zione di questo rapporto che ha il suo massimo alla temperatura di sparizione e la cui massa di fluido inclusa potrebbe giovare alla determinazione del volume specifico.

Definito così il vero stato critico d'un corpo e determinato con facilità la temperatura critica ed il volume critico si sarebbe fatto un gran passo per dimostrare la generalità del teorema degli stati corrispondenti.

PROPRIETÀ MICROFONICHE DEI GETTI GASSOSI.

Nota di ARISTIDE FIORENTINO ¹⁾.

1. Le singolari proprietà delle fiamme sensibili vengono generalmente considerate come semplici conseguenze della sensibilità che mostrano per i suoni i getti gassosi. Il solo Bouty propose recentemente una spiegazione nella quale si assegna una parte preponderante ai fenomeni propri della combustione ²⁾.

La sensibilità del getto, che per certi suoni si mostra maggiore che per altri, viene poi spiegata anch'essa in maniere abbastanza diverse.

Vi ha il Tyndall che ammette ³⁾ che il gas nel passare per l'orifizio acquisti, per effetto dell'attrito, la tendenza ad assumere un certo movimento vibratorio e prenda anzi effettivamente questo movimento se la velocità del gas abbia raggiunto un certo valore. La presenza nell'aria di un moto vibratorio unisono o quasi con uno di quelli che il gas tende a prendere spontaneamente farebbe sì che la vibrazione si produca anche con una pressione che non sarebbe per sè sola sufficiente. Questa spiegazione è accolta con favore dal Professor Govi ⁴⁾, il quale però non esclude ⁵⁾ che possa anche

1) Lavoro eseguito nell'Istituto di Fisica della R. Università di Parma diretto dal Prof. P. Cardani.

2) J. de Phys 3, 4°, 1895, p. 401.

3) The Sound. Nella traduzione francese, p. 256.

4) N. Cim. 2, 3°, 1870, p. 330.

5) N. Cim. 2, 3°, 1870, p. 333.

trattarsi di un fenomeno di risonanza presentato dalla colonna di gas che « al pari di ogni corpo tonante può, anzi deve, risentirsi dei moti vibratorii dell'aria circostante ». Il Rayleigh ¹⁾, in fine, dimostra sperimentalmente, valendosi di un metodo stroboscopico, che un sottile getto di un fluido (liquido o gas) in un mezzo della medesima natura, assume in vicinanza dell'orifizio, sotto l'azione di un moto vibratorio che si propaghi nel mezzo, un movimento serpentino unisono, molto analogo a quello di una corda agitata ad una estremità ²⁾, il cui effetto è sempre quello di accorciare il getto, rompendolo a più breve distanza dall'orifizio, e l'accorciamento poi sarebbe diverso per suoni di diversa altezza, mostrandosi più efficaci i suoni di uno od altro periodo secondo il valore dell'attrito incontrato dal getto nel mezzo.

2. I metodi usati da tutti gli sperimentatori furono fin qui, si può dire, puramente ottici. L'orecchio non fu applicato se non ad udire quei suoni, o meglio, rumoreggiamenti abbastanza intensi e non somiglianti per nulla ai suoni eccitatori che venivano emessi dalle fiamme sensibili, sebbene le ipotesi e spiegazioni accennate per la sensibilità dei getti parlassero di movimenti oscillatorii che dovevano aversi nei getti stessi, e che potevano benissimo dare origine a dei veri suoni.

Venuto quindi nella determinazione di tentare uno studio acustico dei fenomeni dei getti, la forma dell'apparecchio adoperato fu determinata principalmente in vista dei movimenti serpentini osservati dal Rayleigh, i quali movimenti, essendo un fatto accertato e non una semplice ipotesi, promettevano a queste ricerche un risultato quasi sicuro. Si immagini infatti di introdurre verticalmente in seno a un getto verticale un tubetto di vetro affilato verso il basso in modo da presentare al getto gassoso che lo investe un orifizio assai piccolo. È naturale che l'urto del getto contro l'orifizio determini nell'interno del tubetto un aumento di pressione che sarà tanto mag-

1) Phil. Magazine 5, 17, 1884, p. 188-94.

2) La stessa cosa è stata osservata con altro metodo anche dal Tufts (Phys. Review, 14, 1902, p. 57-61.

giorre quanto più l'orifizio sarà vicino alla parte assiale del getto. Del rimanente questo fatto si può anche provare sperimentalmente, il collegando tubetto con un piccolo manometro ad etere assai sensibile. Se ora le parti del getto assumono quelle oscillazioni trasversali che il Rayleigh ha veduto, dovranno naturalmente aversi nel tubetto delle variazioni oscillatorie della pressione, aventi un periodo uguale a quello dell'oscillazione del getto, e quindi del suono eccitatore. Tenendo conto poi del fatto che queste differenze di pressione nel getto sono abbastanza sensibili anche tra punti vicini e pensando alla grande sensibilità dell'orecchio per minime variazioni periodiche di pressione, era da aspettarsi, mettendo il tubetto in comunicazione coll'orecchio, di sentire la ripetizione del suono eccitatore con un notevole rinforzo. Oltre a questo fenomeno che chiameremo *microfonico*, pareva anche probabile che si dovessero avere dei suoni nella parte allargata e parzialmente diffusa del getto; i risultati furono del tutto conformi alle previsioni, come si vedrà tra breve.

L'apparecchio molto semplice rappresentato dalla figura 1 è quello che mi ha permesso di eseguire questo esame acustico

Fig. 1.

in condizioni favorevoli. Il tubetto r ha l'orifizio del diametro di circa mm. 0,5 e può essere spostato verticalmente in faccia al beccuccio t d'onde esce il gas.

I suoni che possono sorprendersi in seno al getto vengono trasmessi per mezzo di un tubo di gomma ad una biforcazione b per giungere ai due orecchi dello sperimentatore.

Descriverò brevemente alcune delle esperienze eseguite con questo apparecchio, con i risultati avuti, avendolo applicato a getti di gas illuminante prodotti sotto una pressione non superiore a quella che ha ordinariamente il gas delle città ed usando dei tubetti di efflusso con orifizio circolare di un diametro poco discosto in più o in meno da 1 mm. sebbene abbia ottenuto dei risultati analoghi anche con pressioni e beccucci diversi ed anche con getti di altri gas e persino con l'aria.

3. Per compiere in modo opportuno questo esame acustico, ho creduto conveniente di mettermi in condizione di potere nello stesso tempo vedere l'immagine del getto per sapere in quale parte di esso operava.

Per osservare il getto gassoso si presta molto bene il metodo usato dal Prof. Govi ¹⁾ il quale consiste nell'illuminare il getto di gas per mezzo di un fascio di luce divergente dall'immagine reale del sole quale è data da un sistema fortemente convergente, e proiettarne l'ombra sopra uno schermo assai lontano ²⁾.

Si distingue così benissimo in ogni getto ³⁾ una parte sensibilmente cilindrica e limpida più o meno lunga e la cui lunghezza presenta continuamente delle piccole variazioni, dopo la quale si vede il getto allargarsi a cono dando un'immagine sempre meno netta e dopo breve tratto il gas di esso mescolarsi all'aria in maniera irregolarissima e continuamente mutabile.

4. Insieme all'ombra del getto si può vedere l'ombra dell'estremità α del tubetto ricevitore. Si può così facilmente osservare che nella parte cilindrica di questo getto non modificato dal suono non si riesce a raccogliere alcun suono o ru-

1) N. Cim. 2, 3°, p. 334, 1870.

2) Perchè l'ombra sia più visibile è utile seguire il suggerimento del Lissajons (J. de Phys. 1, 2°, 1873, p. 32) di fare prima passare il gas in un palloncino ove si carichi di vapori assai rifrangenti di una sostanza volatile, p. es. benzina o etere o qualche essenza.

3) Govi. N. Cim., vol. cit. p. 36-37.

more sensibile che sia proprio del getto mentre, quando il beccuccio ricevitore sia posto nella parte allargata, conica o poco più in alto, si ode un rumoreggiamento abbastanza intenso e somigliante assai a quello che danno le fiamme sensibili per l'azione dei suoni o per eccesso di pressione.

5. Se facciamo ora agire sul getto il suono di un diapason che non vibri troppo intensamente, in conformità della descrizione del Govi ¹⁾, si vede l'ombra del getto modificarsi *apparentemente* soltanto nella lunghezza della parte limpida, la quale si accorcia in generale tanto più quanto più forte e più acuto è il suono ²⁾. Quanto al rumoreggiamento che si ode immergendo il beccuccio ricevitore nella parte allargata e torbida del getto, esso è assolutamente del medesimo genere di quello che si raccoglie nella corrispondente regione del getto non alterato dal suono.

Noi abbiamo così un fenomeno acustico che corrisponde del tutto a ciò che si vede nell'immagine del getto gassoso, poichè dovunque si *vedono* quei movimenti irregolari e mutabili delle masse gassose, ivi si ode anche (e si comprende facilmente come ciò debba avvenire) un rumoreggiamento sfornito di qualunque carattere periodico.

6. La semplice ispezione dell'immagine del getto gassoso non farebbe invece in nessuna maniera prevedere i fenomeni che con questo metodo acustico si scuoprono nella parte del getto rimasta apparentemente cilindrica, cioè quei fenomeni microfonici che sono l'aspettata conseguenza delle oscillazioni trasversali del getto osservate dal Rayleigh col metodo stroboscopico, e che somigliano singolarmente a quelli ben noti dei getti liquidi scoperti da Chichester Bell.

Cominciando a mettere il beccuccio ricevitore molto vicino all'orificio di efflusso del gas e sollevandolo poi a poco a poco, si osserva successivamente: *a)* che il rinforzo del suono, da prima minimo o sensibilmente nullo, va crescendo notevol-

1) Loco cit., p. 337.

2) Il Govi trova (l. cit. p. 338) che la parte limpida del getto si riduce ad una lunghezza che è all'incirca proporzionale alla lunghezza d'onda del suono eccitatore.

mente insieme con l'elevazione, acquistando una intensità molto grande, pur conservando una grande nettezza fino quasi alla sommità della parte cilindrica del getto; *b*) seguitando ad elevarsi, si entra in una regione in cui il suono si sente ancora bene intenso ma alterato e, talora più, talora meno, sovrappatto da un forte rumoreggiamento: è quella regione in cui si mantiene, pure oscillando, il limite tra la parte cilindrica e la parte conica; *c*) più in alto ancora rimane il solo rumoreggiamento.

7. Ricordando ciò che si è detto dell'accorciamento diverso che la colonna gassosa subisce per parte dei suoni di diversa altezza ed intensità, s'intende che per i varii suoni sarà diversa la posizione utile del beccuccio ricevitore per avere il massimo rinforzo. Si osserva inoltre che i suoni più acuti a parità di distanza dall'orificio di efflusso ricevono un rinforzo maggiore.

Quanto ai suoni di grande acutezza, credetti per lungo tempo che il getto gassoso non fosse capace di rinforzarli, forse per la difficoltà maggiore di trovare la posizione conveniente del beccuccio ricevitore; ma dopo che ricorsi a suoni estremamente deboli, potei riconoscere che per i sibili acutissimi il getto era anzi di gran lunga più sensibile che per i suoni di altezza moderata e li rinforzava, in proporzione, molto di più. Riesce ora facile comprendere un fenomeno che si osserva sovente operando con suoni non puri (per esempio con un diapason fortemente vibrante), i quali, se prodotti a una certa distanza, vengono ancora rinforzati ma con una notevole alterazione dovuta al predominare degli armonici acuti.

8. *Il punto di massima sensibilità.* — Per ricercare quale sia il punto in cui il getto mostra la massima sensibilità, ho fatto produrre i suoni in una camera vicina, e di là li ho condotti al getto per mezzo di un lungo tubo di gomma terminato da uno affilato di vetro la cui estremità veniva trasportata nelle varie parti del getto. Si vide subito, e in maniera non dubbia, che tal punto di sensibilità massima

è l'orificio dell'efflusso, precisamente come avviene nelle fiamme sensibili del Berrett ¹⁾.

9. Dei suoni anche molto deboli che si producano in vicinanza di questo punto di massima sensibilità, vengono fortemente rinforzati. A questo proposito è molto persuasiva l'esperienza che può farsi con un orologio da tasca che sia sospeso a brevissima distanza dall'efflusso ²⁾. Se l'apertura del tubetto ricevitore sia messa nella posizione conveniente, giungono all'orecchio dei colpi così forti da dare persino noia. A un'altezza un po' minore è un po' minore il rinforzo, ma il battito viene allora riprodotto con fedeltà grandissima, sentendosi nettamente anche quei suoni metallici che si sogliono sentire debolissimi quando si mette l'orologio all'orecchio.

10. La maggior parte degli esperimenti indicati, può essere anche eseguita in modo da farli sentire a tutte le persone che stanno in una stanza abbastanza grande, collegando il tubetto τ con uno di quei grandi portavoce di cui si fa uso per le audizioni pubbliche con fonografi, grammofoni e apparecchi consimili (fig. 2).

Fig. 2.

1) Bouty. Nel J. de Phys., 3, 5°, 1896, p. 404.

2) L'orologio può anche appendersi, per mezzo del suo anello all'estremità del tubetto di efflusso.

Particolarmente bene riesce con questa modificazione l'esperimento coll' orologio da tasca, il quale fa sentire il suo battito in tutta la stanza come se fosse uno dei più rumorosi orologi da muro.

11. È interessante di confrontare i rumori che col metodo acustico si sentono in certe parti dei getti gassosi con quelli che vengono emessi dalle fiamme sensibili trovate dal Professor Govi. Queste fiamme, molto meno conosciute di quelle divulgate dal Tyndall, sono però altrettanto sensibili e molto più comode e facili ad ottenersi, non richiedendo il gas illuminante ad una pressione superiore a quella ch'esso ha comunemente esse si possono avere nelle migliori condizioni seguendo le prescrizioni del detto Professore, che qui riassumo ¹⁾:

Il gas si fa uscire verticalmente da un beccuccio con foro del diametro di circa 1 mm.; si sovrappone al getto una rete metallica avente le maglie di circa 1 mm. quadrato e si accende il gas sopra la rete. Aumentando a poco a poco la distanza della rete dall'orifizio, aumenta la sensibilità della fiamma che può divenire grandissima e che conviene di regolare così secondo le esperienze che si vogliono eseguire; se però la distanza è troppo grande, la fiamma crepita, saltella, si schiaccia e talvolta si spegne senza cagione apparente. Aggiungo anche che per mettersi presto nelle condizioni di giusta sensibilità, può essere utile di regolare l'apertura del rubinetto di presa del gas, perchè, chiudendo un poco questo rubinetto, per la conseguente diminuzione della pressione all'orificio di efflusso, si può avere, occorrendo, una diminuzione della sensibilità, e si può anche avere la fiamma sensibile quando anche la rete fosse stata messa di qualche centimetro troppo in alto per un getto alla pressione comune ²⁾.

Fig. 3.

1) N. Cim. vol. cit. p. 330.

2) Per alcune esperienze ho usato la fiamma sensibile ottenuta colla disposizione della fig. 3 che può dirsi una fiamma del Govi ridotta alla massima semplicità. Il getto di gas passa attraverso ad un unico foro (diam. mm. 2,5) che si trova all'apice di un cono poco acuto di lamina metallica. Se il foro è situato esattamente sulla parte assiale del getto e ad un'altezza giusta si ha una bella fiamma lunga e diritta e di sensibilità spesso maggiore.

12. Dalle esperienze fatte dal Govi stesso su queste sue fiamme sensibili e da quelle già accennate sopra i getti di gas, egli deduce, in conclusione, che *la fiamma investita o no da suoni, è rumoreggiante ogni volta che per la posizione della rete essa è data dalla combustione della parte allargata o perturbata del getto* cioè quando la rete si trova in quelle posizioni in cui si deve disporre l'orificio del tubetto ricevitore per sentire col mio apparecchio il rumoreggiamento del getto freddo.

Il parallelismo dei due fenomeni è perfetto ed è quindi naturale di pensare che la eterogeneità del miscuglio gassoso che è la causa evidente dei rumori osservati col mio metodo nel getto sia anche quella dei rumori delle fiamme.

13. La conferma di questa opinione è fornita dalle singolari fiamme sensibili che ho ottenuto colla disposizione rappresentata dalla figura 4.

Sopra il getto uscente dal tubetto t sta, ad un'altezza uguale a quella in cui si mette la rete per avere la fiamma sensibile, l'apertura α di un tubo più largo, la quale riceve il gas del getto come esso si trova in quel punto e, per mezzo di un lungo tubo verticale T , lo guida all'altra estremità b evitandogli una ulteriore mescolanza con l'aria ambiente ma dandogli il tempo di costituirsi esso stesso in un miscuglio più omogeneo. Accendendo in b , si ha una fiamma f molto sensibile, che per effetto dei suoni diminuisce di splendore e di grandezza, *senza fare sentire alcun rumore sensibile*, come nessun rumore si sente se si porta in b l'estremità del solito tubetto ricevitore, sia il gas acceso o spento. L'azione del suono si rivela per mezzo della modificazione della fiamma solamente dopo un certo tempo, e ciò si capisce, perchè il gas che l'ha subita deve avere il tempo di attraversare tutto il tubo ¹⁾. Per ispiegare le varia-

Fig. 4.

1) In molti casi ho potuto anche osservare, sebbene minore, un'azione *immediata* del suono sopra la fiamma, indipendentemente dall'azione di cui parliamo e che giunge sempre col dovuto ritardo.

zioni nella forma e nello splendore che si osservano nella fiamma, sotto l'azione dei suoni bastano le due modificazioni che si possono riscontrare nella corrente gassosa che attraversa il tubo, cioè la mescolanza con una maggiore quantità di aria (aumento di densità) e la diminuzione della spinta verticale esercitata dal getto, naturale conseguenza di detta mescolanza.

14. Ma l'analogia tra le proprietà acustiche dei getti spenti e quelle delle fiamme sensibili accese sopra reti metalliche va ancora più innanzi, perchè mi è riuscito, in condizioni particolari, di avere alcune di queste fiamme dotate anch'esse di proprietà microfoniche. Per ottenerle facilmente, si può usare un beccuccio alquanto più sottile dei soliti (p. es. con foro del diametro di 0,6 mm.) mettere la rete abbastanza in alto (7 o 8 cm.) e ridurre l'apertura del rubinetto finchè il gas possa rimanere acceso sopra la rete e dia anzi una piccola fiamma di poca sensibilità (cfr. fine § 11). Accostando al beccuccio un diapason vibrante leggermente, ovvero l'estremità di un tubo di gomma che porti un suono musicale poco forte e di non grande altezza, si vede la fiammella vibrare e si sente rinforzare il suono. Suoni troppo intensi, rompendo il getto al di sotto della rete fanno invece rumoreggiare la fiamma o la spengono. Introducendo poi il nostro solito tubetto ricevitore in mezzo al getto gassoso acceso o anche spento, all'altezza della rete, si dimostra che in esso preesistevano tanto il rumoreggiamento quanto il suono reso dalla fiamma.

15. Dal complesso di queste esperienze mi pare si possano trarre le seguenti conclusioni :

1). Le proprietà dei getti gassosi sotto l'azione dei suoni sono le cause principali dei fenomeni presentati dalle fiamme sensibili del Govi, e cioè tanto delle variazioni di grandezza e di splendore, dovute alla diminuzione della velocità verticale e alla maggior proporzione dell'aria mescolata al gas, quanto dei rumoreggiamenti che esse emettono comunemente e della ripetizione dei suoni esterni che si ottiene da queste

fiamme in condizioni particolari (eterogeneità e movimenti dei gas della fiamma). L'accensione del getto rende visibili alcune di queste modificazioni e aumenta l'intensità di fenomeni sonori che già si hanno nelle parti medesime prima dell'accensione.

2). Non pare che per la sensibilità delle fiamme del Govi possa accettarsi quella spiegazione che fu proposta dal Tyndall per le altre fiamme sensibili a maggiore pressione, da lui studiate, poichè nessun suono proprio del getto ho potuto scoprire nella sua parte limpida, neanche in grande vicinanza dell'orifizio di efflusso, non ostante che il metodo usato sia capace di svelare nel getto la presenza di suoni esterni debolissimi e prodotti a notevole distanza.

3). I fenomeni microfonici da me osservati costituiscono invece una piena conferma della spiegazione data dal Rayleigh, secondo la quale la causa della sensibilità dei getti gassosi deve ricercarsi in movimenti oscillatori trasversali che, in determinate condizioni, i suoni esterni imprmono alle parti dei getti medesimi.

Non pare poi improbabile, vista la grande analogia delle proprietà delle fiamme sensibili del Govi con quelle delle altre fiamme ad alta pressione e senza rete del Barrett e del Tyndall, che una medesima spiegazione possa valere, come riteneva il Govi, per dare ragione dei principali fenomeni presentati dalle une e dalle altre.