Ciò porterebbe quindi ad escludere che la calamita eserciti in tali casi una azione speciale dovuta al proprio stato magnetico.

Ma le ulteriori prove dirette a chiarire questo punto, come a spiegare il modo d'azione dei corpi a differenti temperature, formeranno oggetto di un'altra serie di esperienze, di cui daremo in seguito comunicazione.

SULLO STATO SFEROIDALE; NOTA DI G. LUVINI (1).

1. *Scopo della Nota.* — Io mi propongo di dimostrare sperimentalmente che la temperatura di ogni liquido allo stato sferoidale, sotto una pressione qualunque, è prossimamente eguale alla temperatura minima di ebollizione del liquido stesso sotto la pressione attuale, e di spiegare il meccanismo e la ragione per cui tale fatto avviene.

N. B. Io chiamo *temperatura minima di ebollizione* di un liquido quella, a cui il liquido bolle allorchè non ha luogo il fenomeno che dicono di *surriscaldamento*. La temperatura minima di ebollizione dell'acqua pura sotto la pressione di un'atmosfera è di 100°.

2. *Denominazione del fenomeno.* — Alcuni a questa condizione, che presentano i liquidi su metalli ed altri corpi abbastanza caldi danno la denominazione di *fenomeno di Leidenfrost*. Io preferisco quella di *stato sferoidale* per tre motivi: 1° perchè universalmente nota e più generalmente adoperata, 2° perchè se al fatto vogliasi attribuire il nome di chi primo ne trattò per iscritto, più veritieramente dovremmo dirlo di Outhier, di Musschembroek, di Boerhaave o di non so chi altri di più antica data; 3° in omaggio al venerando vegliardo Boutigny (2) (d'Évreux), che la propose e l'intiera vita passò, e ancora continua nello studio di questo fenomeno.

(1) Atti della R. Accad. delle Scienze di Torino, 1884.

(2) Nato ad Harfleur il 17 maggio 1798, morì recentemente.

Io dirò pure sovente alcool *sferoidale*, acqua *sferoidale*, liquidi *sferoidali*, ecc. in vece di alcool, acqua, liquidi, ecc. *allo stato sferoidale*.

3. *Un po' di storia*. — Lo stato sferoidale è noto probabilmente da tutta l'antichità. Chi di noi da giovane, non si è divertito a lasciar cadere gocce di acqua o di saliva sui ferri caldi da lisciare i panni? Spallanzani volendo verificare le sperienze di Deslandes intorno allo stato sferoidale dell'acqua nelle bolle di vetro fuso, presentatosi alla fornace vetraria, parlò con uno dei fornaciai, e lo trovò informatissimo del fatto. « Vidi, dic' egli (*Viaggi alle due Sicilie e in alcune parti dell' Appennino*, Pavia, 1793, 3° vol., pag. 324), essere questo uno di quei molti fenomeni che dai fisici si pubblicano per nuovi, e che lo sono effettivamente pel mondo erudito, ma che da diversi del popolo sono conosciutissimi da molto tempo ».

Musschembroek, nell'edizione del 1739 delle sue *Institutiones physicae*, già parla dell'acqua gettata sui metalli ed altri corpi caldi, su alcuni dei quali, come sull'olio bollente o sul piombo fuso, produce esplosione, e nell'edizione del 1748 (pag. 390) aggiunge che l'esplosione non avviene quando le scorie dal non ancora ben fuso rame si tolgono (*quod tamen non fit quando scoriae ab immaturo cupro tolluntur*), e cita in proposito Outhier, *Voyage au nord*, pag. 285. La pubblicazione dell'abate Outhier è del 1746, e dev'essere uno dei migliori lavori del genere per quel tempo. Non mi fu dato di trovarla (1).

(1) Ecco ciò che dice Outhier nelle pag. 284 e 285 dell'Opera citata, che si pubblicò ad Amsterdam nel 1746. „ On commença par mettre dans une espèce de grand creuset, formé dans la terre, un lit de charbon, et par dessus ce lit un tas de gros lingots ou saumons de cuivre, jusqu'à ce qu'il y en eut du poids de huit ou neuf mille livres, avec beaucoup de charbon par dessus. On y mit le feu, que l'on poussa par le vent de deux grands soufflets, que l'eau faisait jouer continuellement, jusqu'à ce que les lingots fussent entièrement fondus; les souffletes jouèrent encore longtemps après, on fournissait toujours de charbon, de temps en temps on découvrait le creuset, en tirant le charbon qui était dessus; et on écumait, pour ainsi dire, le cuivre fondu, en ôtant de dessus sa surface ce qui se trouvait d'impur. Enfin un peu avant dix heures on ôta entièrement tout le charbon, et les soufflets cessèrent d'agir. On jeta sur le cuivre fondu un peu d'eau, qui, ne pouvant s'évaporer tout à coup, roulait en petites boules de côté et d'autre: cette eau ayant refroidi la superficie du cuivre, il s'y forma une croûte qu'on enleva avec des crochets et d'autres ferroments; on jeta une seconde fois de l'eau, et

Carradori (*Ann. di Chim.* di Brugnatelli, vol. X, pag. 145) dice esplicitamente che: « Musschembroek osservò che l'acqua gettata sopra un metallo o altro corpo incandescente evapora più adagio, che sopra il medesimo corpo dotato di un calore poco più grande di quello che ha l'acqua che bolle ».

Boerhaave ha pure osservato lo stato sferoidale e studiato i globuli di spirito di vino gettato sul ferro rosso di fuoco, come ne fa fede Bosc d'Antic nel *Journal de Physique de Rozier* del 1778, citando il Trattato del fuoco di Boerhaave (traduzione francese, parte 1, pag. 281), opera che non mi riuscì di trovare (*).

Leidenfrost parla di questo fenomeno nella pubblicazione che ha per titolo *De aquae communis nonnullis qualitatibus tractatus*, la cui prima edizione comparve a Duisbourg nel 1756, e fu susseguita da altre più tardi. Per quante ricerche io abbia fatto nelle nostre biblioteche e per mezzo dei giornali bibliografici, io non ho potuto trovare questo lavoro, che veggio da molti citato, ma quasi nessuno dice qual parte l'A. abbia avuto nel promuovere lo studio dello stato sferoidale (*). Chi ne dice qualche cosa è Carradori (luogo citato), il quale, dopo di aver parlato di Musschembroek, aggiunge: « Questo fenomeno che merita senza dubbio l'attenzione dei fisici, si può dire, che poco fino ai giorni nostri è stato considerato, ancorchè si voglia far menzione delle

on leva une seconde croûte, et ainsi jusqu'à ce que le creuset fut vide; ce qui donna, si je ne me trompe, quaraate croûtes ou plaques rondes de cuivre, dont les dernières furent toujours les plus pures et les plus belles »,.

L'operazione descritta è stata fatta a Afsta a sette miglia da Falun (Fahlun) nel lunedì 8 Luglio 1737. Tengo questa notizia dal sig. Carlo Arbarello, Tenente nel Genio, il quale trovò l'Opera di Outhier nella Biblioteca dell'università di Pavia, e gliene rendo pubbliche grazie (**).

(1) Nella Biblioteca Vaticana a Roma esistono di Boerhaave le *Opera Omnia* tra le quali però, non ostante tutte le ricerche, non si trovò il *De Igne tractatus*.

(2) Si è rilevato dai cataloghi che questo libro esiste nella Biblioteca Vaticana; esso però appartiene alla Collezione Feliciani, ultimamente acquistata, della quale si stanno facendo le classificazioni, lavoro pel quale si richiede un anno.

(*) Il libraio Loescher riuscì a trovare in Germania una copia dell'Opera di Outhier, la quale fu comperata dal gentilissimo sig. Colonnello Zanotti-Bianco per la Biblioteca del Duca di Genova. È un bel volume, edizione di Parigi 1744; arrivò a Torino quando le cose precedenti erano già stampate. Il brano citato trovasi a pag. 184-185. Quella di Amsterdam è una contraffazione.

osservazioni del signor Leidenfrost, che sono simili a quelle di Musschembroek ».

Ma Carradori probabilmente non ha letto, od ha dimenticato la pag. 580 del 2.^o volume della *Introductio ad Philosophiam Naturalem* di Musschembroek (Lugduni Batavorum, 1762, pubblicata dopo la morte dell'Autore). Musschembroek, dopo di aver riferito le sperienze di Eller (*Histoire de l'Acad. de Berlin*, 1746, pag. 42) intorno alla durata dell'evaporazione totale di una goccia d'acqua su di un vetro piano e pulito a diverse temperature, cominciando dall'ordinaria fino a quella dell'acqua bollente, cita le sperienze della pagina 30 del libro del chiaro (*clarus*) Leidenfrost, il quale *pulchris experimentis phoenomena guttarum aquearum, quae vehementiori igni exponuntur, promovit*, e conta come Leidenfrost in un cucchiaino di ferro incandescente per fuoco, ed allontanato dal focolare, versava una goccia d'acqua distillata, la quale da prima si divideva in piccoli globuli, che tosto si riunivano in un solo. Questo globo non tocca il ferro, sta quieto senz'alcun moto visibile od ebollizione, trasparentissimo e vertiginosamente agitato intorno. Il ferro incandescente intorno alla goccia diventa nerissimo. Passano 34 o 35" prima che la goccia intieramente svanisca, e lascia una piccola particella di terra. Una seconda goccia messa al posto della prima, svanisce in 9 a 10"; la terza è fortemente agitata e scompare in 3" senza lasciar terra; la quarta aderisce al cucchiaino, lo bagna, bolle e svanisce in un secondo o meno, nè lascia terra. L'acqua versata sull'ottone riscaldato offre somiglienti fenomeni.

Questo è quanto ho potuto apprendere degli studi di Leidenfrost sullo stato sferoidale. Egli, giusta l'espressione di Musschembroek, fece avanzare (*promovit*) la dottrina relativa, ma il fenomeno principale era già prima noto.

Belli (*Corso elementare di Fisica sperimentale*, vol. 2.^o, pagina 490, Milano, 1831) cita Eller come il primo che si sarebbe occupato dello stato sferoidale, ma nel giornale dell'*Istituto Lombardo* del 1844 si corregge e dice che va annullata la citazione del Corso di Fisica. Probabilmente egli era stato indotto in errore o dalla citazione di Musschembroek, che precede quella di Leidenfrost, o da ciò che nell'*Histoire de l'Acad. de Berlin*, 1746, pag. 42, come nel libro di Musschembroek, le temperature

osservate da Eller sono espresso in gradi inglesi, da pochi gradi fino a 212. Con una lettura superficiale, e senza badare che la grandezza di questi numeri dipende dalla divisione del termometro, è facile sbagliarsi. Noto particolarmente questa cosa, perchè l'errore è stato ripetuto da Boutigny (Opera citata, pag. 1), da Daguin *Traité élémentaire de Physique*, 4. édition. Paris, 1878, 2.^o vol. pag. 374) e da altri, e potrebbe aver seguito.

Deslandes, direttore della manifattura reale di Saint-Gobain, nel *Journal de Physique de Rozier* del 1778 (primo semestre) pubblica come novità quanto apprese dai fornaciai posti sotto la sua direzione intorno allo stato sferoidale dell'acqua sul vetro fuso, e dentro masse di vetro mentre si stanno soffiando. Presa una massa di vetro fuso in punta della canna, e gonfiatavi una bolla della grossezza di un uovo d'oca, l'operaio colla bocca vi spinge dentro dell'acqua e chiude col pollice la canna. L'acqua vi si riduce subito allo stato sferoidale, si evapora lentamente e per la forza elastica del vapore la bolla si dilata e si forma un globo che talvolta raggiunge i tre piedi di diametro.

L'abate Lazzaro Spallanzani (*Viaggio alle due Sicilie*, luogo citato) descrive molte sperienze sue proprie sullo stato sferoidale. Oltre all'effetto dei metalli fusi o roventi, egli studiò quello dei vetri fusi, e più specialmente dei prodotti vulcanici, donde con mirabile perspicacia dedusse delle conseguenze molto fondate intorno alle cause delle eruzioni vulcaniche. Tra le altre cose egli notò che il più delle volte l'acqua gettata sul piombo e sullo stagno fuso esplodeva, la qual cosa non avveniva sugli altri metalli sperimentati. Carradori (luogo sopra citato) dimostrò che questa differenza cessa di manifestarsi quando la superficie dello stagno e del piombo fusi sia pulita da encausti, com'egli dice, o pellicole di materie estranee, osservazione e sperienza già fatta fin dal 1737 e pubblicata nel 1744 da Outhier e nel 1748 da Musschembroek.

Stabilito in tal modo l'ordine ed il merito dei primi osservatori di questo fenomeno, non mi soffermerò a descrivere le sperienze o le teorie più o meno ragionevoli di Bosc d'Antic, Dietrich, Lichtemberg, Bellani, Orioli, Belli e qualche dozzina di altri autori, venendo giù fino a Boutigny, che grandemente promosse lo studio di questi fenomeni, ed eccitò altri ad imitarlo.

Prima però di chiudere questo cenno storico, debbo citare una sperienza molto importante e pel mio scopo preziosissima, la quale non è ricordata in nessun trattato di Fisica a me noto, ed una congettura di gran peso pubblicata fin dal 1841, la quale avrebbe dovuto condurre a nuove esperienze, ed alla quale, che io mi sappia, nessuno badò punto nè poco. La prima è di Despretz, di Avogadro la seconda. Le riferisco entrambe colle proprie parole degli autori, e ne farò conoscere la portata dopo l'esposizione delle mie esperienze.

Despretz dopo aver detto come il protossido d'azoto liquido passa allo stato sferoidale anche nel vuoto e si volatilizza lentamente, aggiunge: « Dans la même lécon ayant versé du protoxide (d'azote) dans une capsule d'argent, posée sur une brique chaude, et placé le tout sous le récipient de la machine pneumatique, on a vu, dès les premiers coups de piston, le liquide se couvrir d'une couche blanche et bientôt se transformer en une masse légère, semblable à des flocons de neige. L'élasticité était réduite, sous le récipient, à deux centimètres environ » (Despretz, *Comptes rendus* 1849, 1° semestre, e *L'Institut*, 1849, pag. 67).

Avogadro poi (*Fisica dei corpi ponderabili*, IV vol., pagina 367) dice: « Quindi pare doversi supporre che, se il vaso fosse chiuso, la pressione esercitata dal vapore (del liquido allo stato sferoidale) già formato accrescendosi, e richiedendosi conseguentemente per la vaporizzazione dell'acqua una temperatura più elevata, l'acqua così rinchiusa giungerebbe pure alla temperatura corrispondente dopo un tempo sufficiente per lo stabilimento dell'equilibrio a tale riguardo.

4. *Una prima esperienza.* — La lettura delle sperienze di Deslandes destò in me una grande curiosità di vedere l'effetto di una goccia d'acqua in una bolla di vetro fuso. Pregai il sig. Duroni di soffiarmi una bolla e di farvi penetrare una goccia d'acqua. Egli molto più istruito di me di questa cosa, mi disse subito: che per ottenere l'effetto, che io desiderava di osservare, conviene soffiare il vetro con canne di ferro e ricorrere perciò alle fornaci, non bastando il semplice cannello ferruminatorio; che nelle fabbriche di vetro si usa gonfiare i grandi cilindri, che si distendono poi in lastre, facendovi entrare dello spirito di vino, che passa allo stato sferoidale; che introducendo una goccia di

acqua in una bolla che si soffia in un tubo di vetro, il tubo si rompe vicino alla bolla, il che avviene a tutti i soffiatori, quando lasciano sfuggire un po' di saliva. Ciò nondimeno io lo pregai di provare, e soffiata una bolla di tre o quattro centimetri di diametro, intanto che essa era ancora caldissima, egli vi spinse dentro con forza un po' di saliva, la quale stentò a penetrarvi, ma entratavi si ridusse subito in un bel globo chiaro e ben visibile del diametro di un centimetro circa, e la bolla, senza più soffiarsi dentro, si gonfiò e divenne della grossezza di otto a dieci centimetri in un minuto secondo all'incirca, poi, per essersi raffreddato il vetro, successe uno scoppio e la bolla saltò intorno in minuzzoli. Esaminato il tubo di vetro, si trovò tutto screpolato nella parte vicina alla bolla. Allora io non aveva ancora letto Spallanzani, e fui meravigliato quando dal suo racconto appresi che anch'egli trovò i vetrai bene informati del fenomeno.

5. *Materiale per le esperienze.* — Per abilitarmi a questo genere di ricerche cominciai a fare un grandissimo numero di sperienze nell'aria libera. I vasi da me adoperati consistono in un crogiuolo di platino di forma ovale della capacità di 37^{cc} e del peso di 31 gr., con relativo coperchio, una capsula emisferica pure di platino della capacità di 71^{cc} e del peso di 45 gr., una capsula di rame battuto di forma sensibilmente emisferica di 46^{mm} di diametro interno con due di spessorezza, e tre altre capsule di rame, di bronzo e di ottone, formate di getto e tornite, inferiormente in forma di emisfero del diametro interno di 14^{mm}, e superiormente in forma di tronco di cono divergente di 30^{mm} di altezza e di 35 di diametro interno nella base superiore, con una spessorezza media di 3^{mm}. Tutte erano accuratamente pulite, e le faceva ripulire ad ogni sperienza.

Pel riscaldamento dei vasi adoperai indifferentemente lampade ad alcool e lampade di Bunsen a gas.

I soli liquidi, sui quali sperimentai, sono l'acqua distillata, l'acqua potabile, l'acqua di sapone, l'etere solforico e l'alcool.

Ho ripetuto le principali sperienze conosciute, ma non dirò che delle poche, nelle quali mi parve di vedere qualche cosa di nuovo per me, o che serve alla teoria, che esporrò dopo le sperienze

6. *Bolle soffiate sui liquidi sferoidali.* — Sospettano al-

cuni che la mancanza d'ebollizione dei liquidi allo stato sferoidale nasca da ciò che, in un vaso incandescente, essi debbono venir prontamente privati dell'aria che tengono in soluzione, ed un liquido privo d'aria non bolle. Io ho fatto la prova di soffiare dell'aria a traverso le gocce liquide in quello stato con tubi di vetro diritti ed uncinati, di vario diametro, in modo che io potevo dirigere il soffio con varia forza e con varia quantità d'aria in tutte le direzioni ed in tutte le parti della goccia. Il movimento che ne nasceva in questa non aveva niente di comune con quello dovuto all'ebollizione. Era puramente meccanico e dipendente dalla direzione e dalla forza del soffio. Ma talvolta, allorquando io soffiava contro il fondo del vaso sotto la goccia, questa mandava un sibilo e friggeva, il che io attribuiva al raffreddamento del vaso.

In queste sperienze avviene un fenomeno, che pare straordinario nelle circostanze in cui si manifesta. Sui liquidi allo stato sferoidale si formano delle bolle, come quelle di acqua di sapone, dotate di una stabilità grandissima, e la cui grandezza supera spesso, anche di molto, quella della massa liquida sottostante. Talvolta invece di una sola bolla, se ne formano varie, piccole, in forma di schiuma, le quali finiscono quasi sempre per riunirsi in una. Queste bolle si ottengono coll'acqua pura, coll'acqua di sapone, coll'alcool, coll'etere, e probabilmente con tutti i liquidi. Esposte ai dardi di una violenta irradiazione calorifica nel crogiuolo ardente, stanno impassibili e per lo più immobili, senza partecipare ai movimenti periferici della goccia sottostante, come si riconosce dalla luce delle finestre riflessa sulle medesime; talvolta sono anch'esse agitate, e girano intorno alla verticale che passa pel loro centro, come apparisce dal moto di qualche bollicina, appena visibile intorno ad esse. Alcune scompaiono appena formate, altre durano quasi fino all'intera consumazione della goccia liquida. Nelle capsule di getto, sopra descritte, ne ottenni alcune il cui volume era per lo meno tre o quattro volte quello della massa liquida. La loro base era ristretta, e nella parte del loro massimo rigonfiamento laterale rappresentavano la parete del vaso, ma non la toccavano; in altri termini, la loro mole, di forma sferica, era maggiore dell'emisfero.

Esse si formano e si conservano in vasi chiusi, come in vasi aperti, ed anche su dischi metallici piani.

Nei primi giorni delle mie sperienze su queste bolle (era il mese di novembre) mi si presentò otto o dieci volte un fenomeno, che non mi fu mai più dato di ottenere in seguito. La bolla non appariva durante il soffio, ma dopo che era già estratto dal liquido il cannello; veniva a galla, e se ne stava per qualche tempo nel mezzo della goccia. Il suo diametro era la metà circa del diametro di questa; ma non presi misure. L'insieme della goccia e della bolla non dava all'occhio l'aspetto di maggior volume di quello della goccia sola. Ho provato molte volte con tubi di vetro, o con asticciuole di altre sostanze, di romperla, ma non mi fu mai possibile.

Ho detto che la bolla stava per qualche tempo nel mezzo della goccia, ma talvolta scompariva ad intervalli, e pareva che si affondasse sotto la goccia stessa rendendosi invisibile, poi ricompariva ora totalmente ora parzialmente in varie parti della goccia, nella quale si aggirava tortuosamente senza mai disfarsi; poi ritornava nel mezzo e nella posizione di prima, che era la sola in cui essa rimaneva come in equilibrio. Osservai questo fenomeno su di una capsula di ottone sottile e quasi piana, e sulla capsula di rame battuto, sopra descritta, prima ch'essa fosse tornita, adoperando acqua potabile. Dirò di più, che per quanto attentamente io abbia osservato il fenomeno, non ho potuto scoprire se esso nascesse proprio da una bolla con aria interna, come quelle di sapone, il che parmi più verosimile, ancorchè difficile a spiegarsi in quel rimescolio e colle agitazioni che artificialmente io produceva senza mai poterla distrurre. Il suo aspetto pareva anche quello di un globulo liquido, separatosi dalla restante massa e nuotante in essa, senza che l'insieme delle due parti perdesse la forma e la grandezza apparente che aveva la goccia prima che la bolla si fosse formata. Ad ogni modo questo fatto parmi degno dell'attenzione dei fisici, e forse vi tornerò sopra in miglior tempo.

Tutti sanno che dando fuoco all'alcool od all'etero allo stato sferoidale, si produce la fiamma secondo cui questi liquidi sogliono bruciare, ed intanto i medesimi conservano nel vaso lo stato sferoidale e si evaporano lentamente come se non abbrui-

ciassero. Ma quello che forse non tutti sanno, e che pare straordinario, è che sui liquidi stessi, mentre bruciano allo stato sferoidale, in mezzo alla fiamma, si possono soffiare delle bolle, che resistono al fuoco. La durata di queste è una frazione di secondo, ed anche un secondo e più, dipendentemente dalla loro mole. Esse più facilmente si formano, e durano di più se all'alcool od all'etere si aggiunge un po' di acqua di sapone. Ne ottenni alcune quattro o cinque volte più grandi che la goccia liquida sottostante.

In tutti i casi la grandezza delle bolle è in apparenza costante, ma esse presentano anche talvolta dei rigonfiamenti abbastanza sensibili e dei restringimenti, che potrebbero nascere da cambiamenti di temperatura dell'aria interna, o da variazioni nella pressione esterna.

Tutte queste cose paionmi provare che i liquidi allo stato sferoidale non perdono, o perdono ben poco l'aria che tengono in soluzione.

7. *Tentativo di studio dei movimenti interni delle gocce e delle bolle.* — Nel 1881, quando Plateau pubblicò la sua *Nota Sull'assottigliamento spontaneo delle lamine liquide* (*Mondes*, III vol. del 1881, p. 61) deducendo la spiegazione di questo fatto dal ritiro lento della polvere di lycopodio dalle parti centrali verso la periferia di una lamina circolare orizzontale, io pensai di studiare il medesimo fenomeno proiettando l'immagine, o per meglio dire, l'ombra delle lamine liquide, curve o piane, col mezzo di un fascio di luce solare divergente che le attraversava a quel modo stesso che il Prof. Govi aveva reso visibile e studiato in una camera oscura il movimento vibratorio dei getti gassosi della natura di quello delle fiamme cantanti (*Atti dell'Accademia delle scienze di Torino*, vol. V, p. 475). Se si trattava delle bolle, io le faceva attraversare dal cono luminoso ad asse orizzontale, e ne proiettava l'ombra sopra un foglio di carta verticale, e per le lamine orizzontali, dirigeva con un prisma a riflessione totale l'asse del cono luminoso verticalmente all'insù, proiettandone l'ombra sopra un foglio superiore orizzontale. In questo modo ogni movimento delle polveri, di cui cospergeva le lamine, e delle minime goccioline liquide alla periferia delle lamine orizzontali e nella parte inferiore delle bolle diveniva mirabilmente chiaro e visibile. Io aveva

già preparato i materiali di una Nota relativa, alla quale poi non diedi seguito. Ora io pensai che questo medesimo modo di studio con piccola modificazione, potesse applicarsi alle bolle ed alle gocce allo stato sferoidale.

Per questo fine mi feci preparare tre dischi di ottone, del diametro di 60^{mm} e della spessezza di 2,5, con una leggerissima concavità nel mezzo, e nel centro della concavità due dei tre dischi sono attraversati da un forellino di diametro differente l'un dall'altro. Il liquido allo stato sferoidale non esce dal forellino, e facendo passare per questo di basso in alto un fascio di raggi solari paralleli, condensati colle lenti del microscopio solare, la goccia liquida li rifrange, li concentra nel suo foco, e li manda al di là divergenti, ed essi portano l'ombra, o l'immagine della goccia su di un foglio di carta orizzontale posto superiormente.

Feci questa sperienza sopra semplici gocce, e con gocce aventi la bolla soffiatavi sopra, ma fino ad ora non mi fu dato di veder nulla d'importante. Quando avrò meglio disposti gli apparecchi, ritenterò la prova. Intanto ho creduto bene di far conoscere questo tentativo, ancorchè senza risultato, potendo esso suggerire ad altri di me più abili qualche modo di miglior riuscita.

8. *Temperatura dei liquidi sferoidali nell'aria libera.* — Misurai la temperatura dei liquidi sferoidali con termometri a mercurio fatti costrurre espressamente. Ho fatto qualche centinaio di determinazioni per diversi liquidi. Dall'insieme delle mie misure una sola cosa ricavo, ed è che la temperatura di ciascun liquido sferoidale varia di alcuni gradi secondo il vario stato di purezza del liquido e la maggiore o minor pulitezza del vaso. Basta una minima circostanza, spesso impercettibile, per produrre una variazione in questo elemento. Per l'acqua distillata trovai temperature varianti da 95 a 99°. In ogni caso queste furono sempre, per tutti i liquidi cimentati, prossime a quella dell'ebollizione del liquido.

La pressione atmosferica deve avervi un'influenza, poichè cambia con essa la temperatura dell'ebollizione. Per accertarmene confrontai tra loro i risultati corrispondenti a giornate di pressione barometrica differente; ma nulla potei dedurne. Ciò vuol dire che le variazioni che dirò accidentali, sono maggiori di quelle dipendenti dalle variazioni di pressione atmosferica, e

queste ultime sono mascherate dalle prime. Quindi si spiega la gran varietà dei risultati ottenuti da differenti sperimentatori a questo riguardo.

L'acqua contenente sali in soluzione, secondo il vario grado di concentrazione di questi, presenta fenomeni differenti. Se la proporzione del sale eccede un certo limite, la goccia d'acqua cadendo sul metallo lascia, si può dire istantaneamente, su questo una macchia od un deposito che quasi sempre impedisce la riduzione del liquido allo stato sferoidale. Se la quantità del sale è piccola, allora si ottiene questo stato e si può misurare la temperatura. In queste operazioni io lasciava una fiammella accesa sotto il vaso per mantenerne la temperatura costante, o a misura che il liquido andava evaporandosi, io ne aggiungeva nuove gocce in modo che il bulbo del termometro fosse sempre intieramente immerso.

Al cadere di ogni goccia il liquido si raffreddava alquanto ed il mercurio nel termometro discendeva di due, tre, fino a sette gradi, ma risaliva tosto ad altezza superiore di prima, mai ad altezza inferiore. Continuando a questo modo, si giunge ad un punto in cui la temperatura si eleva tutto ad un tratto, il liquido si mette a bollire, ed è difficile salvare il termometro dalla rottura. Sul fondo del vaso rimane uno strato considerevole dei depositi lasciati dall'acqua evaporata. L'effetto si spiega facilmente: a misura che l'acqua si evapora, la soluzione salina va concentrandosi, e quando giunge al limite in cui lo stato sferoidale non è più possibile, succede il fatto descritto.

Operando con acqua potabile, o con acqua tenente poco sale di cucina'sciolto, osservai talvolta la temperatura salire gradatamente da 95 fino a 100° o poco più e poi arrestarsi, non ostante l'aggiunta di nuove gocce. Qualche rara volta mi avvenne di far giungere la temperatura fino a 105 e 106°. Questa elevazione di temperatura deve dipendere da ciò, che la temperatura di ebollizione dell'acqua cresce col crescere della proporzione dei sali sciolti in essa.

9. *Durata degli abbassamenti e delle elevazioni di temperatura* — Nell'aggiungere le nuove gocce al modo che ho detto si osserva un fatto, al quale io attribuisco una grande importanza. L'abbassamento di temperatura, che avviene al cadere di

una goccia fredda è rapidissimo, mentre l'elevazione di essa, che succede immediatamente, è in proporzione lenta. Non ho mai trovato il tempo dell'abbassamento maggiore di due secondi, ed è spesso minore di uno, mentre l'elevazione dura da 12 a 20 secondi.

10. *Influenza del calor raggianti sulla temperatura.* — Alcuni attribuiscono all'influenza del calor raggianti dalle pareti del vaso l'incertezza della determinazione della temperatura dei liquidi allo stato sferoidale. Io ritengo che tale influenza non abbia luogo. Ecco le sperienze che appoggiano la mia opinione. Determinata la temperatura col bulbo termometrico tutto immerso nel liquido, si sollevi il termometro in modo che il bulbo ne esca poco a poco. Avviene spesso che il bulbo già sporge fuori dal liquido di un sesto od un quinto del suo diametro, e tuttavia la temperatura ch'esso indica rimane ancora invariata. Debbo notare che i miei termometri sono a piccolo bulbo ed a sottilissima colonna di mercurio. Per un maggiore innalzamento, essa comincia a crescere, e quando il bulbo è tutto fuori, l'aumento è grande e rapidissimo.

11. *Temperatura delle bolle sui liquidi sferoidali.* — Ho cercato di determinare la temperatura dell'interno delle bolle soffiate sui liquidi sferoidali; non vi riuscii completamente, ma posso giudicare che essa sia la medesima che quella del liquido sottostante. La difficoltà consiste nel far entrare il bulbo del termometro nell'interno delle bolle. Ho provato a mettere prima il termometro nel liquido, per soffiarvi dopo la bolla, e poi sollevarlo in questa. Così facendo avviene spesso che il tubo termometrico si rompe a piccola distanza dal bulbo, all'altezza delle bolle che si formano. Questa cosa spiega precisamente, secondo me, che la temperatura delle bolle non può essere gran che differente da quella del liquido. Invero questa temperatura si può dire molto bassa rispetto a quella dell'ambiente nel vaso. Il gambo termometrico a poca distanza dal bulbo, e prima della formazione delle bolle, è caldissimo, e toccato da queste, relativamente fredde, si rompe. Del resto non sempre succede la rottura, ma in tal caso le bolle si formano intorno al termometro, e non mi riuscì mai di farne nascere una che circondasse il tubo. Questa stessa cosa avviene soffiando prima le bolle ed introducendovi poscia il termometro. Ma si supera la difficoltà soffiando sul li-

quido non una semplice bolla, ma una specie di schiuma formata di piccole bolle. Il termometro immerso in tale schiuma, ed anche quasi totalmente fuori del liquido, segna la temperatura di questo o ben poco di più.

12. *Temperatura dell'alcool e dell'etere infiammati allo stato sferoidale.* — Introduco il bulbo del termometro nel liquido allo stato sferoidale e quando la temperatura segnata è stazionaria, do fuoco al liquido. Per pochi istanti non si vede indizio di variazione di temperatura, ma ben presto questa comincia a crescere lentamente di tre o quattro gradi, poi tutto ad un tratto di altri cinque o sei, alla quale altezza il movimento si arresta per poco, e si divide la colonna di mercurio in più parti. Ecco i risultati numerici di due sperienze fatte l'una coll'alcool, l'altra coll'etere, dei quali io non saprei dire il grado di purezza. Era l'alcool allo stato sferoidale, ed il termometro segnava 68°. Dato fuoco, dopo un secondo circa cominciò ad alzarsi lentamente la colonna di mercurio, che salì fino a 72, poi quasi d'un salto essa raggiunse i 78°, e la colonna di mercurio si divise. L'etere passò allo stesso modo lentamente da 38 a 40°, poi di un salto a 43. In queste sperienze io mi aspettava di rompere vari termometri ma la mia aspettazione fortunatamente fu delusa; essi non si rompono, ma nel salto della temperatura si divide, come dissi, la colonna di mercurio in più parti, e non si può più continuare la sperienza.

Dall'insieme delle sperienze io deduco che la temperatura del liquido acceso allo stato sferoidale non è differente da quella dello stesso liquido non acceso. Il lento aumentare della temperatura appena acceso il liquido ha la sua ragione di essere nel grande riscaldamento del mercurio nel tubo del termometro. Il salto poi di temperatura succede appena il liquido cessa di coprire il bulbo termometrico. La fiamma in contatto col bulbo produce il salto e la divisione del mercurio.

13. *Temperatura dell'acqua sferoidale in vasi chiusi.* — Belli e Kramer (*Giornale dell'Istituto Lombardo*, 1844) trovarono che la temperatura dell'acqua sferoidale variava da 78 ad 80° R. secondo che il vaso era aperto oppure chiuso con una lamina di mica. Io ho ripetuto questa sperienza chiudendo i vasi con un cartone orizzontale attraversato dal tubo del termometro e scorrevole a dolce strofinio lung'esso. La temperatura, col

cartone sollevato, era quella che si osserva comunemente nell'acqua allo stato sferoidale; abbassato il cartone, essa cresceva più o meno, secondo che il cartone copriva intieramente o parzialmente il vaso. Con piccole aperture di esalazione di varia grandezza, praticate nel cartone, otteneva temperature varianti da 100 a 102°; col cartone intiero, il termometro segnava talvolta fin 105°. In quest'ultimo caso il vapore aveva ancora un piccolo sfogo pel foro centrale e tra il cartone e l'orlo del vaso. Questi risultati provano la giustezza della congettura di Avogadro (n.° 3).

14. *Stato sferoidale nel vuoto.* — Lo stato sferoidale nasce e perdura nel vuoto, e lascia campo a svariate sperienze, ma non tutti i liquidi permettono che si veda ciò che succede nella campana in causa dei loro vapori. Collocata la campana sul liquido, e fatto il vuoto a qualunque grado, se, dopo un tempo non troppo lungo, si lascia rientrare l'aria, e si toglie la campana, si vede ancora la goccia sferoidale impicciolita che si mantiene in questo stato. Nel vuoto ha termine la condizione sferoidale in due modi, come nell'aria libera, o per evaporazione totale del liquido, o per diminuita temperatura del vaso, per cui questo viene dal liquido bagnato. Si prolunga la durata della stessa condizione coll'adoperare masse di liquido più grandi e collocando il vaso in un vano di forma conveniente scavato in un pezzo di mattone fortemente riscaldato.

15. *Temperatura dei liquidi sferoidali sotto il recipiente della macchina pneumatica.* — La campana in cui si dirada l'aria ha il fondo traforato e munito di un'armatura di ottone chiusa da un turacciolo di gomma che porta il termometro. Il primo preparativo da fare è quello di fissare l'altezza del termometro in modo che, allorquando si coprirà colla campana il liquido sferoidale, il suo bulbo s'immerga totalmente in esso. Per tal fine si colloca a freddo il vaso metallico, che dovrà contenere il liquido, sul piatto della macchina nella posizione che gli si darà quando conterrà il liquido, e si fa discendere il termometro finchè il suo bulbo rasenti il fondo del vaso senza toccarlo. Allora scaldato il vaso, e messo in posizione col liquido allo stato sferoidale, si può operare colla macchina. È naturale che la parte graduata del termometro deve essere fuori della campana.

Collocata a posto la campana col bulbo del termometro nel

liquido sferoidale, si vede il mercurio segnare la temperatura propria del liquido sotto la pressione ordinaria e frequentemente anche una temperatura superiore. Ma ai primi colpi di stantuffo, immediatamente la temperatura discende, e diventa tanto minore, quanto è maggiore la rarefazione dell'aria interna. Ciò avviene per tutti i liquidi, ma io ho studiato più particolarmente la relazione tra la pressione e la relativa temperatura per l'acqua distillata.

Non è tanto facile come potrebbe apparire a prima vista, di misurare la temperatura corrispondente ad una pressione fissa, o per meglio dire, è estremamente difficile e forse impossibile di mantenere una pressione costante sotto la campana. Per poco che si lasci in riposo la macchina, immediatamente la pressione cresce per l'aumentata tensione dei vapori, e cresce insieme la temperatura indicata dal termometro. Facendo agire convenientemente gli stantuffi della macchina, si riesce, dopo qualche esercizio, ad ottenere una pressione oscillante tra limiti abbastanza ristretti da poter fare utili osservazioni. Egli è in questo modo che io ho sperimentato sotto un grandissimo numero di pressioni differenti, determinai per ciascuna di esse i limiti d'oscillazione della pressione e della temperatura corrispondente. Il risultato di tutte le osservazioni è che sempre la temperatura del liquido è prossima a quella a cui esso nelle condizioni normali bollirebbe sotto la pressione a cui si trova. È inutile che io riferisca qui i numerosi risultati numerici che ottenni: mi limiterò a darne due, tanto per far conoscere il grado d'importanza dei medesimi.

Messa la campana a posto col bulbo del termometro nell'acqua allo stato sferoidale, la temperatura salì rapidamente fin oltre a 90, poi lentamente fino a 100°. Allora feci dare i primi colpi di stantuffo, e giunta la temperatura a 40°, feci rallentare il moto in modo da ottenere la massima costanza possibile nella pressione. Il manometro m'indicava una pressione saltellante e tale che nelle escursioni superiori raggiungeva dai 56 ai 60^{mm} e nelle inferiori dai 45 ai 50. Notisi che è impossibile contare sull'esattezza del millimetro. La temperatura poi oscillò da 37 a 40° prossimamente. Anche qui non si può assicurare l'esattezza nel grado. La media delle pressioni mi diede 53^{mm} e la media temperatura 38°.5. Nelle tavole di Regnault a questa temperatura minima

di ebollizione corrisponde la pressione di 50^{mm} ed una frazione ed alla pressione di 53^{mm} la temperatura di 39 a 40°.

Un'altra volta operai a tale altezza della scala manometrica, che la media delle pressioni oscillanti mi venne di 420^{mm} e la media temperatura di 82, invece di 84 ed una frazione, come darebbero le tavole. Non sempre ottenni risultati così concordanti colle tavole come questi, ma le differenze sono sempre state abbastanza piccole da poter concludere, senza tema di errare, che la temperatura dell'acqua allo stato sferoidale nell'aria rarefatta è prossima a quella minima della sua ebollizione alla pressione corrispondente.

Analoghe, ma molto più grossolane determinazioni ho fatto per l'alcool e per l'etere, le quali mi condussero allo stesso risultato che quelle relative all'acqua, cosicchè dall'insieme di queste sperienze, e da quelle del n. 13, io mi credo autorizzato a concludere che *la temperatura di ogni liquido allo stato sferoidale, sotto una pressione qualunque, è prossimamente eguale alla temperatura minima di ebollizione del liquido stesso sotto quella medesima pressione.* Appare quindi quanto giudiziosa fosse la congettura del venerato mio professore Avogadro, riferita alla fine del n. 3.

16. *Osservazione importante.* — In tutte le sperienze eseguite colla macchina pneumatica ho sempre notato che la discesa della temperatura, a misura che l'aria va rarefacendosi, è pronta e si manifesta al primo colpo di stantuffo, e badando al solo termometro, si può all'ingrosso giudicare del grado di rarefazione ad ogni momento. Al contrario l'aumento di temperatura, allorchè si cessa di far agire gli stantuffi, è lento, ed anche lento in proporzione, allorchè si lascia rientrare l'aria nella campana. Questo fatto, analogo a quello del n. 9, serve per la spiegazione di questi fenomeni, ed ha un gran peso nella teoria della formazione della grandine, come farò vedere in apposita Nota.

17. *Temperature bassissime ottenibili coi liquidi sferoidali nel vuoto.* Ammettendo che la temperatura di un liquido allo stato sferoidale sia eguale alla minima della sua ebollizione sotto la pressione a cui si trova (essa è in generale un po' minore), le tavole della tensione massima dei vapori di ogni liquido danno senz'altro, la temperatura dello stesso liquido allo stato sferoi-

dale sotto la pressione eguale alla tensione dei vapori suoi. Quindi stando ai risultati trovati da Regnault, la temperatura nello stato sferoidale sarebbe

	sotto la pressione di	di gradi
	^{mm}	
per l'acqua	4.6	0
»	2.08	—10
»	0.91	—20
per l'alcool	12.8	0
»	6.6	—10
»	3.3	—20
per l'etere solforico	183.3	0
»	113.3	—10
»	67.5	—20

Per liquidi più volatili, come sarebbero, ad esempio, l'acido solforoso, l'etere metilico, l'acido carbonico, il protossido d'azoto, ec., le temperature ottenibili collo stato sferoidale sarebbero grandemente più basse. Per darne un'idea pigliamo le mosse dalla sperienza di Despretz descritta alla fine del n. 3. Egli aveva il protossido d'azoto allo stato sferoidale sotto la pressione di 20^{mm}. Quale doveva essere la temperatura di questo corpo? Il protossido d'azoto bolle a — 88°, alla quale temperatura la tensione del suo vapore è di 760^{mm}. Se la legge proposta da Dalton, per cui le tensioni dei vapori dei diversi liquidi sono eguali a temperature egualmente distanti dai loro punti rispettivi di ebollizione, fosse vera, confrontando il protossido d'azoto coll'acqua, si troverebbe pel primo, a 20^{mm} di pressione, la temperatura di — 165°. Il confronto coll'alcool e coll'etere darebbe invece la temperatura inferiore a — 180° pel primo e a — 200 pel secondo.

18. *Congelazione di un liquido sferoidale.* — L'acqua allo stato sferoidale sotto la pressione di uno a due millimetri ha, come si è visto, la temperatura di 10 a 20 gradi sotto lo zero, e può gelare, anzi, può dirsi, gela, poichè è poco probabile che rimanga liquida a quella temperatura e coll'agitazione a cui è soggetta in quello stato. A questo modo, probabilmente, congelossi il protossido d'azoto nella sperienza di Despretz, e si congelerebbe qualunque liquido sotto una pressione eguale o minore

della tensione che hanno i suoi vapori alla temperatura della sua congelazione.

In mancanza di adatte macchine non potei tentare, come avrei voluto, la congelazione dell'acqua allo stato sferoidale; occorre, per questo scopo, una rarefazione di uno a due millimetri di mercurio.

19. *Congelazione dell'acqua nell'alcool e nell'etere allo stato sferoidale.* — Facilmente si riesce a far congelare l'acqua nell'etere allo stato sferoidale; ecco in qual modo io ottenni questo risultato. Collocai la capsula di platino riscaldata nell'acqua bollente, entro un'apposita cavità di un mattone ad altissima temperatura, e dentro alla capsula versai 12 a 15 centimetri cubici di etere.

L'acqua chiusa in una bolla di vetro, si mette nell'etere. Si copre il tutto colla campana e si fa il vuoto. In questa sperienza, colla mia vecchia macchina, non ho mai potuto ottenere più che 100 a 120^{mm} di rarefazione. Ciò non dimeno in un minuto circa l'acqua si congela. Lasciata penetrare l'aria e tolta la campana, trovo nel vetro il ghiaccio. La sperienza riesce anche bene con l'acqua in un tubo di vetro.

Con una macchina che dia il vuoto a sei o sette millimetri si otterrebbe lo stesso fenomeno nell'alcool.

20. *Congelazione del mercurio nell'etere sferoidale.* — Coi mezzi, che io aveva a mia disposizione, non ho potuto tentare la congelazione del mercurio. Tuttavia ben si comprende che con un vuoto di 8 a 10^{mm} il mercurio nell'etere allo stato sferoidale deve solidificarsi.

Ognuno ben vede che questi risultati sono di un ordine ben differente da quelli analoghi ottenuti da Boutigny e da Faraday.

21. *Congelazione nel vuoto in liquidi non allo stato sferoidale.* — Gli agghiacciamenti ottenibili in liquidi allo stato sferoidale si ottengono assai più comodamente negli stessi liquidi non allo stato sferoidale e sotto la medesima pressione. Così l'acqua gela nell'alcool alla pressione di 10 a 12 millimetri, e nell'etere a quella di 175 a 180; egualmente il mercurio gela nell'etere alla pressione di 8 a 10^{mm} e questi fenomeni avvengono senza che l'etere o l'alcool siano allo stato sferoidale. Su questo principio sono fondati differenti metodi di fabbricazione del ghiaccio. Ma

la congelazione dell'acqua e del mercurio nell'acido solforoso e nell'acido carbonico allo stato sferoidale, quale fu ottenuta da Boutigny e da Faraday rispettivamente. e dell'acqua nell'etere, come la ottenni io stesso, presenta qualche cosa di sorprendente, perchè fatta, per così dire, nel fuoco.

22. *Passaggio dei liquidi dallo stato sferoidale allo stato naturale.* — Abbassandosi la temperatura del vaso al di sotto di un certo limite, il liquido cessa di essere nella condizione sferoidale. Se esso è in piccola quantità, una goccia ad esempio, si evapora ad un tratto e scompare, ma se è in quantità considerevole, l'evaporazione, da prima rapida, va rallentandosi per la diminuita temperatura del vaso, ed il liquido non iscompare che lentamente. Il passaggio da una condizione all'altra non si fa d'un salto, ma vi ha continuazione, come avviene in tutti i fenomeni naturali. Accade bene spesso che questo passaggio, per masse considerevoli, nell'aria, e più ancora nel vuoto, si faccia quasi tacitamente e senza che l'operatore se ne avvegga.

Quindi allorchè si fa congelare l'acqua o il mercurio, ad esempio, nell'etere allo stato sferoidale, non bisogna credere di aver riuscito la sperienza per ciò che i due liquidi passarono allo stato di solidità. Potrebbe l'etere, durante l'operazione, perdere lo stato sferoidale, ed il congelamento sarebbe ottenuto nel senso spiegato al n. 21, e non in quello dei numeri 19 e 20. Del resto è facile, alla fine dell'operazione, di riconoscere il senso dell'avvenuto congelamento: se il vaso è ancora caldo, lo stato sferoidale continuò fino alla fine, in caso contrario, no.

23. *Quistione di priorità.* — Qui termina la parte sperimentale del mio lavoro. Prima di passare a considerazioni teoriche intorno ai fenomeni osservati, piacemi far notare che nessuno avanti di me, per quanto io mi sappia, salvo Avogadro, non ha mai dichiarato esplicitamente che la temperatura dei liquidi allo stato sferoidale debba variare colla pressione, e nessuno ha mai fatto sperienze per verificare questa proposizione. Il sig. Boutigny, soltanto, vi si è aggirato intorno, e si propose di fare poi in proposito sperienze, che, almeno fino alla pubblicazione dell'ultimo suo volume (1883) non ha mai fatto.

Egli ha traveduto che la temperatura di un liquido allo stato sferoidale varia colle *condizioni* in cui esso trovasi, ma tra que-

ste condizioni non ha mai annoverato la pressione. Così a proposito della sperienza di Belli e Kramer, che ho citato nel n. 13, egli dice che essendo la capsula coperta colla lamina di mica, « le condizioni nelle quali si sperimenta non sono più le stesse. Al fondo delle miniere l'acqua non bolle alla stessa temperatura che sul Monte Bianco; essa è solida ai poli, e sempre liquida all'equatore (vol. citato, p. 18) ». E più giù nella stessa pagina aggiunge: « Allorchè io ripeterò queste differenti sperienze nel vuoto con un apparecchio adatto, mi aspetto di trovare altre temperature, e la ragione ne è ben semplice: i corpi sottoposti alla sperimentazione *non saranno più nel medesimo mezzo* ». E non soddisfatto di queste ragioni, accagiona ancora delle differenze osservate, le difficoltà quasi invincibili che presenta la termometria, dappoichè Bellani dimostrò lo spostamento dello zero.

Il sig. Boutigny ritornò sulla questione nell'ultimo alinea della pag. 264 della sua Opera, ove dice: *Il reste par exemple toute la série d'experiences à faire dans le vide... Mais quelle est la température des corps à l'état sphéroïdal dans le vide? quelle est celle de leur vapeur? et vingt autres questions comme celles-là restent à résoudre*. Anche qui non si trova cenno dell'influenza della pressione.

24. *Due errori da evitare.* — La massima parte di coloro che scrissero dello stato sferoidale attribuiscono la bassa temperatura del liquido relativamente a quella dell'ambiente, nel vaso caldo, alla evaporazione superficiale. Ma costoro, senza avvedersi, cadono nell'errore di Volta, che spiegava il raffreddamento delle nubi temporalesche colla loro evaporazione nelle parti superiori, generata dai raggi solari, o di coloro che credono che il ghiaccio si conservi meglio al sole, che in luogo chiuso, per ragione consimile. I vapori che nascono alla superficie dei liquidi allo stato sferoidale ricevono, per irradiazione, dal vaso il calore necessario alla loro formazione, e non dalla massa del liquido, alla quale piuttosto che sottrarre, somministrano calore, come vedremo.

Un altro errore sovente ripetuto è quello che riguarda l'equilibrio di temperatura, il quale alcuni dicono non verificarsi secondo le note leggi della fisica. Costoro ritengono che vi sia un salto deciso di temperatura tra il liquido e l'ambiente, mentre,

come si vedrà, il cambiamento si fa per gradi, rapidi sì, ma continui. Tenendo conto di tutte le circostanze del fenomeno, io credo possibile, nello stato attuale della scienza, di determinare la funzione che esprime l'andamento della temperatura, o le variazioni di potenziale calorifico, procedendo dal liquido all'ambiente. Tale funzione non è discontinua; offro ai fisici matematici un campo d'esercizio nella sua ricerca.

25. *Equilibrio di temperatura dal liquido alle pareti del vaso.* — La pressione che sopporta il liquido allo stato sferoidale in un vaso aperto è quella dell'aria esterna; quindi se non intervengono circostanze straordinarie, la temperatura dello strato liquido superficiale, che si evapora, è uguale alla temperatura minima d'ebollizione del liquido stesso sotto la pressione attuale. Il vapore, a misura che si va formando, si allontana dal liquido per far luogo ai vapori che gli succedono, e si porta verso le pareti del vaso e verso l'apertura di esso. In questo suo cammino egli incontra sempre nuovo calore irraggiato dal vaso, e acquista man mano maggior temperatura, diradandosi, e per così dire, assottigliandosi. In conseguenza la temperatura nel vaso va crescendo in modo continuo dalla superficie del liquido, ove il suo valore è uguale alla minima di ebollizione fino alla parete del vaso, ove essa è quella della parete medesima.

26. *Temperatura del liquido.* — La massa liquida riceve calore in due modi: per irradiazione e per contatto. Una parte del calor raggiante l'attraversa senza scardarla; l'altra parte viene assorbita, e concorre ad elevarne la temperatura. Il calore che il liquido riceve per contatto è quello che mantiene lo strato superficiale di esso alla temperatura minima di ebollizione, e si propaga nell'interno della massa per conduttività e per convezione. La parte dovuta alla conduttività è minima, se non nulla, e possiamo concludere che la massima parte del calore che riceve l'interna massa del liquido è d'irradiazione e di convezione.

Ora il liquido perde calore in due modi: per irradiazione e per sua propria evaporazione, e l'equilibrio della temperatura di esso avrà luogo quando la somma dei calori perduti eguaglierà la somma dei ricevuti.

Notisi che ho detto la sua propria evaporazione, e non la superficiale, la quale come già avvertii, non si fa a spese del calore interno.

Ora io dico che la temperatura del liquido, sempre stando nelle condizioni ordinarie, non può eccedere la minima di sua ebollizione. Infatti, se ciò avvenisse, il liquido bollirebbe, e non avremmo lo stato sferoidale. Ecco dunque che noi possiamo concludere a priori che la temperatura di un liquido allo stato sferoidale non è mai superiore a quella della sua ebollizione.

27. *Surriscaldamento dei liquidi sferoidali.* — Uscendo dalle condizioni normali, possono i liquidi surriscaldarsi, cioè acquistare una temperatura maggiore della minima di ebollizione, sieno essi allo stato sferoidale, o no, e ciò in due modi: *per riscaldamento e per diminuzione di pressione.* Riscaldare un liquido tranquillo e fuori del contatto di sostanze che ne facilitino l'ebollizione; la sua temperatura può salire anche di molti gradi sopra quella minima della sua ebollizione, e di ciò possiamo avvederci sia coll'osservazione termometrica, sia da un subitaneo sbalzo e quasi esplosione che succede nel liquido al cessare delle cause che lo mantengono nella condizione di surriscaldamento. Questo fatto osservai io più volte misurando la temperatura dell'acqua, dell'alcool e dell'etere allo stato sferoidale sotto la campana della macchina pneumatica senza operare il vuoto. La campana si riscalda, la temperatura indicata dal termometro va crescendo, e poi tutto ad un tratto succede uno sbalzo del liquido, e la temperatura ricade all'altezza ordinaria.

Più facilmente e più frequentemente avviene il surriscaldamento per diminuita pressione. Rarefacendo l'aria col liquido allo stato sferoidale sotto la campana, avviene spesso che il mercurio cessa momentaneamente di discendere nel termometro, per ripigliare il suo corso discendente dopo uno sbalzo del liquido.

28. *Causa per cui il termometro col bulbo non intieramente immerso nel liquido sferoidale, oppure circondato da bolle, continua a segnare la temperatura del liquido.* — Ciò nasce da una causa semplicissima. Il liquido che bagna il vetro, per capillarità, sale e riveste ancora l'intiero bulbo anche allorchè questo è già parzialmente fuori della massa liquida. La lamina liquida che sale intorno al vetro, o che chiude le bolle, si evapora continuamente e continuamente si rifornisce di nuovo liquido che sale per capillarità, nel primo caso, e per una specie di soluzione nel secondo. Dico per una specie di soluzione, nè saprei come espri-

mere diversamente la cosa. Nelle mie sperienze del 1881, citate nel n. 7, io vedeva distintamente nell'immagine delle lamine liquide, a misura che queste si assottigliavano, partire dalle gocce liquide, che stavano in contatto, delle correnti continue che andavano ad alimentarle. Intorno alla goccia, che pende da una bolla di sapone, e da tutti i punti del filo di ferro che chiude una lamina orizzontale, si osserva un'eruzione incessante di filletti fluidi che scorrono verso le parti più sottili della lamina, e giunti alla distanza di alcuni millimetri dal punto di partenza, si rallentano, s'incurvano e paiono retrocedere dopo aver formato una piccola testa grossa come quella di un ago, che scompare tosto, rappresentando a chi li osserva, l'aspetto di migliaia di razzi accesi e rapidamente succedentisi in ristretto spazio. È un fenomeno di diffusione reciproca, che in molti liquidi si manifesta allorchè essi sono a mutuo contatto, e differiscono anche di pochissimo l'uno dall'altro.

SULLA CONDUTTIVITÀ ELETTRICA DELLE LIMATURE METALLICHE;
SECONDA NOTA DEL DOTT. TEMISTOCLE CALZECCHI-ONESTI.

In una Nota precedente ⁽¹⁾ ho descritto un curioso fenomeno che si verifica nelle limature metalliche; le condizioni nelle quali io faceva l'esperienza erano le seguenti: io operava sopra un circuito nel quale erano intercalati un galvanometro, un telefono, un cannellino di vetro ripieno di limatura metallica, ed una pila; fatto salvo il galvanometro dall'invasione della corrente fornita dalla pila, quando dal circuito era esclusa la limatura ⁽²⁾, io faceva le interruzioni mercè le quali la limatura acquistava la conduttività, di che mi accertava, o andando al telefono, o ritornando al galvanometro. La presenza del telefono non solo non è indifferente, ma è la ragione del fenomeno, nelle condizioni dette di sopra; tolto il telefono, la limatura, per interrompere che si

(1) *Nuovo Cimento*, ser. 3. vol. XVI, fascicolo di Luglio, Agosto e Settembre 1884.

(2) In qual modo debbasi intendere l'esclusione della limatura è detto nella Nota citata, ed apparisce dalla figura.