/s, e che il suo valore medio lungo il percorso da H fino a noi era pari al valore assunto ad una profondità $\bar{h} = 457$ m. I fisici della base erano in grado di effettuare il calcolo in tempi trascurabili.

2. Virata!

Molti riuscirono a lasciare la base con gli elicotteri, dopo aver caricato quanto possibile nella stiva dell'unico aereo, sul quale ero a bordo. Stavamo volando ad una velocità di 900 km/h, con il radar che non funzionava bene. I nostri piloti furono costretti ad affrontare una situazione di emergenza quando di fronte a loro apparve dalla nebbia una montagna. Per evitarla dovevano seguire una traiettoria circolare di raggio 8.20 km, e decidere di quanto inclinare il piano alare rispetto all'orizzontale (in gradi, tolleranza 0.1°), mantenendo costante la velocità. I calcoli erano da effettuare ricordando che un aereo è sostenuto in volo dalla portanza, sempre diretta perpendicolarmente al piano delle ali, tale da bilanciare la forza peso nella direzione verticale.

3. Onda d'urto

La mia famiglia viveva vicino a San Francisco, e sapevo che a breve la città sarebbe stata investita dall'onda anomala, che si stimava sarebbe giunta a riva con una velocità di 10 m/s e un'intensità pari a 300 kW/m^2 . Agli ingegneri bisognava comunicare il valore della pressione p dell'onda (tolleranza 1 Pa), per decidere quali edifici erano strutturalmente in grado di resistere. È infatti ai loro piani alti che si pianificava di mettere in salvo gran parte della popolazione. Viveva tanta gente, ed era angosciante sapere che non tutti si sarebbero salvati.

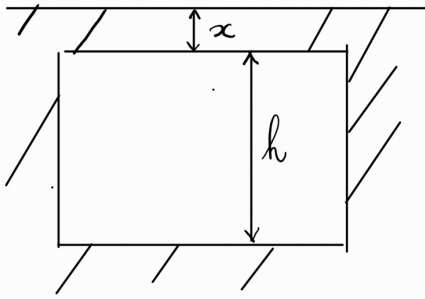
4. Bilanciamento

Il ricordo di queste terribili onde anomale mi riporta a come cercavamo di prevedere i maremoti, posizionando lungo le faglie sottomarine maggiormente pericolose, dei sensori. Per la missione alla quale partecipai usammo un sottomarino nucleare Amak38, che aveva una massa di 23200 t in emersione e di 33800 t in immersione. Dovevamo rimanere in equilibrio a 200 m di profondità con le vasche di zavorra piene. Vedo ancora il comandante mentre dimostrava a un marinaio incredulo che, per lo svuotamento delle vasche di zavorra (lasciando il vuoto al posto dell'acqua) il consumo di carburante nucleare (in g, tolleranza 1 %), composto da uranio-235, era davvero esiguo. Infatti l'energia liberata in un evento di fissione di un nucleo di uranio-235 è pari a 0.20 GeV , e $1 \text{ kg uranio} = 2.56 \times 10^{24}$ atomi ...

5. Scoperchiamento

La mia famiglia non temeva gli tsunami, vivendo nelle zone interne. Per loro il rischio maggiore era rappresentato dagli uragani. Mentre ero ancora in missione, mi torturavo cercando di capire se il tetto di casa nostra fosse abbastanza robusto per resistere alla spinta del vento: una forza superiore a $18.0 \times 10^4 \text{ N}$ l'avrebbe divelto. La superficie del tetto era 100 m^2 . Gli anemometri mi fornivano la velocità v del vento. Per quale valore soglia (in m/s, tolleranza 1%) dovevo avvisarli di cercare un altro riparo? E lo avrebbero trovato?

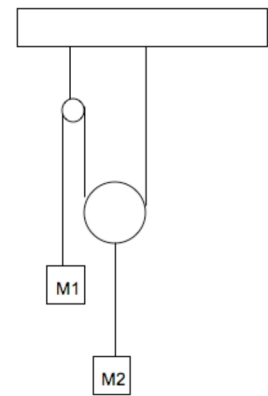
6. Nelle caverne



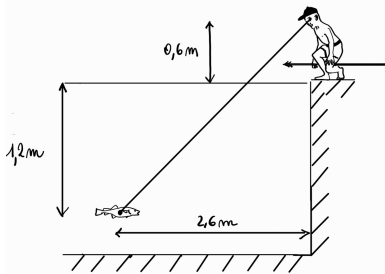
Alla fine il comando operativo ci permise di raggiungere le nostre famiglie. La frequenza degli eventi era in crescendo e noi, come altri, fummo costretti a cercare ripari naturali. Il nostro gruppo ha trovato un rifugio ideale in una caverna situata in alto su una montagna, al sicuro dalle inondazioni e dalle forti tempeste. Per determinare l'altezza h della caverna (in m, tolleranza 1%) e decidere se fosse adatta, trovandoci sul suolo sotto il quale è situato a distanza x il soffitto della caverna, il cui pavimento si trova a distanza h da tale soffitto, abbiamo inviato verso il basso un impulso sonoro. Quando l'impulso raggiungeva il soffitto, una parte veniva riflessa, mentre l'altra procedeva verso il basso, fino a venir riflessa dal pavimento della caverna. I suoni inviati colpivano i rivelatori posati sul suolo - lo annotai personalmente su un taccuino - agli istanti 0.031 s e 0.052 s. La caverna era piena di aria a 18°C da considerare come un gas perfetto.

7. Paranco

La nostra caverna aveva una via di ingresso molto lunga. Abbiamo quindi deciso di praticare un foro sul soffitto da utilizzare per calare i rifornimenti. Allo scopo fu costruito un semplice paranco, con delle funi che avevano elevati carichi di rottura. La prima volta in cui attaccammo una cassa di massa $m_2 = 100$ kg, ci serviva sapere il valore minimo del contrappeso m_1 (in kg, tolleranza 1%) affinché l'accelerazione del carico verso il basso non superasse 3 m/s^2 , onde evitare che la cassa si rompesse nell'impatto al suolo, a dispetto dei materassi disposti per ammortizzare la caduta. Le carrucole erano ideali, cioè prive di massa e di attrito.



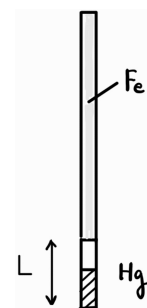
8. Che mira!



Quando le condizioni meteorologiche (accadeva di rarissimo) lo permettevano, uscivamo per pescare, utilizzando una lancia ricavata dal legno. Vedendo il pesce a una distanza apparente dal bordo del lago pari a 2.6 m (il disegno a fianco non è in scala), cercavo di ricordare le nozioni di ottica apprese per stimare la distanza effettiva dal bordo e mirare giusto. Non c'era molto tempo a disposizione, sbagliare era un lusso. Anche i pesci si facevano sempre più rari.

9. Compensazione

Il pesce essiccato era un gustoso diversivo per affrontare i lunghi periodi in cui era impossibile uscire dalla caverna a causa del susseguirsi di tempeste furiose all'esterno. Sentivamo la necessità di misurare il tempo che passava, e per questo abbiamo realizzato un orologio a pendolo. Le escursioni termiche non erano grandi, tuttavia compensavamo gli effetti dovuti alla dilatazione termica in questo modo: un tubo di vetro di lunghezza L era quasi riempito di mercurio ed era fissato all'estremità di una sbarra rigida di ferro lunga 100 cm, che costituiva il pendolo. Regolando alla giusta altezza (in cm, tolleranza 1%) il mercurio nel tubo riuscivamo a far sì che il centro di massa del pendolo non si innalzasse o si abbassasse con la temperatura. La massa del vetro può essere considerata trascurabile, così come la sua dilatazione, tuttavia le sezioni del tubo e dell'asta, essendo molto piccole, possono sempre essere considerate come identiche.

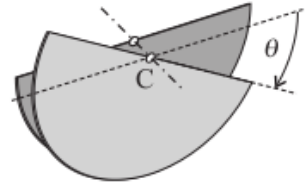


10. Sismografo

Dentro la grotta, per scongiurare il rischio di rimanere intrappolati in caso di terremoto, monitoravamo l'attività sismica. Il sismografo fatto da noi registrava le onde S e P , che mediamente viaggiavano nel terreno con velocità $v_s = 4.5$ km/s e $v_p = 8.2$ km/s. La prima volta che lo abbiamo messo in funzione, fu rilevata una prima onda P con 18 secondi di anticipo rispetto all'onda S , e questo ci permetteva di stimare la distanza D (in km, tolleranza 1%) tra noi e l'epicentro. Se l'attività fosse aumentata non avremmo avuto altra scelta che uscire dalla caverna. Per fortuna questo non avvenne mai nella zona in cui ci trovavamo. Grazie al sismografo avevamo guadagnato un po' di tranquillità.

11. Sintonizzati

Nella caverna fu un giorno di festa quando finalmente riuscimmo a costruire una radio: da settimane eravamo tagliati fuori dal mondo! Il condensatore variabile era stato realizzato utilizzando due armature disposte parallelamente a forma di semicerchi di raggio 30 cm, poste a distanza 3 mm, in aria. Una delle due armature era fissa e disposta con il diametro orizzontale, mentre l'altra poteva ruotare di un angolo θ (compreso tra 0° e 180°) attorno ad un asse perpendicolare alle armature e passante per il centro del cerchio. Per sintonizzarci sul segnale delle notizie governative, dovevamo regolare il valore dell'angolo (positivo come in figura) in modo tale che $C(\theta)$ fosse uguale a 0.2 nF.



12. Stay tuned!

Succedeva che per esplorare il territorio circostante alla ricerca di risorse di vario genere, alcuni di noi si allontanassero correndo sempre grandi rischi. Avevamo con noi dei walkie-talkie, che emettevano segnali alla potenza di 0.50 W sulla frequenza di 460 MHz, che si propagavano come un'onda sferica. L'antenna ricevente aveva la forma di un cilindro di raggio 0.50 cm e altezza 10 cm, e captava segnali di potenza minima 1.0×10^{-11} W. Era importante conoscere una stima della distanza massima alla quale due di noi potevano comunicare (in m, arrotondato all'unità, tolleranza 1 m), disponendo l'antenna nella posizione ottimale, e cioè con l'asse perpendicolare alla direzione di propagazione del segnale radio, localmente assimilabile a un'onda piana.

13. Ipnosi

Dalla radio governativa arrivarono finalmente notizie che diffusero speranza nei nostri animi. Venne annunciato che erano state costruite enormi stazioni spaziali nelle quali ci saremmo potuti rifugiare in attesa di un miglioramento del clima anche se probabilmente ci sarebbero voluti decenni! Durante il tempo in cui saremmo stati in orbita, uno dei progetti per raffreddare il pianeta era di sparare in stratosfera delle microparticelle che avrebbero funzionato da ombrellone gigante. I piloti dei jet addetti al rilascio già si stavano allenando a sopportare le forti accelerazioni in cabine speciali, che riescono a simulare accelerazioni fino a $9g$, lungo una direzione rettilinea orizzontale. Per aiutare i piloti a superare lo stress psicofisico, al soffitto di ogni cabina era stato appeso un pendolo ipnotico, lungo 0.20 m. Il valore ottimale del periodo di oscillazioni (in s, tolleranza 1%) per entrare in ipnosi si raggiungeva quando l'accelerazione della cabina era pari a $2g$.

14. Gravità artificiale

È fatta, tutti i sopravvissuti alle catastrofi e alle epidemie, circa 100 000 persone, vivono ormai stabilmente nelle città orbitanti. Il rifornimento è assicurato dai cargo-jet che continuamente viaggiano tra la Terra e le città. La vita non è facile quassù, tutto è razionato, e le giornate scorrono monotone, ma siamo felici di essere vivi, ed io che ho tutta la famiglia vicina, mi sento un privilegiato.

Tuttavia l'uomo non può vivere a lungo in assenza di gravità senza subire danni fisici permanenti. Dunque le città, che sono a forma di anello con un raggio esterno di 500 m, effettuano attorno al loro asse diversi giri al minuto (tolleranza 0.1 %), in modo che la gravità artificiale prodotta alla sommità del capo di una persona che si trovi sul bordo esterno, alta 1.70 m sia 9.81 m/s².

15. Cambio di orbita

Talvolta era necessario effettuare un cambio di orbita al fine di evitare alcuni asteroidi. Ricordo di quando siamo passati da un'orbita circolare di raggio R a un'orbita ellittica di afelio $2R$. I motori furono accesi per un tempo trascurabile, in modo da aumentare la velocità della città istantaneamente di una quantità Δv , senza modificarne la direzione. Per capire la spinta da fornire, si faceva ricorso al rapporto v_f/v_i (tolleranza al millesimo), dove v_i è la velocità subito prima dell'accensione dei motori, e v_f quella subito dopo. È utile sapere che in un'orbita ellittica di semiasse maggiore a , l'energia del sistema per unità di massa è $-GM/2a$.

So bene che per me e i miei figli la vita trascorrerà su questa città orbitante. Hanno promesso solo brevi periodi di sosta sul pianeta, a turnazione. Spero che le generazioni successive potranno nuovamente vivere stabilmente sulla Terra in sicurezza, godendo della bellezza della natura. A noi il compito di tramandare e sviluppare le conoscenze scientifiche, condurre esperimenti, simulazioni, calcoli, ma anche coltivare le scienze umane, per non dimenticare chi siamo stati, e dare all'umanità una nuova occasione fondata sulla comprensione reciproca e la solidarietà. Pensandoci bene, non è proprio questo che si fa a scuola? Buon anno scolastico a tutti!!