

Laboratorio di Fisica 1

R12: Misura della velocità del suono

Gruppo 15: Bergamaschi Riccardo, Graiani Elia, Moglia Simone

28/05/2024 – 04/06/2024

Sommario

Il gruppo di lavoro ha misurato la velocità del suono mediante lo studio di onde stazionarie in una colonna d'aria.

0 Materiali e strumenti di misura utilizzati

Strumento di misura	Soglia	Portata	Sensibilità
Metro a nastro	0.1 cm	300.0 cm	0.1 cm
Calibro ventesimale	0.05 mm	150.00 mm	0.05 mm
Oscilloscopio ¹	2.5 ms	N./A.	2.5 ms

Altro	Descrizione/Note
Tubo in plastica	Nel quale facciamo propagare le onde sonore.
Oscilloscopio	Permette di visualizzare la forma d'onda emessa e quella rilevata dal microfono.
Generatore di funzioni d'onda	Con cui possiamo regolare frequenza, ampiezza e forma d'onda delle onde generate.
Altoparlante	Utilizzato per emettere le onde sonore.
Microfono a condensatore	Utilizzato per rilevare le onde di pressione.
Pistone	Finalizzato alla chiusura di un'estremità del tubo.

¹

1 Misura indiretta mediante le frequenze di risonanza

1.1 Esperienza e procedimento di misura

1. Mediante il termometro ambientale, misuriamo la temperatura ambiente T_{amb} .
2. Con il metro a nastro misuriamo la lunghezza del tubo L , mentre con il calibro ventesimale il suo diametro interno $\varnothing = (38.20 \pm 0.05) \text{ mm}$.
3. Accesi l'oscilloscopio e il generatore di forme d'onda, regoliamo l'ampiezza in modo da poter percepire un suono.
4. Inseriamo il microfono dentro al tubo in modo che riesca a rilevare le onde chiaramente, quindi assicurandoci che, in presenza di onde stazionarie, non si trovi in corrispondenza di un nodo.
5. Aumentiamo la frequenza fino a trovare, mediante l'oscilloscopio, il primo massimo relativo nell'ampiezza del segnale rilevato dal microfono: questa sarà la prima frequenza di risonanza, ovvero l'armonica fondamentale.
6. Ripetiamo più volte il passaggio precedente, in modo da ottenere le prime armoniche (multiple della fondamentale).

Il gruppo di lavoro ha effettuato nuovamente gli stessi passaggi più volte, mantenendo l'estremità del tubo opposta all'altoparlante chiusa tramite il pistone. In questo caso la lunghezza del tubo da considerare è quella tra l'estremità aperta e il pistone.

1.2 Analisi dei dati raccolti

Nota. Avendo valutato gli errori sulle grandezze misurate direttamente come piccoli, casuali e indipendenti, per svolgere ogni calcolo abbiamo utilizzato la tradizionale propagazione degli errori.

La frequenza emessa è una delle frequenze di risonanza del tubo se e solo se all'interno di quest'ultimo si forma un'onda stazionaria. In tal caso:

- se il tubo è aperto a entrambi gli estremi, lì la pressione è costante (quella atmosferica) e si formano due nodi. La lunghezza d'onda sarà allora della forma:

$$\lambda_n^a = \frac{2L}{n}, \quad n \in \mathbb{N}$$

- se invece il tubo è chiuso ad un estremo, lì si forma un ventre, mentre all'altro estremo (dove la pressione è quella atmosferica, costante) si forma un nodo:

$$\lambda_n^c = \frac{4L}{n}, \quad n \in \mathbb{N} \text{ dispari}$$

Tuttavia, non trattandosi di nodi e ventri ideali, è necessario effettuare una correzione empirica:

$$\lambda_n^a = \frac{2L + 1.6\varnothing}{n}, \quad n \in \mathbb{N}; \quad \lambda_n^c = \frac{4L + 1.6\varnothing}{n}, \quad n \in \mathbb{N} \text{ dispari}$$

Moltiplicando ambo i membri per la rispettiva frequenza di risonanza (ν_n^a o ν_n^c) e ricordando che $\lambda_n^a \nu_n^a = \lambda_n^c \nu_n^c = v$, la velocità del suono:

$$v = \frac{\nu_n^a}{n}(2L + 1.6\varnothing), \quad n \in \mathbb{N}; \quad v = \frac{\nu_n^c}{n}(4L + 1.6\varnothing), \quad n \in \mathbb{N} \text{ dispari}$$

Riarrangiando i termini, si ottiene:

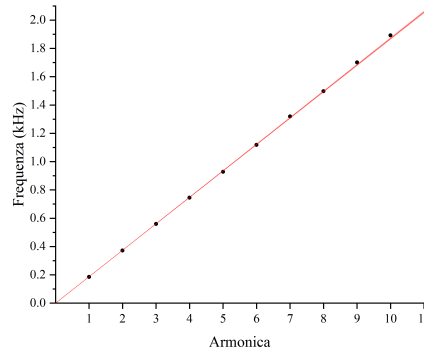
$$\nu_n^a = \xi^a n, \quad n \in \mathbb{N}; \quad \nu_n^c = \xi^c n, \quad n \in \mathbb{N} \text{ dispari}$$

avendo posto, rispettivamente:

$$\xi^a = \frac{v}{2L + 1.6\varnothing}; \quad \xi^c = \frac{v}{4L + 1.6\varnothing}$$

Poiché la dipendenza di ν_n da n è, in entrambi i casi, di proporzionalità diretta, per determinare ξ^a e ξ^c il gruppo di lavoro ha effettuato, per ogni valore di L , una regressione lineare, fissando l'intercetta a 0.

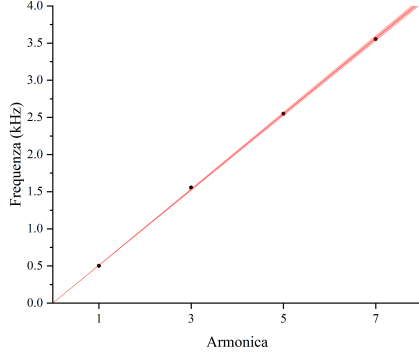
Di seguito riportiamo, in grafico, i dati raccolti, accompagnati dalle rispettive rette di regressione e dai valori di L , ξ e v ottenuti.



$$L = (90.0 \pm 0.1) \text{ cm (tubo aperto)}$$

$$\xi^a = (187.004 \pm 0.008) \text{ Hz}$$

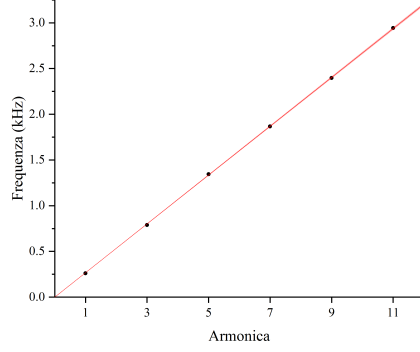
$$v = (348.0 \pm 0.5) \text{ m/s}$$



$$L = (15.4 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\xi^c = (509.5 \pm 0.1) \text{ Hz}$$

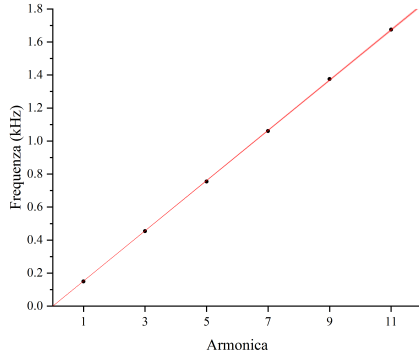
$$v = (345 \pm 2) \text{ m/s}$$



$$L = (30.8 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\xi^c = (267.00 \pm 0.06) \text{ Hz}$$

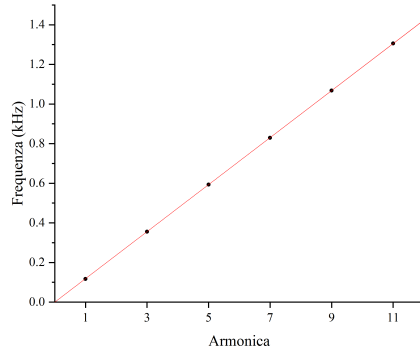
$$v = (345.3 \pm 1.1) \text{ m/s}$$



$$L = (55.4 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\xi^c = (152.12 \pm 0.06) \text{ Hz}$$

$$v = (346.4 \pm 0.7) \text{ m/s}$$



$$L = (71.3 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\xi^c = (118.64 \pm 0.06) \text{ Hz}$$

$$v = (345.6 \pm 0.6) \text{ m/s}$$

In rosso le rette di regressione e in rosa le rispettive regioni di incertezza. Le barre di errore, pur riportate, sono troppo ridotte per risultare visibili.

Osservazione. È immediato notare, sulla base di questi grafici, che le rette di regressione, passanti per l'origine, descrivono accuratamente i dati raccolti: ciò suggerisce che la frequenza di risonanza più bassa da noi misurata sia effettivamente la fondamentale.

1.3 Conclusioni

Per valutare l'affidabilità delle misure di v ottenute è possibile confrontarle con la velocità del suono attesa v_{att} , calcolata sulla base della temperatura ambientale T_{amb} durante l'esperienza, mediante una relazione empirica:

$$v_{\text{att}}(T_{\text{amb}}) = (331.5 + 0.607^\circ\text{C}^{-1} T_{\text{amb}}) \text{ m/s}$$

Per quanto riguarda la prima misura, l'unica col tubo aperto, la temperatura misurata era $T_{\text{amb}}^{\text{a}} = (26.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$: ne segue che $v_{\text{att}}^{\text{a}} = (347.3 \pm 0.3) \text{ m/s}$.

Le altre misure, invece, sono state acquisite ad una temperatura ambiente leggermente inferiore: $T_{\text{amb}}^{\text{c}} = (24.5 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$, da cui $v_{\text{att}}^{\text{c}} = (346.4 \pm 0.3) \text{ m/s}$.

Come è possibile osservare comparando questi risultati a quelli sopra riportati, tutti i valori di v ottenuti risultano compatibili con i rispettivi valori attesi.

2 Misura diretta mediante l'eco

2.1 Esperienza e procedimento di misura

1. Mediante il termometro ambientale, misuriamo la temperatura ambiente T_{amb} .
2. Chiusa l'estremità opposta all'altoparlante tramite il pistone, misuriamo la lunghezza L della colonna d'aria all'interno del tubo.
3. Dopo circa una decina di secondi (non è rilevante per la riuscita dell'esperienza), tramite il generatore forniamo calore all'azoto per mezzo della resistenza.
4. Aspettato ... interrompiamo il flusso di calore e dopo un'altra decina di secondi terminiamo la registrazione video.

2.2 Analisi dei dati raccolti

***Nota.** Avendo valutato gli errori sulle grandezze misurate direttamente come piccoli, casuali e indipendenti, per svolgere ogni calcolo abbiamo utilizzato la tradizionale propagazione degli errori.*

Grazie al filmato possiamo graficare la variazione della massa in funzione del tempo e, successivamente, costruire tre distinte rette di regressione.

Essendo note, oltre all'intervallo di tempo, tensione ed intensità della corrente, è nota anche la quantità di calore fornito: $Q = I\Delta V\Delta t$.

Il calore latente dell'azoto liquido sarà:

2.3 Conclusioni

Come è possibile osservare comparando questi risultati a quelli precedentemente ottenuti, il valore di g risultante è rimasto essenzialmente invariato (al netto della sua incertezza).

In conclusione, possiamo affermare ragionevolmente che, rispetto alla sensibilità degli strumenti di misura, il contributo dell'attrito è trascurabile.