

Mantova

## L'effetto Leidenfrost

Tutti noi sappiamo cosa succede quando un po' d'acqua cade sulla piastra rovente di una vecchia stufa: un sibilo e poi le gocce corrono sulla superficie come fossero biglie; perché l'acqua non evapora immediatamente? C'è una relazione tra la temperatura della superficie su cui si mette l'acqua e la « vita » della goccia?

Presentiamo qui una semplice esperienza per cercare di rispondere a queste e ad altre domande.

Nel 1756 J.G. Leidenfrost (1) descrisse per primo questo effetto che prese quindi da lui il nome (ma si chiama anche « calefazione »); da allora il primo tentativo di spiegare il fenomeno fu fatto solo nel 1946 (2). Successivamente sono apparsi diversi articoli sull'argomento, specialmente in relazione a problemi tecnici.

Ma consideriamo qualche aspetto del fenomeno; quando una goccia d'acqua cade su una superficie molto calda (con temperature maggiori di  $\sim 180^\circ\text{C}$ ) il vapore che si forma al primo contatto mantiene la massa d'acqua sollevata e quindi isolata dalla superficie, per cui può rimanere qualche tempo senza evaporare completamente. Lo stesso meccanismo si presenta quando una sbarra di ferro rovente viene immersa in un bagno di raffreddamento: l'acqua a contatto con la sbarra si trasforma subito in vapore che isola il ferro e gli impedisce di raffreddarsi rapidamente.

E' ancora per l'effetto Leidenfrost che a volte le caldaie esplodono; quando, per un guasto, si interrompe il flusso refrigerante, le pareti di metallo si surriscaldano; nel momento in cui si ripristina la circolazione, il refrigerante vaporizza in modo talmente violento che fa scoppiare la caldaia.

Vediamo come, con una strumentazione semplice e soprattutto poco costosa, si possa osservare la calefazione senza bisogno di far saltare in aria la cantina.

Vogliamo studiare il comportamento di una goccia d'acqua su di una superficie levigata e riscaldata.

Allo scopo abbiamo preparato un disco di ottone di 50 mm di diametro e 20 mm di spessore; una faccia di questo cilindro è leggermente incavata (per circa 1 mm) e luci-

### DIDATTICA



Fig. 1

data accuratamente con pasta abrasiva. Il disco è stato montato su un triangolo di gress e protetto con un'aletta di alluminio dalle fiamme del bunsen sottostante che altrimenti producono forti turbolenze nella zona di lavoro (fig. 1).

Una termocoppia Chromel-Alumel con una giunzione sulla superficie della piastra e l'altra isolata con polistirolo serve da termometro; il segnale fornito dalla termocoppia viene trasmesso ad un tester attraverso un amplificatore operativo. La taratura dello strumento si può effettuare così: si immerge la giunzione di misura della termocoppia in ghiaccio fondente ( $0^\circ\text{C}$ ), acqua bollente ( $100^\circ\text{C}$ ), piombo fondente ( $327^\circ\text{C}$ ) e zinco fondente ( $419^\circ\text{C}$ ); si ottengono così quattro letture sul voltmetro del tester. Con una semplice interpolazione lineare, si trasformano le letture in tensione a valori in gradi centigradi.

Come si vede la strumentazione è estremamente semplice e di facile uso e costruzione (fig. 2).

Ora si può procedere all'osservazione dei fenomeni legati alla calefazione.

Riscaldata la piastra oltre i duecento gradi circa, mettiamo con una buretta qualche goccia di acqua distillata, facendola cadere da qualche millimetro. Ed ecco che, nonostante la notevole temperatura della superficie sottostante, la massa d'acqua se ne sta lì, ondeggiando e ruotando su se stessa, sospesa sul cuscino di vapore che essa stessa produce;

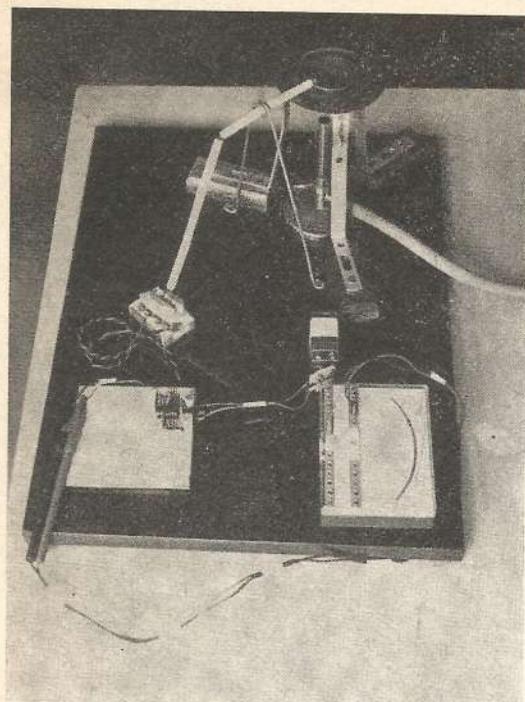


Fig. 2

(la leggera incavatura della piastra serve a mantenere la goccia nel centro).

Dopo qualche tempo si nota che la goccia diminuisce le sue dimensioni fino a scomparire (con un piccolo schiocco se casualmente è presente qualche impurità); possiamo costruire con la buretta delle gocce veramente grandi, quasi come tutta la piastra, ed osservare l'effetto con comodo.

Una domanda abbastanza ovvia che ci si può porre è questa: come dipende il tempo di vita della goccia (cioè il tempo tra l'immissione dell'acqua e la sua completa evaporazione) dalla temperatura della piastra? Dobbiamo allora costruire un grafico in cui si descriva la dipendenza del tempo di permanenza della goccia  $T$ , dalla temperatura della piastra  $\vartheta$ , fissate le eventuali altre variabili come ad esempio la massa iniziale della goccia.

Per fare questo Walker (3) consiglia di utilizzare una siringa graduata e di usare le gocce che si staccano dall'ago per gravità; la siringa graduata permette anche una misura della massa della goccia.

E' sufficiente ora fare una serie di misure di tempi di permanenza a temperature diverse (Tab. 1).

TABELLA 1

N. tacche sul voltmetro	$\vartheta$ [°C]	$T$ [s]
7	71	4
8	82	3
9	91	~ 1
10	106	~ 0
13	147	20
14	158	26
15	168	33
16	179	105
18	199	113
20	219	96
22	239	96
25	267	90
30	311	80
35	353	76
40	392	71

Partendo da  $\vartheta = 90$  °C e salendo, si noterà una diminuzione iniziale di  $T$  fino a  $\vartheta = 100$  °C; a questo punto la goccia evapora rapidamente e quindi  $T$  è di difficile determinazione; i problemi di misura del tempo di permanenza restano fino a che si raggiunge la temperatura di circa 180 °C; poco più sotto la goccia saltella ed oscilla violentemente, ma con temperature di poco maggiori si osserva l'effetto Leidenfrost. Continuando a salire con la temperatura il tempo di permanenza cala lentamente, come si vede bene dal grafico di figura 3.

La salita dei valori a  $\vartheta \approx 180$  °C, caratteristica della curva, è molto secca se si usa acqua distillata.

Qualitativamente si può spiegare l'andamento del grafico nei seguenti termini: se la temperatura è minore di 100 °C la goccia resta a contatto con la piastra ed è quindi riscaldata principalmente per conduzione; man mano che la temperatura sale il vapore che si forma tende a sollevare la goccia, ma se non è prodotto in modo sufficientemente rapido non si può avere la stabilità, per cui a volte l'acqua tocca il metallo e a volte no; ecco quindi il saltellamento.

A temperature abbastanza alte lo strato di vapore è tale da mantenere la goccia sollevata: allora cessa d'improvviso il riscaldamento per conduzione e rimangono la convezione e l'irraggiamento, i quali però risultano molto meno efficienti del precedente meccanismo di trasferimento di calore, poiché il vapore è in genere un cattivo conduttore. La conseguenza è l'aumento quasi immediato del pe-

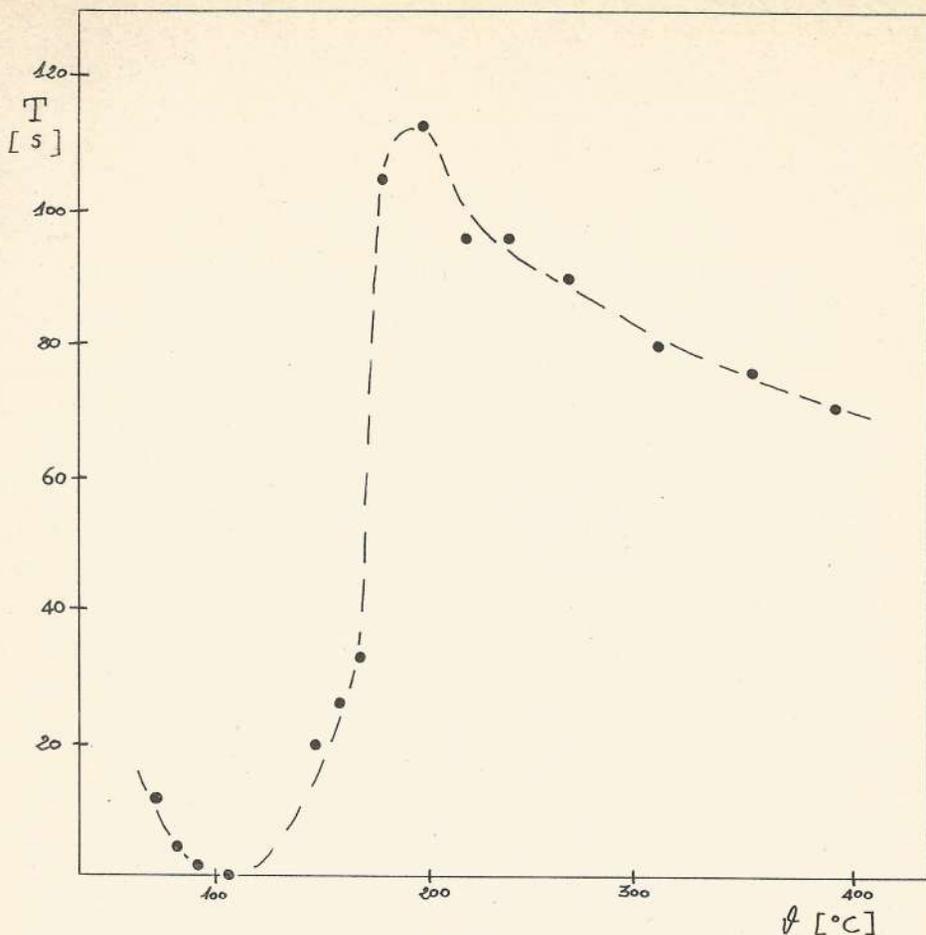


Fig. 3

riodo di permanenza. Il calo successivo di  $T$  si spiega ovviamente con l'aumento dell'energia radiale emessa dalla piastra e della conduttività del vapore con l'aumentare della temperatura.

Dovrebbe essere interessante rifare le misure appena descritte con altri liquidi, e specialmente con miscugli di liquidi, e studiare la posizione del gradino che appare nel grafico confrontandolo con i gradini dei liquidi componenti la mistura.

Un altro aspetto fenomenologico molto interessante è costituito da bellissime vibrazioni radiali della goccia, descritte da Holter e Glasscock (4) già trent'anni fa; in certe occasioni (forse esiste una dipendenza dalla massa e quindi dal raggio della goccia che provoca qualche tipo di risonanza) la massa di acqua vibra radialmente assumendo forme poligonali arrotondate a 2, 4, 6 fino a 12 lobi. E' facile osservare le forme caratteristiche con uno stroboscopio, e sarebbe interessante fotografarle magari utilizzando uno strobolash.

E' stato verificato anche l'effetto Leidenfrost inverso (5), facendo cadere delle sferette metalliche roventi in un liquido; appena immerse le sferette si rivestono di vapore che funge da galleggiante e trattiene la caduta delle palline.

E' possibile osservare l'effetto anche sui metalli fusi, in particolare sul piombo; è meno facile far rimanere la goccia d'acqua in una posizione fissa, ma con un po' di pazienza si raggiunge lo scopo. Una volta evaporata la goccia, se si lascia raffreddare il piombo lentamente, si noterà sulla superficie una struttura radiale ben definita, la quale mostra in che modo il vapore sfugge da sotto la massa d'acqua.

A confermare la semplicità di questa esperienza sta il fatto che abbiamo potuto osservare le vibrazioni di Holter in una goccia di acqua caduta su una piastra elettrica di una cucina di montagna. Non solo: recentemente un nostro amico ci ha riferito di aver notato che nella sua caffettiera vesuviana talvolta qualche goccia resta per un piccolo periodo

di tempo sulla superficie liquida, senza mescolarsi al resto del caffè, a conferma di studi effettuati da Hickman (6), dove si dimostra l'esistenza dell'effetto Leidenfrost di liquido su liquido.

*Ringraziamo il Liceo Scientifico «Belfiore» di Mantova per averci concesso l'uso delle sue strutture, e per la cortese collaborazione.*

#### BIBLIOGRAFIA

(1) Leidenfrost J. G. «De Aquae Communis Nonnullis Qualitatibus Tractatus»; Duisburg, 1756. Parte di questo trattato è stato tradotto in inglese sul Int. J. Heat Mass Transfer.

(2) Pleteneva N. A., Rebinder P. A.; Phys. Chem. 961, 973 (1946); Bull. USSR Acad. Sci., Div. Tech. Sci. 12 (1946).

(3) Walker J. «The Amateur Scientist»; Scientific American; vol 237 no 2, Aug. 1977. E' questo un divertentissimo articolo in cui si considerano anche altri aspetti della calefazione, come ad esempio il fatto di poter camminare sui carboni ardenti senza riportare gravi danni.

(4) Holter N. J., Glasscock W. R.; J. of the Acoustic Soc. of America, vol 24 no 6, Nov. 1952. E' il primo (e l'unico?) scritto in cui si descrivono le vibrazioni radiali delle gocce; interessante per la documentazione fotografica del fenomeno.

(5) Hall R. S. et al.; Nature, vol 224, Oct. 1969.

(6) Hickman K. D.; Nature, vol 201, Mar. 1964. Questo ed il precedente articolo sono due scritti di facile lettura; si considerano l'effetto L. inverso e l'effetto L. di un liquido su di un altro liquido surriscaldato.

(7) Gottfried B. S., Bell K. J.; I. and E. C. Fundamentals, vol 5 no 4, Nov. 1966. Oltre agli aspetti descrittivi gli autori tentano un'interpretazione analitica dei dati sperimentali; è possibile reperire la rivista su cui appare l'articolo in istituti di Chimica Industriale e simili.

(8) Kistenmaker J.; Physica, 29, 1963. L'autore fornisce un resoconto di misure dello spessore dello strato di vapore sotto la goccia e di uno studio basato su calcoli aerodinamici per giustificarlo teoricamente.

(9) Walker J.; Il luna park della Fisica; Zanichelli, 1981; pagg. 62, 63.

(10) Betta, Mazzei, Naso, Vandì; Trans. ASME J. Heat Transfer, vol 101 no 4, Nov 1979.