



I S E M P R E V E R D E

CARLO MATTEUCCI



Fenomeni fisico-chimici dei corpi viventi

ATHENA
EDIZIONI

Athena Edizioni ti regala questo libro in formato cartaceo, stampato e spedito gratuitamente a casa tua. Infatti per ogni libro acquistato dal sito potrai scegliere un libro della collana Sempreverde in omaggio. Visita edizioniathena.it per maggiori informazioni.

LEZIONE I.

Signori

Non ho mai dubitato tanto delle mie forze, quanto nell'obbedire, come fò, all'affidatomi incarico d'un Corso di Lezioni sui *fenomeni fisico-chimici dei corpi viventi*. Ma, se da un lato sento grandissima la difficoltà di un tale insegnamento, ho d'altronde ferma fiducia, che i più piccoli sforzi che potrò fare in questa via, vi riesciranno di non lieve profitto.

Se al principio di un insegnamento qualunque, si studia da colui che professa, di darne alla meglio la definizione, di dimostrarne i confini, lo scopo, di tracciarne, in una parola, il piano, la necessità di questi preliminari apparisce più che mai urgente nel nostro caso.

È forse questa la prima volta che s'introduce nell'istruzione medico-fisica un insegnamento così intitolato: non v'è libro in cui si trovi dettato: vi sono, è vero, i germi sparsi qua e là: ma il punto di vista sotto cui debbono svilupparsi è appena intraveduto.

I corpi viventi non mancano di quelle proprietà generali che caratterizzano tutti i corpi della natura. Il più fanatico dei *vitalisti*

non negò mai che la materia organizzata vivente non fosse estesa, impenetrabile, divisibile, porosa. Come credere che la gravità, che il calorico, l'elettricità, la luce, l'affinità chimica abbiano su questi corpi maniere generali d'agire totalmente diverse da quelle con cui operano su i restanti corpi della natura?

Troverete in Opere anche molto accreditate di Fisiologia, raccolte in quadri le differenze, le opposizioni dirò anzi, che si sono credute potere stabilire fra i corpi inorganici e i corpi organici. Troppo lungo sarei, e lo sarei inutilmente, se volessi qui intrattenervi del poco o niun valore di molte fra queste differenze. Gli animali e i vegetabili crescono per *intususceptione*, i minerali per *sovrapposizione*; o ciò che torna l'istesso, nei primi due l'accrescimento si fa per sovrapposizione interna, negli altri per sovrapposizione esterna, e ciò perchè in quelli è nell'interno che trovasi il liquido che contiene disciolti gli elementi delle nuove formazioni, mentre negli altri questi elementi si trovano al di fuori. Si direbbe che i tubi che conducono le acque delle sorgenti, crescono come i vegetabili e gli animali, per ciò solo che sulle loro interne pareti si depona il carbonato calcareo?

V'è, durante la vita, lotta continua fra le forze fisiche e le forze vitali: la morte è il trionfo di quelle su queste... Ma basterà ciò a provare che le forze vitali e le forze fisiche siano essenzialmente distinte fra loro, opposte nella loro maniera d'agire? Si direbbe forse con esattezza che le parti d'un arco sono dotate d'una forza

opposta a quella della gravità, per ciò solo che queste parti non cadono?

I corpi organizzati viventi sono, come tutti gli altri corpi della natura, estesi, impenetrabili, divisibili, porosi. Immergeteli nell'acqua o in altri liquidi, e tutti li vedrete imbevversene, come se ne imbevono la sabbia, il vetro pesto, i corpi porosi e fatti di tubi capillari. E questa proprietà è nei corpi viventi della massima importanza. Ve una gran serie d'animali, i quali dalla morte in cui persistevano da gran tempo, ritornano a nuova vita a contatto dell'acqua di cui s'imbevano. Chi non conosce le belle sperienze del nostro Spallanzani, sul *rottifero*? Eccovi un tendine, una membrana, che quali ve le mostro, raggrinzate e indurite, non sembrerebbero aver giammai costituito parte d'un corpo organizzato. Queste stesse parti eccovele imbevute d'acqua, e già le vedete molli, pieghevoli, elastiche e pronte all'ufficio che hanno nel corpo vivente.

L'elasticità non appartiene meno ai corpi viventi di quello che a tutti gli altri corpi della natura. Eccovi una porzione di tubo intestinale, un'arteria che io posso a volontà più meno dilatare e restringere. All'aprirsi del *robinet* fissato alla trachea, vedete questo polmone sgonfiarsi, lo vedete rigonfiarsi e dilatarsi da capo allorchè vi soffio. Nè crediate potersi, senza questa elasticità del parenchima polmonare, dell'intestino, dell'arteria, operare le funzioni di questi varj organi. Supponetela tolta, e cesseranno le loro funzioni.

La gravità opera sulle parti solide, su i liquidi e i gas dei corpi viventi, non altrimenti che su tutti gli altri corpi; e non potrà mai spiegarsi nessuna funzione di circolazione sanguigna, di respirazione, di assorbimento, se le proprietà fisiche dei solidi, dei liquidi, dei gas, se il loro vario peso, se le loro condizioni d'equilibrio, non siano tenute a calcolo.

Scaldate convenientemente un corpo organico qualunque, e vedrete svolgersene i gas, svilupparsi vapor d'acqua, bruciarsi all'aria il suo carbonio e il suo idrogeno, producendo acido carbonico e acqua. E se al primo agire del calorico vedete spesso una sostanza organizzata storcersi, raccorciarsi, anzi che dilatarsi e farsi liquida, come avviene generalmente ai corpi inorganici, certo è che tali differenze non sono in modo alcuno attribuibili alla vita, giacchè si mostrano in parti già da gran tempo prive di vita. Sono esse dovute alla particolare struttura e alle proprietà fisico-chimiche degli elementi che le compongono: difatti cominciano dal perder l'acqua di cui sono imbevute, e ciò nella faccia che per la prima si riscalda, per cui a guisa d'una carta più sopra una parte che sull'altra bagnata, si accartocciano, affinché la faccia più lunga rimanga alla convessità della nuova forma. Sono spesso inzuppate d'albumina che si coagula, e allorquando il calore è forte, i loro elementi si separano allo stato gasoso, riducendosi in combinazioni più semplici e necessariamente più stabili. In un modo analogo avviene, che il coagulo del sangue abbandonato all'aria si accartoccia alla superficie volgendo in

fuori la concavità. È in questo caso il diverso grado di umidità che va diminuendo dall'interno della massa alla superficie, che produce l'accartocciamento.

L'elettricità di tensione scorre sui corpi organizzati, si diffonde in essi più o meno facilmente, secondo il loro diverso grado d'umidità, e se la scintilla li traversa, li volatilizza, li brucia, l'incenerisce.

Se è la corrente elettrica che attraversa i liquidi dei corpi viventi, allora pure se ne veggono scomposti i sali che vi sono contenuti, separati gli acidi ad un polo, le basi all'altro; si vede l'albumina coagularsi al polo positivo, insieme all'ossigeno e ad un liquido schiumoso acido, portarsi l'idrogeno al polo negativo assieme ad un liquido alcalino.

E quanto ai raggi luminosi, chi non sa attraversare essi gli umori dell'occhio, piegarsi, or divergendo or convergendo a seconda della diversa densità relativa degli umori stessi, della diversa conformazione delle parti che gli contengono, come farebbero in un strumento diottrico?

Aggiungerò infine, che gli elementi che compongono i corpi viventi non cessano d'ubbidire alle generali leggi dell'affinità. Tutti si riconoscono, si separano dal Chimico coi processi analitici ordinarii. Fate che il cloro, il bromo, lo iodio agiscano sopra di essi, e l'idrogeno sarà sempre il primo a separarsi convertito in acido idroclorico. Tutte le azioni ossigenanti un poco forti, convertiranno in acidi le sostanze organiche.

Concluderemo dopo tutto questo, che colle sole proprietà generali, quali si trovano nei corpi viventi, comuni a tutti gli altri corpi dalla natura, col solo giuoco delle grandi forze fisiche, calorico, luce, elettricità, attrazione, potranno spiegarsi tutti i fenomeni che i corpi viventi ci presentano? Questa conclusione sarebbe così lontana dal vero, quanto lo fu e lo è quella di coloro che negano ai corpi viventi queste proprietà generali, che li considerano come non soggetti affatto all'influenza degli agenti fisici.

Esaminate i fenomeni dei corpi viventi, *i più fisici, i più chimici*, permettetemi questa espressione, che vi sieno, e troverete delle differenze ben grandi, nel modo d'operare degli agenti fisici e chimici attraverso all'organismo; differenze che, dietro le cognizioni che abbiamo intorno alle leggi di questi agenti, non possono completamente spiegarsi. Lo stesso fenomeno della visione, che si direbbe il fenomeno fisico per eccellenza, non è egli tuttora per noi inesplicabile in molte sue particolarità? Come mai infatti avviene che l'occhio è uno strumento *acromatico*? Come avviene che la visione riesce distinta alle piccole distanze, così bene che alle grandi? Perchè infine non è doppia? Che non vi dirò dell'udito, e della voce che sono pur effetti di vibrazioni particolari dell'aria, propagate dai solidi, diffuse colle leggi generali dell'Acustica? Eppure tante particolarità ci rimangono ancora a spiegare in queste funzioni.

L'azione chimica della luce che scompone l'acido carbonico, fissando il carbonio in nuove combinazioni nel seno dei vegetabili, sviluppandone l'ossigeno, producendo così ciò che le affinità chimiche le più potenti non possono produrre, è di certo diversa da quella che scompone certi ossidi, certi cloruri metallici, per cui bastano le azioni chimiche le più deboli.

Applicate la corrente elettrica su i nervi d'un animale vivo qualunque, e la singolarità dei fenomeni che vedrete svegliarsi vi dimostrerà ad evidenza, quanto è mai grande la distanza che separa gli effetti delle grandi forze della natura, secondo che organizzato e vivo, oppure inorganico e morto è il corpo su di cui operano.

Quale sarà mai la cagione di queste grandi differenze nel modo d'azione degli agenti fisici su i corpi viventi, e su tutti gli altri corpi della natura?

Eccovi una prima domanda della più alta importanza, cui non ci è dato adeguatamente di rispondere, nello stato attuale delle nostre cognizioni. Non abbandoniamo però le analogie della Fisica. Un raggio di luce che penetra obliquamente in un vetro, in una massa d'acqua, si piega, devia dalla linea retta; ma se s'incontra invece in un cristallo di carbonato di calce, si divide allora in due altri raggi i quali si piegano perciò disegualmente. La cagione della differenza fra questi due fenomeni sta tutta nella diversità di struttura fisica fra il vetro e il carbonato di calce cristallizzato, e forse anche nella diversa natura chimica delle molecole

loro. Ma è di certo più alla diversità di struttura o di particolare disposizione delle molecole, che alla diversità di composizione chimica, che sono dovute tali modificazioni del raggio lucido. Sappiamo infatti che il vetro, secondo che è più o meno in diversi sensi compresso, senza cambiar punto la sua chimica composizione, agisce diversamente su i raggi luminosi.

E chi potrà confondere un corpo organizzato con un corpo inorganico? Gruppi di vescichette chiuse, più o meno grandi, diversamente riunite e disposte, sono di certo un *che* di essenzialmente diverso d'un ammasso di particelle poliedriche, riunite in un corpo cristallizzato. Dire con Schwann che l'organizzazione è la cristallizzazione operata in mezzo ad un liquido, di cui possono imbevversi i primi cristalli che si formano, equivarrebbe ad ammettere, che la struttura d'una stallattite è la stessa di quella del parenchima del polmone e del fegato.

Molecole composte al meno di tre elementi, in ciascuna delle quali entra un numero grandissimo di atomi elementari, formeranno necessariamente sistemi chimici, le di cui affinità saranno diverse da quelle, in cui le molecole sono composte di due elementi, nella maggior quantità dei casi, ed in cui gli atomi elementari entrano sempre in minor numero. E se le azioni chimiche generali, mostrandoci come le combinazioni sieno più deboli al crescere del numero degli atomi elementari, bastano a spiegare la tendenza dei composti organici a risolversi in combinazioni più semplici; se la Chimica vi dà molti esempi di cotesta tendenza

in alcuni composti inorganici, la di cui composizione ha grande analogia coi composti organici, non vi sarà però lecito il credere, bastare le leggi della chimica inorganica a darvi completa ragione dei fenomeni chimici della vita. L'organizzazione dunque e la struttura molecolare dei corpi viventi inducono grandi modificazioni nel modo d'operare degli agenti fisici e chimici.

Ma ci sarà permesso sperare, scoperto in che consistano queste modificazioni, lo che ignoriamo ancora, di poter giungere alla completa spiegazione di tutti i fenomeni dei corpi viventi? Per il momento almeno, sarebbe vana una tale speranza.

Aprite un animale, esaminatene il fegato, i reni, e chiedetevi qual forza fisica potrà mai spiegarvi come avvenga, che dal sangue che va a questi organi si faccia la bile, l'urina? Come mai colle affinità chimiche, modificate, per quanto potete immaginarlo, dalla struttura particolare delli organi, giungereste, non dirò ad intendere, ma neppure ad intravedere come dal sangue, in cui tutti gli elementi organici stanno misti e in parte sospesi e in parte disciolti, le varie parti del corpo organico giungano a separare e fissare quelli di cui hanno mestieri per riparare le continue perdite? Che non dirò delle funzioni dei nervi, che non dirò della generazione? L'oscurità è qui al massimo.

Concludiamo dunque.

1.° I corpi viventi hanno le proprietà generali di tutti i corpi della natura, e queste proprietà intervengono nella produzione

dei loro fenomeni, nè possono quindi trascurarsi nella spiegazione dei medesimi.

2.° I grandi agenti fisici, calorico, luce, elettricità, attrazione, operano sui corpi viventi, come su tutti i corpi della natura; e l'azione loro deve necessariamente entrare come elemento, nella produzione delle funzioni proprie a quei corpi.

3.° Questi stessi grandi agenti, operando attraverso alla materia organizzata, modificano talora la loro maniera generale d'agire, e tale diversità è tutta dovuta alla diversa struttura e composizione chimica dei corpi organici.

4.° Vi sono fenomeni nei corpi viventi che chiameremo *vitali*, e sono molti e della più grande importanza, nei quali non si sa vedere, nello stato attuale della scienza, che possano gli agenti fisici, pur modificati nella loro azione dall'organismo, intervenire a produrli.

Esiste perciò uno studio, una scienza, aggiungerò, dei fenomeni fisico-chimici dei corpi viventi, come v'è una Fisiologia sperimentale.

Il legame di queste due scienze intimo, necessario, sta nella terza classe dei fatti che abbiamo distinti. L'organizzazione modifica l'azione degli agenti fisici; e lo studio di queste modificazioni vuole il concorso della Fisica e della Fisiologia sperimentale.

Non dimenticate mai che si è formata una quarta classe di fenomeni dei corpi viventi, denominandoli fenomeni vitali. Ho detto fenomeni e non forze vitali; la differenza è davvero vitale.

Se Newton non avesse fatto che chiamare attrazione o forza attrattiva, quella che conserva il meraviglioso sistema della meccanica celeste, sarebbe il suo nome da lungo tempo caduto in oblio. Egli disse, che l'attrazione si esercitava in ragione diretta delle masse, in ragione inversa dei quadrati delle distanze, e svelando così le leggi eterne di quella forza, eternò con esse il suo nome.

Parlare di forze vitali, darne la definizione, interpretare fenomeni col loro soccorso, e intanto ignorare le leggi di queste forze supposte, è dir nulla, o è peggio che dir nulla, è tentare l'impossibile, è appagare lo spirito, cessare dalla ricerca della verità. Dire che il fegato, per la forza vitale, separa dal sangue gli elementi della bile, equivale esattamente a dire che la bile si forma nel fegato. Con questo cambiamento di parole ci facciamo una fatale illusione.

Mi lusingo di aver così ben stabilito lo scopo, cui si deve mirare nello studio dei fenomeni dei corpi viventi, che riducesi, in ultimi termini, a quello dei fenomeni fisico-chimici di questi corpi, della loro organizzazione, delle modificazioni che questa organizzazione induce nell'azione generale propria degli agenti fisici, e infine nella ricerca delle leggi, tuttora empiriche dei fenomeni puramente vitali.

LEZIONE II.

Attrazione molecolare – Capillarità – Imbibizione.

Sa ognuno che l'esistenza d'un corpo vivente qualunque non può conservarsi, senza che in esso siano continuamente introdotte sostanze estranee, e senza che continuamente ne siano rigettate. Queste sostanze, spesso solide, vengono per mezzo degli organi dei corpi viventi, trasformate e ridotte allo stato liquido, nel quale stato poi penetrano entro cavità particolari, dalle quali escono di nuovo, dopo aver subito altre trasformazioni. Abbiamo visto nella prima lezione che la porosità dei tessuti dei corpi viventi faceva sì, che questi potessero venire imbevuti, penetrati da liquidi con cui erano messi a contatto. Non potremo dunque cercare di renderci una soddisfacente spiegazione dei fenomeni *dell'assorbimento e dell'esalazione*, senza tenere a calcolo qual parte aver vi possano i fenomeni della capillarità, dell'imbibizione, dell'endosmosi che noi sappiamo accadere nel seno dei corpi inorganici.

È tanta l'importanza che ha lo studio delle due citate funzioni dei corpi viventi, che mi credo in dovere di destinare per intero questa lezione allo studio dei fenomeni, puramente fisici della capillarità, della imbibizione, dell'endosmosi, affine di potervi

preparare, colle cognizioni che in queste esporremo, ad intendere qual parte aver possano nelle funzioni dell'*assorbimento* e dell'*esalazione*.

Per limitarmi alla semplice esposizione dei fatti, riporterò qui, sotto alcuni titoli generali, i principali risultamenti dell'osservazione dei fenomeni capillari.

1.° Allorchè un corpo è immerso in un liquido, quest'ultimo s'inalza o si abbassa intorno al primo, e il liquido è terminato, nel suo contatto col solido, da una superficie concava o convessa, secondo che s'è elevato o depresso. Nel primo caso il solido si dice bagnato, e questo è il caso del vetro e dell'acqua: l'altro caso si osserva tra il vetro e il mercurio.

2.° Se s'immergono in un liquido due corpi accade, che il liquido s'inalza o si abbassa tra di loro, secondo che sono o no bagnati, allorchè sono tanto ravvicinati, da venire a contatto le due superficie curve che si sono formate nel liquido, intorno ad ognuno di loro. La quantità d'innalzamento o d'abbassamento, rispetto alla superficie esterna del liquido, è in ragione inversa della distanza dei due corpi.

3.° Immergendo in un liquido un tubo di vetro aperto alle due estremità, il liquido s'inalza o s'abbassa entro questo tubo, e tanto più, quanto più è piccolo il suo diametro. Confrontando l'innalzamento o la depressione in un tubo cilindrico, coll'innalzamento e colla depressione che avviene fra due lastre, che sono

ad una distanza eguale al diametro del tubo, si trova che l'innalzamento o la depressione hanno un valore doppio per il tubo.

4.° La superficie concava del liquido sollevato e la convessa del liquido depresso, appartengono ad una mezza sfera, il cui diametro è uguale a quello del tubo.

Allorchè questi tubi sono sottilissimi, o come si dicono capillari, questo innalzamento o questo abbassamento è molto sensibile. Così in un tubetto di un millimetro di diametro l'acqua s'innalza fino a 30 millimetri, sopra il livello del liquido esteriore, mentre il mercurio si mantiene sotto al medesimo di 13 millimetri all'incirca.

5.° Una goccia d'acqua in un tubo conico di vetro si vede muovere, verso la parte più stretta del medesimo. Avviene il contrario, quando s'introduce una goccia di mercurio: questa si porta verso la parte più larga del tubo.

6.° I fenomeni di cui si è finora parlato, sono interamente indipendenti dalla grossezza del corpo solido, che s'immerge nel liquido, e per conseguenza sono anche indipendenti dallo spessore delle pareti del tubo capillare, entro il quale si fanno vedere.

7.° Questi fenomeni si osservano identici, nell'aria alla ordinaria pressione, nell'aria condensata o rarefatta, nel vuoto ed in qualunque altro mezzo gasoso.

8.° I corpi tutti, qualunque sia la natura loro, purchè suscettibili d'esser bagnati, presentano gli stessi risultamenti, se prima

d'essere immersi in un liquido, vengono coperti da un strato del liquido stesso.

9.° Dato lo stesso liquido e lo stesso tubo, l'altezza o la depressione della colonna liquida interna diminuiscono, in ragione della temperatura del liquido.

10.° Gli innalzamenti e le depressioni, di cui finora si è tenuto discorso, sono indipendenti dalla densità dei liquidi; così rappresentando con 100 il sollevamento dell'acqua per un dato tubo, quello dell'alcool è 40, quello dell'olio di lavanda 37, quello d'una soluzione satura di sal marino 88.

11.° Due corpi galleggianti su d'un liquido, portati a certo grado di avvicinamento, si vedono aderire fra di loro, se ambi sono tali da lasciarsi bagnare dal liquido, od ambi non lo sono. Si vedono respingersi se uno è bagnato e l'altro no. Il portarsi dei corpicciuoli leggieri galleggianti alla superficie delle acque, verso le pareti della vasca che le contiene, si spiega dietro questo principio.

12.° Qualunque sia l'altezza, cui si eleva un liquido, giammai si vede il medesimo sortire al di fuori dall'apertura superiore del tubo capillare. È questa una conseguenza necessaria dei risultati già esposti. Basterà infatti riflettere, che la superficie della colonna liquida elevata nel tubo capillare, è sempre concava verso l'infuori; per cui, se in un tubo capillare ricurvo si va aggiungendo acqua da una parte, tanto che si riesca a far terminare la colonna prima in superficie piana, poi in superficie convessa

all'infuori, si vedrà l'altra colonna rimasta concava, sollevarsi sempre più al disopra dell'altra. Si genera dunque per capillarità, una forza di depressione, allorchè la superficie si fa convessa. Non si creda perciò che l'acqua, che scola da uno stuppino di cotone immersovi, e ripiegato in basso esca per capillarità; basterà infatti di tenerlo orizzontale, perchè cessi lo scolo.

Non posso diffondermi a proposito di questi fenomeni, sino a darvene la teoria, che è interamente del dominio dell'analisi matematica la più sublime. I citati risultamenti dell'osservazione bastano a provarvi, che questi fenomeni dipendono da quella forza che chiamiamo attrazione molecolare, la quale si esercita fra le molecole dei corpi, e che cessa di agire alle più piccole distanze.

Onde evitare ogni falsa applicazione dei fenomeni capillari all'economia animale, è d'uopo che abbiate sempre presente, che uno spazio qualunque, pieno totalmente di liquido, non è capace di esercitare nessuna azione capillare, che l'azione d'un tubo capillare su i liquidi è dovuta, piuttosto che alla natura diversa del tubo stesso, a quella del liquido di cui si trova spalmata la sua interna parete, che finalmente non è mai per effetto di capillarità che i liquidi possano traboccare dall'apertura superiore dei tubi in cui da essa sono sollevati.

Sono fenomeni in generale della stessa natura, e dipendenti dalle stesse forze quelli denominati dell'*imbibizione*, dell'*igroscopicità* ec. Un pezzo di zucchero in pane, uno stuppino di cotone,

un cilindro di sabbia, di cenere, di segatura di legno a contatto dell'acqua o d'un altro liquido che li bagni, non tardano a sollevare il liquido per tutta la loro massa, ad imbevversene in una parola; è così che avviene di certi tessuti, cartilagini, tendini, che disseccati e poi immersi nell'acqua si veggono, dopo poche ore riprendere tutte le proprietà che hanno allo stato di vita, e ciò per l'acqua assorbita; così accade pure nella famosa esperienza del rottiifero il quale riprende vita e movimento, al contatto d'una goccia d'acqua, che lo bagni. Questi fenomeni d'imbibizione intervengono pure nella filtrazione dei liquidi, e perciò, allorchè questi liquidi hanno particelle solide in sospensione le vediamo separarsene, mentre il liquido imbeve la sostanza del feltro. Una goccia di cioccolato, d'inchiostro che cadano sopra un panno o sopra una carta asciugante, si convertono in una macchia nera centrale, circondata da una zona d'un liquido meno colorato. Così accade del sangue, allorchè si versa nel tessuto cellulare sottocutaneo; se ne vede il siero portato al di fuori e separato dalla sostanza colorante.

V'è in questi fenomeni d'imbibizione da considerare, da prima la forza di adesione fra il liquido e le superfici delle particelle solide che vi si mettono in contatto, indi l'azione della capillarità propriamente detta, in quanto che nello zucchero, nelle masse di sabbia, di cenere ec., e nei tessuti organici non possono non vedersi cavità estremamente piccole che devono più o meno tortuosamente continuarsi nel loro interno.

Questo fenomeno dell'imbibizione meriterebbe di certo uno studio più lungo di quello, non si è fatto fin ora. Hales volle misurare quella che egli chiamava forza di assorbimento delle polveri, disponendo l'esperienza nel modo che vedete. È un grosso tubo chiuso in alto, pieno di cenere finissima e calcata, a cui è unito nella parte aperta, un lungo tubo più stretto, di vetro. Si empie questo tubo di acqua e rapidamente si rovescia sotto il mercurio, quasi come se ne facesse un barometro. A poco a poco la cenere succhia l'acqua del tubo, ed il mercurio si solleva, ed Hales lo ha visto innalzarsi fino ad altezze considerevoli, non mai però ad un'altezza maggiore di 76 centimetri. Questa esperienza in verità non prova altro, che la pressione atmosferica. Difatti l'apparecchio di Hales non è che un barometro ad acqua e a mercurio, nel quale quest'ultimo si solleva, a misura che l'acqua si disperde per imbibizione nella cenere. L'aria frammessa e aderente alla cenere stessa fa equilibrio, in questa esperienza, ad una gran parte della pressione atmosferica. È chiaro che la colonna di mercurio cessa di sollevarsi, allorchè tutta la massa della cenere si è imbevuta, e se si immaginasse che, per una altra cagione, la cenere andasse perdendo superiormente l'acqua di cui è imbevuta, ne verrebbe un nuovo sollevamento nella colonna, sempre che però questo potesse accadere senza che, sulla cenere stessa si facesse sentire la pressione dell'atmosfera. E questo risultato ha ottenuto Magnus chiudendo l'orificio superiore e largo di un imbuto, con un pezzo di vescica, empiedo il tubo d'acqua

e rovesciandolo al solito colla estremità stretta, nel mercurio. Questo fatto è tanto più importante, in quanto che prova, che mentre per la membrana inzuppata d'acqua passa il vapore acqueo, la pressione dell'atmosfera non si esercita sull'interno della colonna liquida.

Potrebbe dimandarsi se per l'azione dell'imbibizione un liquido giungerà a sollevarsi ad un'altezza qualunque. Sarebbe da prima che una colonna di sabbia, di cenere o d'altro immersa con una sua estremità in una massa liquida, mantenuta sempre ad una stessa altezza, dovesse portare il liquido per imbibizione a una altezza qualunque, tanta da imbeverne tutta la colonna. Difatti, se si consideri isolatamente l'azione di ognuno degli strati che costituiscono la colonna, ne verrà che allorchè le particelle del primo strato in contatto del liquido si saranno, per l'adesione bagnate, le particelle dello strato immediatamente superiore toglieranno alle prime una parte del liquido, e queste ultime riprenderanno la parte perduta alla massa liquida con cui sono a contatto, e ripetendo questo ragionamento per tutti gli strati successivi della colonna ne viene, che ognuno dovrà prendere la stessa quantità di liquido, ed agendo isolatamente e supponendo costante la massa liquida, la colonna, per quanto lunga, dovrà imbevversì tutta intiera. Non è però così che vien provato dall'esperienza. L'altezza alla quale un dato liquido si solleva in una colonna d'una data sostanza, ridotta in polvere, per effetto di imbibizione è limitata: e questo non avviene già perchè per

l'evaporazione, una porzione di liquido esca per lo strato superiore. Ho visto sollevarsi l'acqua in una colonna di sabbia esattamente alla stessa altezza, in uno spazio saturo di vapore acqueo, come nell'aria asciutta. Non posso spiegarvi questo limite nel sollevamento per imbibizione, senza ammettere che delle cavità continuate lungo la colonna di polvere, operino nell'imbibizione, e che per conseguenza, oltre la semplice adesione del liquido nella superficie della particella della sabbia, intervenga anche l'azione capillare.

V'esporrò qui i risultamenti di alcune esperienze tentate sopra questo soggetto, insieme al Dott. Cima, e che provano anche meglio la proposizione precedente. Alcuni tubi di vetro, di circa due centimetri di diametro, furono empiti di sabbia bianchissima e passata per setaccio fino. L'estremità dei tubi che doveva essere immersa nell'acqua, era chiusa con una tela legata intorno al tubo. La sabbia era asciugata prima a *bagno maria*, e poi si introduceva versandola, dall'estremità superiore del tubo, e si aveva cura di non dar urti al tubo così ripieno, perchè la sabbia non avesse a comprimersi inegualmente. Sei tubi così preparati furono immersi nello stesso tempo, in sei liquidi diversi alla temperatura di $+12^{\circ}$ C. I liquidi continuarono a salire per imbibizione, per circa dieci ore, mostrando tutti lo stesso fenomeno singolare, che cioè l'imbibizione, rapida nei primi istanti, si faceva sempre più lenta, a misura che si avvicinava al limite. Tutti

i tubi erano immersi nel rispettivo liquido, per circa $\frac{1}{2}$ centimetro, e si aveva cura di versar nuovo liquido nei bicchierini, perchè l'altezza dell'immersione non variasse durante l'esperimento. Ecco nell'unito quadro le altezze massime, a cui i diversi liquidi si sono sollevati. Tutte le soluzioni saline avevano la stessa densità, cioè 10° di Baumé.

Soluzione di carbonato di soda.	mm. ^r 85
Id. di solfato di rame.	 75
Id. di carbonato di ammoniaca.	 62
Acqua distillata.	 60
Soluzione di sal marino.	 58
Bianco d'uovo col suo volume di acqua.	 35
Latte.	 55
Siero.	 70

Ho creduto interessante di paragonare fra loro l'alcool a 36° Baumé e l'acqua distillata, adoprando tubi pieni di sabbia, di vetro pesto finissimamente, e di segatura di legno. Eccovi i sollevamenti ottenuti:

Tubo con sabbia.	Id. con vetro pesto.	Id. con segat. di legno.
Alcool mm. ^r 175	175	125
Acqua 85	182	60

Esaminando questo quadro si vede chiaramente, che mentre l'alcool sale maggiormente per imbibizione, a contatto della sabbia, sale meno dell'acqua in contatto del vetro pesto. Il che è d'accordo con ciò, che sappiamo accadere nei tubi capillari. Ho provato ancora ad immergere nello stesso liquido due tubi preparati con vetro pesto, in uno dei quali la quantità del vetro introdotto era doppia di quella dell'altro. Il liquido adoperato era l'acqua. I risultamenti ottenuti furono i seguenti.

Nel primo tubo il liquido s'innalzò di 170 mm, nel secondo di 107 mm.

Non è così facile di rendersi esattamente spiegazione del rapporto trovato fra le elevazioni per imbibizione in questi due tubi. Era però naturale che maggiormente si elevasse nel tubo, in cui la quantità di materia era doppia, se si rifletta alla maggior superficie solida che attira il liquido, e al minor diametro delle cavità capillari.

Ho cercato finalmente se vi era differenza in questi fenomeni di imbibizione, secondo la diversa temperatura a cui si operava. Due tubi preparati con sabbia furono immersi, egualmente nell'acqua, ma l'uno era alla temperatura di circa $+ 55^{\circ} \text{C}$, l'altro a $+ 15^{\circ} \text{C}$.

Ecco i risultamenti ottenuti:

Innalzamento dopo secondi 70		Id. dopo minuti 11
Tubo a $+ 55^{\circ} \text{C}$	mm. ^r 10	175

L'influenza della temperatura appare assai grande, sopra il grado dell'imbibizione.

Non lascerò affatto questo soggetto, senza parlarvi delle ricerche fatte, onde pervenire, col solo giuoco delle forze capillari e dell'attrazione molecolare, a degli effetti proprii dell'affinità chimica. Se si riflette che un dato liquido si solleva costantemente alla stessa altezza, in un certo tubo capillare, che v'è sviluppo di calore più o meno grande, come lo hanno provato le sperienze di Pouillet, in ogni imbibizione, e che vi sarebbe anche, secondo Becquerel, svolgimento di elettricità, e che d'altronde l'attrazione capillare non si esercita che a piccolissime distanze e fra le molecole ultime dei corpi, si troverebbero in questa forza i principali caratteri dell'affinità chimica. È noto il bel fatto di Docheireiner che consiste nel trovare che un miscuglio d'acqua e di alcool, contenuto in una vescica e lasciato all'aria, si va sempre più spogliando di acqua. In questo caso l'acqua più dell'alcool imbeve la membrana, e si disperde per evaporazione. Un altro fatto, che più direttamente risponde al nostro scopo, è quello che cita Berzelius, che l'acqua salata cioè, passando per un lunghissimo tubo di sabbia scola priva di sale.

Ho confermato questo fatto adoprando un tubo di sabbia, lungo circa otto metri, ed ho trovato infatti che la densità dell'ac-

qua salata che si versava nell'alto del tubo, stava a quella dell'acqua che esciva, come 1: 0,91. Una tale differenza di densità non si mantiene però costante. Dopo qualche tempo infatti la soluzione salina ha, al sortire dal tubo la stessa densità, come aveva all'introdursi in esso. Ciò prova, che la decomposizione della soluzione salina avvenne nella prima azione di contatto, tra la medesima e le particelle della sabbia.

Ho ottenuto un risultato inverso al primo, adoprando una soluzione di carbonato di soda, che faceva passare per un tubo pieno di sabbia e lungo tre metri circa. La densità della soluzione, dopo aver traversato quello strato di sabbia, stava a quella della medesima, prima di traversarla come 1,005: 1.

Questi ultimi fatti sono importanti in quanto che, potrebbero avere un giorno una qualche applicazione ad alcuni fenomeni dei corpi viventi, i quali non potrebbero giammai essere completamente spiegati, colla sola azione della capillarità e dell'attrazione molecolare.

LEZIONE III.

Endosmosi.

Dopo avervi parlato dei fenomeni della capillarità e dell'imbibizione, affine di mettervi in grado di farne applicazione alle funzioni dell'assorbimento e dell'esalazione dei corpi viventi, mi rimane a dirvi d'un altro fenomeno, che quantunque appaia esclusivamente fisico, può dirsi appartenere di fatto ai corpi organizzati, e sembra applicarsi direttamente a queste stesse funzioni. Parlo della scoperta di Dutrochet, del fenomeno dell'*endosmosi*, il quale riducesi in generale, all'azione reciproca che esercitano l'uno sull'altro due liquidi diversi, separati fra loro da una membrana. Per quanto noi ignoriamo ancora la teoria di questo fenomeno, nè conosciamo il principio fisico dal quale dipende, è tuttavia della più grande importanza.

Comincerò dall'esporgvi il fatto in tutta la sua semplicità.

Eccovi un tubo di vetro, la di cui estremità inferiore chiusa da un pezzo di vescica, si allarga a modo d'imbuto. Se si versa nel tubo una soluzione acquosa di gomma o di zucchero, e si immerge nell'acqua pura colla indicata estremità, si vedrà, malgrado l'eccesso di pressione della colonna liquida, l'acqua penetrare continuamente nell'interno del tubo, attraversando la membrana. La colonna del liquido contenuto nel tubo si eleverà così



ad una altezza molto grande, ed escirà anche dall'apertura superiore. Allo stesso tempo, una certa quantità del liquido del tubo necessariamente molto minore di quella, scenderà attraverso la membrana, e si mescolerà all'acqua pura.

Dutrochet chiamò *endosmosi* il primo di questi fenomeni, *exosmosi* il secondo.

Le membrane producono l'endosmosi, fino a che non cominciano a putrefare. Cessa allora il fenomeno, ed il liquido che si era elevato nel tubo ridiscende, passa attraverso i pori della membrana, per il solo effetto della pressione.

Le membrane non sono le sole che producano questi fenomeni. Le lamine d'ardesia, e meglio ancora quelle di argilla cotta molto sottili, producono i medesimi fenomeni, sebbene in un grado più debole: le lamine calcaree e silicee, al contrario, non li producono.

La natura del liquido adoperato influisce grandemente sul fenomeno. L'endosmosi è tanto più sensibile, quanto più la densità del liquido del tubo è maggiore di quella del liquido esterno. Sembrerebbe anzi, essere la sua intensità proporzionale alla differenza di densità dei due liquidi, se non che l'alcool, la di cui densità è minore di quella dell'acqua, messo nell'interno del tubo produce l'endosmosi sull'acqua collocata all'esterno del medesimo.

Le soluzioni saline producono effetti molto energici di endosmosi, ma poco durevoli, attraverso una membrana. Questi liquidi sembrano alterare le membrane. L'accrescimento di temperatura aumenta la celerità della corrente di endosmosi.

Ciò che v'ha di più curioso in questo fenomeno dell'endosmosi si è, che la più piccola quantità d'acido solforico o di idrogeno solforato, basta per impedirla all'istante nei liquidi i più atti a produrla, mentre che gli altri acidi, come l'acido idroclorico, il nitrico la favoriscono.

Tutti i liquidi animali producono l'endosmosi con energia, per rapporto all'acqua, ad eccezione dei liquidi contenuti nell'intestino crasso, i quali ne sono privi, forse per l'idrogeno solforato che contengono.

Questo gas è talmente contrario al fenomeno dell'endosmosi che questo non si manifesta tra due liquidi, d'altronde attissimi a manifestarlo, se si fa uso d'una membrana appena imbevuta di quel gas. Noi abbiamo più volte verificato questa importante osservazione.

La celerità colla quale un liquido può penetrare, in virtù dell'endosmosi, dall'esterno all'interno del tubo, è poco considerevole. Così, per esempio, se l'estremità inferiore del tubo sia allargata in modo, che la membrana abbia un pollice e mezzo di diametro, e il tubo stesso 2 mm. di diametro, si vedrà con una soluzione di zucchero, la cui densità sia 1,145, il liquido elevarsi

di 53 divisioni in un'ora e mezzo, ciascuna divisione essendo d'un decimo di pollice.

È però a notarsi, che questa celerità dell'endosmosi sembra direttamente proporzionale all'eccesso di densità dei liquidi interni, sulla densità dell'acqua adoperata all'esterno.

Confrontando fra loro soluzioni di diverse sostanze, prese tutte alla stessa densità, e sempre messe in confronto coll'acqua separata da esse per un pezzo di vescica, Dutrochet ha trovato, che i rapporti in cui l'endosmosi si faceva, potevano esprimersi coi numeri che sieguono:

Acqua	gelatinosa	5
»	gommata	5,17
»	zuccherata	11
»	albuminosa	12

Vedesi da questo quadro, che di tutte le sostanze organiche solubili nell'acqua, l'albumina è quella che produce il maggiore endosmosi.

Tra i fatti i più curiosi che Dutrochet ha scoperto studiando l'endosmosi, v'è quello del cambiamento di direzione, che avviene nella corrente dell'endosmosi fra certe soluzioni acide e l'acqua, secondo il loro grado di densità e secondo la temperatura. La soluzione d'acido idroclorico è quella, che più d'ogni altra soluzione acida, presenta questo fenomeno. Così coll'acido

idroclicorico alla densità di 1,02 presentasi l'endosmosi dall'acqua verso l'acido, e alla densità di 1,015 l'endosmosi è diretto dall'acido verso l'acqua: con quest'ultima soluzione ad una temperatura più elevata di oltre + 20° l'endosmosi si mostra nuovamente diretto verso l'acido.

Conveniva cercare la forza colla quale il liquido esterno penetra nell'*endosmometro*, che così è chiamato il tubo che v'ho descritto. In una parola conveniva cercare la forza della *corrente* chiamata d'*endosmosi*. A questo fine Dutrochet imaginò di adoperare quell'apparecchio che Hales, e Mirbel in questi ultimi tempi, usarono per misurare la forza ascensionale del sugo nei vegetabili. Su questo apparecchio una tal misura è data dall'altezza d'una colonna di mercurio, sollevata dal liquido.

Studiando l'endosmosi sotto quest'aspetto, Dutrochet ha provato, che la forza con cui la corrente d'endosmosi si opera, lasciando tutto costante, meno la densità del liquido interno, era proporzionale alle quantità che esprimono, nelle diverse speienze di confronto, gli eccessi della densità dei liquidi interni su quella dell'acqua, per cui tanto la forza, quanto la velocità dell'endosmosi sembrano soggetti alla stessa legge. Ne verrebbe, che supposto che la legge si verificasse in ogni caso, lo scioppo alla densità di 1,3 produrrebbe un endosmosi capace di sollevare una colonna di 127 pollici di mercurio, o ciò che torna lo stesso il peso enorme di quattro atmosfere e mezzo.

Dutrochet ha cercato di dare la spiegazione dei fenomeni dell'endosmosi; Poisson e Bequerel hanno pure imaginato altre spiegazioni. Così si è attribuito l'endosmosi all'azione della corrente elettrica, la quale generandosi nel contatto dei due liquidi diversi, produceva, come nella nota sperienza di Porret, il movimento dell'acqua attraverso la membrana dal polo positivo al negativo. Perchè però questa spiegazione avesse qualche probabilità sarebbe mestieri, che fosse prima provato, ciò che non è, svilupparsi elettricità fra il contatto dell'acqua coll'alcool, coll'acqua zuccherata ec... Poisson ha pensato, che il liquido meno denso penetrava per i tubi capillari della membrana, per cui ne veniva che il filetto capillare, essendo attirato in basso dall'azione dell'acqua pura, e in alto da quella d'un liquido più denso, l'eccesso dell'attrazione molecolare superiore determinava l'ascesa. Ma anche questa spiegazione non è più ammissibile se si considera, che l'alcool, meno denso dell'acqua, produce l'endosmosi; che una piccola traccia d'idrogeno solforato lo arresta; che certe pietre calcaree e silicee, prese nelle stesse condizioni delle membrane e degli strati d'argilla non operano il fenomeno. Non abbiamo nulla, conviene confessarlo, di soddisfacente nella teoria dell'endosmosi, sappiamo bensì le condizioni generali del fenomeno esser queste: 1.° che i due liquidi, od uno almeno, abbia affinità per la sostanza dello strato interposto: 2.° che i due liquidi abbiano affinità, e possano mescolarsi fra loro. Se manca una di queste condizioni, anche l'endosmosi manca. La corrente

d'endosmosi non è dovuta, come le sperienze lo provano, nè al liquido il meno denso, nè al meno viscoso, nè a quello che ha più forza ascendente nei tubi capillari: questa corrente appartiene generalmente al liquido che ha maggiore affinità, che imbeve più facilmente, la sostanza dello strato interposto.

Le cose dette sull'endosmosi bastano a provarvi con tutta l'evidenza, esser forse questo il fatto fisico il più importante nelle sue applicazioni alle funzioni dei corpi viventi. L'osservazione microscopica ha oggi messo fuor di dubbio, che in ogni tessuto vegetabile o animale, nel seno di quei liquidi che si generano nell'alterarsi dei corpi organizzati e viventi vi si trovano sempre, ad una certa epoca del loro sviluppo, corpuscoli microscopici di una forma particolare e caratteristica, e che furono chiamati cellule elementari o primitive. Consistono quei corpuscoli in una membrana finissima di forma sferica, che racchiude un liquido, e sulla cui parete interna si trova un corpicciuolo che fu detto nucleo o *cistoblaste*. Le cellule poi nuotano dapprima in un liquido, che Schwann chiamò *cistoblasteme*, e finiscono per esservi comprese e quasi impastate, allorchè questo liquido è divenuto più o meno denso. Secondo i diversi tessuti, le cellule elementari sono più o meno ravvicinate l'una all'altra, e il *cistoblasteme*, o sostanza intercellulare, è in ogni caso il mezzo d'unione tra una cellula e l'altra. Torneremo forse altrove, sopra questo soggetto importante, che non abbiamo qui citato se non che, per rendere anche più palese tutta l'importanza del fatto dell'endosmosi. La vita

delle cellule elementari forma di certo la più gran parte dello sviluppo e della conservazione dei tessuti dei corpi viventi, e poichè queste cellule si trovano nelle condizioni dell'endosmosi, non v'è ragione perchè l'endosmosi non debba accadervi. Una vescichetta, che contiene un liquido, che è attorniata da un altro liquido, non può agire al di fuori, non può ricevere questo, nè emettere quello, se non se operando in un modo analogo all'endosmosi.

Convien però confessare, che assai poco furono finora estesi gli studj dell'endosmosi, onde poterne fare alla Fisiologia tutta l'applicazione di cui apparisce suscettibile. Conveniva variare i liquidi, fra cui l'endosmosi deve operarsi, scegliere membrane diverse, ravvicinandosi sempre più alle condizioni, nelle quali avvenir possono nei corpi viventi i fenomeni che hanno analogia coll'endosmosi.

È perciò che io credo di qualche interesse l'esperarvi le poche esperienze che abbiamo potuto tentare dietro queste viste, e i di cui risultati son sufficienti a provare, che il fenomeno dell'endosmosi non è tanto semplice, quanto si era creduto, allorchè si pensò d'interpretarlo col soccorso dell'analisi.

Comincerò dal descrivervi un primo fatto, il quale prova essere la direzione dell'endosmosi dipendente, in certi casi almeno, dalla struttura particolare della membrana. Adoprando in un endosmometro ordinario, invece della vescica urinaria di bue o di majale (la quale si è comunemente adoperata in queste sperienze)

il gozzo fresco d'un pollo, si trova coll'alcool e l'acqua, che l'endosmosi è in direzione contraria a quella che presenta la vescica urinaria, servendosi di questi stessi liquidi. Se l'alcool è dentro lo strumento, e l'acqua fuori, si vede l'alcool discendere nel tubo, mentre in vece sale l'acqua disponendo i liquidi inversamente. Coll'acqua zuccherata e coll'acqua pura si vedono attraverso lo stesso gozzo di pollo appena sensibili i segni d'endosmosi, nella solita direzione dall'acqua pura all'acqua zuccherata. Disponendo due endosmometri col gozzo al solito di pollo, in uno dei quali la faccia mucosa del gozzo era volta verso l'interno dell'istromento, mentre nell'altra questa faccia si trovava all'esterno, ho veduto coll'alcool fuori e l'acqua dentro, l'endosmosi essere, nelle prime ore dello sperimento, più rapido colla prima che colla seconda disposizione della membrana. L'alcool adoperato era di circa 28° Baumé, la temperatura +8° C. Nello spazio di sei ore la colonna liquida s'innalzò di 30 mm. nel primo endosmometro, e di 24 mm. nel secondo. Dopo sedici ore l'elevazione nel primo era 60 mm. e 58 mm. nel secondo. Adoperando invece albumina e alcool, l'endosmosi è diretto al modo solito, dall'acqua cioè all'albumina, quando la faccia mucosa del gozzo è in contatto dell'albumina, ma se la membrana è disposta al rovescio, l'endosmosi non avviene, o assai debolmente. Mettendo l'albumina fuori, e l'acqua dentro l'istromento, questa si vede discendere, ma la differenza è quasi della metà, secondo che la faccia esterna del gozzo o la sua faccia interna sono in contatto

dell'albumina. Ho confrontato un gozzo fresco con un altro tenuto alcuni giorni nell'acqua. Adoperando alcool e acqua l'endosmosi era diretto, come si è detto dall'alcool all'acqua, ma era d'un terzo più rapido col gozzo fresco.

In un'altra serie d'esperienze ho adoperato la sola membrana mucosa del *rumine* o primo stomaco d'un agnello. Se si volge in un caso la faccia interna o stomacale di questa membrana verso l'interno dell'istromento, e in un altro caso si dispone al contrario, si vede, mettendo alcool dentro e acqua fuori, che nel primo v'è endosmosi al solito, mentre nel secondo l'alcool discende. Usando acqua zuccherata e acqua pura, l'endosmosi è al solito da questa a quella, qualunque sia la disposizione della faccia della membrana. Mettendo nell'interno dell'istromento una soluzione leggiera di potassa, e al di fuori l'acqua, v'è endosmosi dall'acqua all'alcali, ma del doppio quasi, quando la faccia stomacale della membrana è a contatto dell'alcali.

Ho pur tentato di variare gli sperimenti adoperando la vescica urinaria di majale, or secca da qualche tempo, ora fresca. Colla prima si scorgono manifestamente le differenze, secondo la disposizione delle sue faccie. Se la superficie esterna si volge in un caso verso l'interno dell'endosmometro in contatto dell'alcool, e se in un altro caso si rovescia la disposizione della membrana, mettendo invece verso l'interno la faccia mucosa, si vede esser l'endosmosi nel primo di 29 mm, nel secondo di 35 mm. Tenendo invece l'alcool al di fuori e l'acqua dentro, la discesa

dell'acqua è doppia, quando la faccia mucosa è al di fuori dello stromento di quello che sia quando è così disposta la faccia esterna della vescica. La corrente dell'endosmosi risulta così sempre maggiore, quando questa, per la disposizione dei liquidi deve traversare la membrana dalla faccia esterna della vescica alla sua faccia interna o mucosa.

Adoperando la vescica urinaria fresca i risultamenti sono estremamente vari ed incerti. Ho variato in mille modi le esperienze, e gl'effetti i più costanti sono i seguenti: non v'è endosmosi dall'acqua all'alcool colla vescica fresca, se non che quando la mucosa è in contatto dell'alcool il quale è nell'interno dell'istromento: se invece la mucosa è al difuori in contatto dell'acqua, allora o l'alcool rimane stazionario, o più generalmente, si abbassa. Mi è accaduto, benchè assai raramente, di vedere abbassarsi l'alcool, anche quando era in contatto della mucosa, ma l'abbassamento fu sempre minore che in tutti gli altri casi.

In una esperienza si adoperò, come membrana intermedia la pelle di rana, disponendola in modo che all'interno dell'endosmometro corrispondesse, ora la sua faccia esterna, ora la sua faccia interna; i liquidi adoperati erano acqua pura e alcool, acqua pura e albume d'ovo sciolto nell'acqua. Si osservò costantemente, e indipendentemente dalla natura dei liquidi adoperati, che l'endosmosi avveniva dalla faccia interna all'esterna della pelle, e quindi si vedeva abbassarsi il liquido dell'endosmometro,

sempre che all'interno dell'istromento corrispondeva la faccia interna della pelle, ed elevarsi nel caso contrario.

Si adoperò in un altro caso la sola membrana mucosa dello stomaco d'un cane. Alla parte interna dello stromento corrispondeva ora la faccia stomacale della membrana, ora l'altra faccia. L'endosmometro conteneva dell'alcool, l'altro liquido era l'acqua pura al solito. Vididi operarsi l'endosmosi in ambi i casi dall'acqua all'alcool, e questo elevarsi nel tubo, ma con questa differenza, che mentre non si elevò che di 16 mm. quando all'interno dell'endosmometro corrispondeva la faccia esterna della membrana, si elevò di 40 mm. quando vi corrispondeva la faccia stomacale.

Questa maggiore intensità dell'endosmosi, dalla faccia esterna della mucosa stomacale alla sua faccia interna, l'osservai anche adoperando dell'albume d'ovo sciolto nell'acqua, e del liquido acido preparato diluendo in una certa quantità di acqua le materie, in parte digerite, trovate nello stomaco stesso, aggiungendovi qualche goccia d'acido idroclorico e filtrando. Il liquido acido era sempre a contatto della superficie stomacale della membrana. In una prima sperienza, in cui la faccia stomacale della membrana corrispondeva all'interno dello stromento che conteneva il liquido acido, questo si elevò; in un'altra esperienza, in cui si rovesciò la disposizione della membrana il liquido dell'endosmometro, che era l'albume, si abbassò. Vi fu dunque

endosmosi diretto costantemente nelle due esperienze dal liquido albuminoso alla soluzione acida, ossia dalla faccia esterna della mucosa alla sua faccia stomacale.

Questi fatti per quanto poco estesi e variati ci bastano per concludere: 1.° che nel fenomeno dell'endosmosi operato attraverso a membrane particolari, convien tener conto della struttura stessa della membrana adoperata. 2.° che l'endosmosi si opera diversamente, che la velocità della corrente è diversa, secondo la disposizione della membrana. 3.° che la direzione della corrente d'endosmosi nella esperienza fatta colla membrana mucosa dello stomaco, e nell'altra fatta colla pelle della rana s'accordano coll'analogia già stabilita ed ammessa nella struttura di questi tessuti, 4.° che il fenomeno dell'endosmosi interviene nelle funzioni di questi tessuti.

Le cose esposte nel corso di questa Lezione bastano per farvi comprendere tutta l'importanza del fenomeno dell'endosmosi: fenomeno il quale è ben lungi per altro da potersi dire studiato completamente. S'avrebbe bisogno di nuove sperienze, e quelle che vi ho riferito non hanno che assai imperfettamente soddisfatto a codesto bisogno.

LEZIONE IV.

Assorbimento negli animali, e nei vegetabili.

Parlandovi lungamente nelle passate lezioni dei fenomeni della capillarità, dell'imbibizione e dell'endosmosi, mirava principalmente a prepararvi allo studio delle funzioni dell'assorbimento e dell'esalazione.

Non è a noi, nè in questo luogo che spetta di farvi la storia delle infinite ricerche fisiologiche, che si sono fatte sopra queste funzioni, specialmente nella vista di stabilire quale dei diversi sistemi organici fosse più particolarmente o unicamente incaricato di tali funzioni. Troverete nei Trattati, che ora alle sole vene queste funzioni furono attribuite, ora ai soli vasi linfatici.

Allorchè si riflette alla struttura di tutti i diversi tessuti animali, alla necessaria esistenza delle funzioni, dell'assorbimento e dell'esalazione, in una vasta serie di animali inferiori, privi di vasi linfatici, si trova difficilmente il fondamento di tante discussioni.

L'assorbimento, come funzione degli animali viventi, non è la sola imbibizione d'un tessuto qualunque del liquido a contatto di questo tessuto; v'è di più il trasporto del corpo di cui il tessuto è a contatto nei vasi sanguigni. È nel sangue che definitivamente deve trovarsi il corpo assorbito, è questo il fine della funzione. Distinguiamo perciò nell'assorbimento due cose: cioè l'introduzione, negl'interstizii d'un corpo organizzato qualunque, del

corpo che deve essere assorbito, e poscia il passaggio del corpo così assorbito nel sistema circolatorio.

È facile di provarvi l'esistenza della prima parte di questa funzione in tutti i tessuti, e in generale in qualunque parte d'un corpo organizzato. Eccovi una rana che è stata per alcune ore immersa colle sole sue estremità inferiori in una soluzione di prussiato di potassa. La rana estratta dal liquido lavata con diligenza con acqua stillata e poscia sezionata, ci mostra la presenza della soluzione di prussiato in tutte le parti del suo corpo. Qualunque punto tocchi dei suoi visceri, dei suoi tessuti, con una bacchetta di vetro bagnata nella soluzione di cloruro di ferro, per tutto apparisce una macchia bleu più o meno viva. Insisto anzi sopra questo modo di mostrarvi l'assorbimento perchè più chiaramente ci svela le due parti in cui si è detto consistere una tal funzione. Una rana viva immersa ugualmente nella soluzione di prussiato di potassa, e colle sole sue estremità inferiori, se si uccida poco dopo e si cerchi poi nei suoi visceri e nei suoi tessuti la presenza del prussiato, si trova che nella massa muscolare delle gambe e delle coscie appena si hanno le tracce del prussiato, mentre toccando col cloruro di ferro il polmone ed il cuore vi si scuopre con segni marcatissimi la presenza del prussiato. Ancora un'altra esperienza, e la conclusione sarà evidente. Immergo un'altra rana morta da qualche ora nella stessa soluzione di prussiato e dopo un tempo uguale d'immersione la tento con il reat-

tivo già usato. Il polmone, il cuore, non danno segni della presenza del prussiato più distinti delle altre parti della rana. La soluzione di prussiato di potassa s'introduce per semplice imbibizione nel corpo della rana, e questa funzione operandosi ugualmente sulla rana viva che sulla morta non può di certo considerarsi distinta dall'imbibizione che abbiamo studiato e visto appartenere ai corpi inorganici come agli organici e che sappiamo dipendere dalla loro struttura cellulare, vascolare ec. Ma v'ha di più; nel polmone, nel cuore della rana viva si trova il prussiato di potassa in maggior copia che nelle altre parti del corpo della rana, quantunque più prossime al liquido in cui è immersa. Questi visceri sono il centro di tutto il sistema circolatorio, in essi terminano o incominciano i tronchi sanguigni. La soluzione di prussiato di potassa penetrò dunque nei vasi sanguigni, si mescolò al sangue, e giunse così al polmone ed al cuore.

Si è questionato lungamente se i soli vasi linfatici potevano assorbire, se lo potevano le sole vene, o più chiaramente, se un corpo può introdursi direttamente e penetrare così nei vasi sanguigni attraverso al tessuto delle loro pareti, o seppure per giungere in questi era mestieri che prima si introducesse nei vasi linfatici. Poichè non v'è parte di corpo organizzato che non si lasci più o meno facilmente imbever d'acqua, di soluzioni saline, di siero, è chiaro, che la prima parte della funzione dell'assorbimento deve farsi dal tessuto delle pareti dei vasi sanguigni come da quello dei linfatici.

L'anatomia microscopica svelando la maniera con cui si terminano i vasi sanguinei e i linfatici ha confermato la conclusione suddetta. Non farò qui che citarvi i risultamenti principali delle osservazioni del nostro Panizza.

Non v'è fatto che dimostri l'esistenza di estremità libere dell'albero sanguineo, che per tutto si presenta con reti intricatissime e continue; la rete arteriosa si continua ognora e senza interruzione nella rete venosa, la quale predomina in genere all'arteriosa: il sistema linfatico non si termina mai per estremità libere, ma sempre si presenta esso pure sotto la forma di rete minuta ed intricatissima. L'anatomia dunque conduce, come l'esperienza, a concludere che la prima parte dell'assorbimento non può mai farsi che per mezzo delle porosità proprie alla struttura dei corpi organizzati. Per questa via giungono i corpi assorbiti a mescolarsi al sangue, al chilo, alla linfa, e con questi in movimento si distribuiscono in tutto il corpo. Dopo tutto ciò stimerai quasi inutile di citarvi le sperienze di Magendie, Segalas, e le ultime del Panizza colle quali è ad evidenza provato che l'assorbimento può farsi e si fa anzi principalmente pel solo mezzo dei vasi sanguigni. Eccovi come opera quest'ultimo fisiologo. Steso a terra un cavallo e fattogli un taglio di 10 pollici di lunghezza al ventre, si trasse fuori un'ansa d'intestino tenue da cui partivano varie venuccie che si raccoglievano, dopo qualche tragitto in un sol tronco assai distinto del mesenterio, innanzi che

nessuna venuccia derivante dalle glandole vi ponesse foce. Cir-coscritta quest'ansa, che era lunga 9 pollici, con doppio laccio in modo che non ricevesse sangue che da una sola arteria, e non lo rimandasse al cuore che per il tronco venoso or nominato, si praticò nella medesima ansa un piccolo foro, in cui s'introdusse un tubo di ottone, e si assicurò con un filo, in maniera che la sostanza che doveva introdursi nell'ansa non potesse venire a contatto dei margini cruenti dell'apertura. Fatto questo fu pas-sato un laccio sotto la vena, la quale raccoglieva il sangue reduce dall'ansa. Si strinse il laccio, e perchè la circolazione non soffrisse fu tagliata subito la vena, e dato così sfogo al sangue venoso re-duce dall'intestino. Allora per mezzo d'un imbuto di vetro fu in-trodotto nel tubetto di ottone, e quindi nell'ansa, una certa quan-tità d'acido idrocianico concentrato, e indi chiuso il tubetto di ottone. Raccolto allora immediatamente il sangue venoso che re-trocedeva dall'intestino si rinvenne carico di acido idrocianico. Intanto l'animale non dava segno di avvelenamento benchè fos-sero intatte le diramazioni nervose ed i vasi linfatici spettanti all'ansa intestinale. In un'altra esperienza dello stesso Panizza in vece di allacciare e di aprire il tronco venoso del pezzo dell'intestino, nel mentre che l'acido idrocianico si versava, non si faceva che comprimere il tronco venoso in cui mettevano capo le venette dell'ansa. Non comparve segno di avvelenamento; fu tolta la compressione e dopo poco i segni dell'avvelenamento compar-

vero, e tagliata la vena si trovò il sangue carico di acido idrocianico. Infine in una terza esperienza lo stesso Panizza toglieva con diligenza quanti vasi linfatici e nervi vi sono nell'ansa e l'acido introdotto non tardò ad avvelenar l'animale purchè la vena fosse rimasta intatta.

L'assorbimento venoso è dunque un resultamento evidente di esattissime esperienze.

Che per mezzo dei vasi linfatici si faccia l'assorbimento è un fatto troppo noto ed evidente. Uccidete ed aprite un animale qualunque, due o tre ore dopo averlo cibato, scopritegli le intestina, esaminate con attenzione il mesenterio, e scorgerete i vasi chiliferi ripieni d'un liquido lattiginoso analogo a quello che vedrete scolare in abbondanza dal condotto toracico che è il tronco principale dove sboccano questi vasi. Questo liquido è il *chilo* che per l'atto della digestione si formò nell'intestino in cui fu assorbito dai vasi chiliferi.

Quanti esempi non ha l'Anatomia patologica, nei quali si rinvennero i vasi linfatici ripieni di pus in prossimità di parti colpite da ascessi? Assorbon dunque i vasi chiliferi e i linfatici. In una parola l'assorbimento si opera sempre che si immagina un vaso a pareti organiche, un liquido esteriore che possa imbeverare la sostanza di queste pareti, un liquido interno capace di mescolarsi con quello e scorrente nel vaso stesso con più o meno di celerità. Niente per conseguenza di più fisico d'un fenomeno così fatto.

Voglio provarvi coll'esperienza la verità di questa asserzione. Ec-covi un lungo tronco di vena presa sopra un grosso animale. Esso è fissato con una estremità ad un tubo che termina nella tubulatura posta alla base di un recipiente di vetro; l'altra estremità è congiunta ad un tubo sottile e ricurvo di vetro ed è munito d'un *robinet*. Empio d'acqua il recipiente, e per conseguenza anche il tronco venoso; fò che una porzione di questo tronco venoso peschi entro acqua acidulata con acido idroclorico o solforico. Dapprima il liquido del recipiente non indica la presenza dell'acido, ma dopo un certo tempo questa presenza si scuopre. Se invece di attendere un certo tempo, lasciando i liquidi in riposo, apro il *robinet*, non tardo a vedere i segni dell'acidità nel liquido che scola. Intanto nel liquido del recipiente non si scorge ancora la presenza dell'acido. Ciò che avviene adoperando un tronco di vena accade con un tronco d'arteria, con un tubo d'argilla, di cartone, di legno. Se la soluzione acida fosse contenuta nell'interno del tronco venoso, e se nel liquido della capsula in cui pesca la parete esterna di questo tronco, si versasse la tintura di tornasole, avverrebbe ugualmente, cioè l'acido passerebbe al difuori, traversando la parete della vena, e tanto più facilmente, quanto è più grande la velocità dello scola. Le condizioni del fenomeno sono sempre le stesse, cioè, due liquidi capaci di mescolarsi separati da una membrana che si lasci imbevare d'ambi due, e il movimento del liquido interno che trasporta in una data direzione il liquido esterno penetrato attraverso la membrana.

Senza che supponiate variata in nessun modo la struttura e la disposizione dei vasi sanguigni, immaginate per un momento rovesciata la direzione della circolazione sanguigna, e non diremo più che le vene assorbono, dovremo dire invece che sono le arterie che assorbono.

Eccovi il meccanismo fisico dell'assorbimento. Voglio esporvi ancora le leggi di questa funzione quali furono trovate dalla Fisiologia sperimentale, e vi sarà facile di scorgere che esse sono una necessaria conseguenza dei nostri principii. 1.° «Le sostanze quanto più sono solubili ed attenuate, ed atte ad entrare in combinazione coi succhi organici, e a divenir parte costituente del sangue, tanto più sono facilmente assorbite».

Malgrado il linguaggio poco scientifico con cui questa legge è espressa, ho voluto riprodurla quale trovasi nelle opere più accreditate e più moderne di Fisiologia.

Questa legge non è che una dimostrazione della maniera con cui abbiain detto farsi l'assorbimento. Spetterebbe ai fisiologi di studiare con esattezza la diversa facoltà dei vari liquidi ad imbevare i tessuti organici, e ne verrebbero certamente da questo studio conseguenze importanti per la Terapeutica.

Eccovi intanto alcuni fatti che possono metterci sulla via di tali ricerche. Voi vedete qui due conigli, nello stomaco d'uno dei quali si è introdotta, sono due ore, una certa quantità d'acqua, mentre nello stomaco dell'altro si versò dell'olio. Nello stomaco del primo non si scorge più traccia del liquido introdotto, mentre

nell'altro tutto l'olio si trova, e vi si sarebbe trovato anche ritardando molte ore a sezionarlo. Se invece d'acqua pura si fosse introdotto un miscuglio di acqua e di alcool l'assorbimento sarebbe accaduto anche più rapidamente. Una soluzione acida, una soluzione salina sarebbero state pure assorbite, ma meno rapidamente dell'acqua pura.

2.º «La forza del potere assorbente dei diversi organi è determinata principalmente dell'abbondanza dei loro vasi, dalla floscezza del loro tessuto, e dalla facoltà conduttrice delle parti che gli cuoprono.»

Continuo a riprodurre parola per parola ciò che trovasi nei libri di Fisiologia. E chiaro che per *floscezza d'un tessuto*, e per *facoltà conduttrice* delle parti che lo cuoprono, non s'intende e non deve intendersi altro che la tessitura dei solidi organici più o men propria a favorire l'imbibizione. Il maggior numero dei vasi non significa altro che maggior numero dei punti di contatto del corpo d'assorbirsi col liquido con cui deve mescolarsi e col quale deve essere trasportato. Ecco perchè i polmoni, come l'abbiam visto coll'esperienza, si trovano i più atti all'assorbimento, perchè sono i primi a mostrare la presenza del corpo assorbito. L'anatomia infatti c'insegna che di tutte le parti dell'economia animale hanno essi una struttura più propria all'imbibizione, ed un sistema vascolare più sviluppato. Il tessuto cellulare è pur permeabilissimo ai liquidi, ma meno provisto di vasi sanguinei del pol-

mone; l'assorbimento vi si opera più lentamente. La pelle al contrario, coperta dall'epidermide che è di tessitura molto compatta, fornita di piccoli e pochi vasi, si presta difficilmente all'assorbimento, al che si ripara togliendo l'epidermide.

3° «L'assorbimento varia secondo la quantità dei liquidi che si trovano nell'organismo; è inversamente proporzionale allo stato di pletora più o men grande dell'animale.»

Risovvenitevi del fenomeno dell'imbibizione e vi sarà facile di comprendere questa legge dell'assorbimento. Una massa di sabbia già imbevuta d'un liquido cessa di prenderne altro, e al contrario tanto più rapidamente s'imbeve quanto più è presa lontana dal limite della sua maggiore imbibizione.

Dutrochet lasciò una pianta esposta all'aria sino a tanto che avesse perduto 0,15 del suo peso per evaporazione, e indi immergendola nell'acqua, trovò che in ognuna delle prime quattro ore dell'immersione assorbiva 20 grani, e ne perdeva 8, mentre più tardi non ne assorbiva che 9, e tanto quanto ne perdeva per esalazione. Edwards ha visto le rane assorbire tanto più rapidamente l'acqua, quanto più aveano diminuito di peso per traspirazione. Magendie ha visto morire rapidamente per avvelenamento di stricnina un cane a cui aveva estratto molto sangue, mentre sopra un altro, nelle cui vene avea introdotto molt'acqua, l'avvelenamento non avvenne.

4.° «L'assorbimento deve variare dentro certi limiti proporzionalmente alla temperatura del corpo assorbente, e dell'assorbito».

Chi non sa che le bevande calde operano più rapidamente delle fredde. Così abbiám visto l'imbibizione variare grandemente colla temperatura. V'ho detto che questa variazione non poteva accadere che entro certi limiti, perchè al di là di questi la struttura del corpo organizzato verrebbe ad alterarsi.

5.° «Secondo Foderà la corrente elettrica favorirebbe l'assorbimento».

Volendo ammettere le sperienze di questo fisiologo non sarebbe facile di rendersene conto, tanto più che applicando la corrente elettrica nei casi d'imbibizione, non si vide mai la sua influenza. Il solo fatto di Porret, che consiste nel trasporto dell'acqua dal polo positivo al polo negativo d'una pila, potrebbe spiegarci in qualche maniera i risultati di Foderà.

6.° «Finalmente varia l'assorbimento secondo la rapidità con cui si muove il liquido nel vaso, in cui deve introdursi il corpo da assorbirsi».

Non è mestieri di dire come questa rapidità serve a portare ad una data distanza, più o men presto, il corpo assorbito: è pur facile ad intendersi che rinnovandosi più spesso le molecole del liquido contenuto nel vaso, maggiori saranno le azioni di affinità che tenderanno a far passare il corpo da assorbirsi nell'interno del vaso.

È questa probabilmente la ragione, perchè dai chiliferi, e dai linfatici, l'assorbimento si fa tanto più lentamente che dalle vene. Così molte sostanze coloranti, i liquidi alcoolici, le soluzioni saline introdotte nello stomaco si rinvergono nelle vene, già fanno parte del sangue, senza che si riscontrino nei chiliferi e nel condotto toracico. Le frizioni esercitate sulla pelle, i moti peristaltici del canale intestinale favorendo il movimento dei liquidi nei vasi, giovano in questa maniera all'assorbimento.

La funzione dell'esalazione si fa in generale, per questo stesso meccanismo, e si opera colle stesse leggi dell'assorbimento. Dalle pareti d'un vaso imbevute del liquido che vi è contenuto esce, s'*esala* continuamente una porzione di questo liquido. La porzione che se ne esala varierà secondo la natura del liquido, cioè secondo la facilità più o meno grande, che egli ha ad imbevvere la sostanza del vaso stesso. Secondo che le pareti di questo vaso sono all'esterno più o meno imbevute, il liquido interno escirà più o meno difficilmente; crescerà l'esalazione, se per la maggior copia del liquido contenuto nel vaso, egli vi soffre una pressione e la esercita contro le pareti del vaso stesso. Tutte queste circostanze dell'esalazione, quali risultano dal considerarla come fenomeno fisico semplice, e dipendente dai principii stessi dell'assorbimento, sono dimostrate dalla Fisiologia sperimentale.

Edwards ha dimostrato che l'esalazione cutanea è in qualche caso dieci volte maggiore nell'aria secca che nell'aria umida, e

che si raddoppia passando da 0° a $+20^{\circ}$. Aumenta pure la traspirazione se l'aria atmosferica è mossa, anzi che stagnante, intorno al corpo dell'animale. Evidentemente questi risultamenti di Edwards sull'esalazione cutanea sono una conseguenza naturalissima di principii di fisica troppo noti, perchè io debba qui ricordarveli.

Alcuni dei fenomeni dell'assorbimento e dell'esalazione dei corpi viventi si compiono con trasformazione del corpo assorbito od esalato. Il liquido di cui una membrana si imbeve e che esala dalla sua faccia opposta non è identico a quello messo in contatto della membrana assorbente. È ciò che avviene nel maggior numero delle esalazioni e principalmente poi nelle secrezioni.

Siamo ben lontani dallo sperare di trovar nelle cognizioni fisico-chimiche attuali la spiegazione del fenomeno delle secrezioni. Convieni confessarlo; esse formano ancora il più profondo arcano dell'economia animale. Quanto all'esalazione non dobbiamo però lasciarvi ignorare, che un fenomeno analogo a quello della filtrazione deve intervenire. Un liquido che contenga in sospensione particelle insolubili, allorchando è filtrato, si separa in due parti: la parte liquida imbeve la sostanza del feltro e scola, rimane la parte solida sul feltro. Gli Anatomici sanno che spingendo nelle vene o nelle arterie, una dissoluzione di gelatina colorata col *vermiglione* ridotto in polvere finissima, vedesi la soluzione gelatinosa traversare incolora le pareti vascolari.

Ogni contusione fatta sulla pelle forma una macchia, il di cui centro è d'un bleu nerastro, e la periferia d'un color verde circondata di giallo. In questo caso il grumo del sangue travasato si separa dal siero di cui s'imbevono i tessuti vicini.

Non dimentichiamo mai il fatto espostovi a proposito dell'imbibizione: l'acqua salata che traversa uno strato di sabbia diviene acqua dolce: una soluzione di carbonato di soda filtrando nella stessa circostanza diviene più densa. L'imbibizione, la capillarità, il giuoco semplice delle attrazioni molecolari può vincere le affinità, e non è perciò una supposizione da spregiarsi intieramente quella che si è fatta da tanto tempo, considerando gli organi secretorj come semplici apparecchi di filtrazione.

In un'altra Lezione vedremo come le membrane, ed in generale tutti i tessuti organici, sieno atti a lasciarsi attraversare dai corpi gasosi. Foderà ha provato per il primo che l'idrogene solforato rinchiuso in una porzione del tubo intestinale, si diffondeva per tutto il corpo dell'animale, e ne produceva la morte.

Una parola ancora sull'assorbimento nei vegetabili. Eccovi in questi bicchierini un gran numero di piante immerse tutte, più o meno, in una soluzione acquosa di acetato di ferro grandemente diluita; alcune di queste pianticelle sono di lupino, altre di fave. Ve ne sono alcune a cui furono tolte le foglie, ve ne hanno talune tagliate a metà e così immerse col solo tronco; in altre furono asportate le estremità delle radici, alcune si lasciarono prima appassire e poi s'immersero nel liquido; altre in fine vi furono poste

interamente disseccate. Cercando colla soluzione di prussiato di potassa se la soluzione ferruginosa si è sollevata nell'interno della pianta sopra il livello del liquido in cui sono immerse, non si tarda a scorgere, che realmente questa soluzione è penetrata nella pianta e ne ha imbevuta una porzione che arriva più o meno al disopra del liquido. Così si trova che nella pianta vivente e munita di foglie e di radici, il liquido si sollevò più che in quella che mancava di foglie; nella pianta appassita, e che ha ripreso vita nella soluzione acquosa, l'assorbimento fu più grande. Ognuno ricorda le sperienze famose di Hales, e le ultime di Boucherie, per cui è provato che una quantità enorme di liquido è succhiata dal tronco d'un albero in vegetazione. Un pioppo di 28 metri d'altezza assorbì in poco tempo la quantità enorme di tre ectoltri di soluzione di acetato di ferro.

Qualunque sia la soluzione adoperata, essa è sempre assorbita dal vegetabile, se non che certe soluzioni acide od alcaline troppo concentrate e le soluzioni saline alterando, distruggendo la struttura della pianta, non sono altrimenti assorbite.

Concluderemo da ciò che l'assorbimento dell'umor nutritivo, che si fa dalle radici d'una pianta, il movimento ascensionale di questo liquido verso le foglie siano fenomeni analoghi a quelli della capillarità e dell'imbibizione? Esaminiamo queste funzioni nei vegetabili con maggiore accuratezza.

Al principio della primavera la linfa sale dalle radici alle foglie per la parte centrale del tronco, e intanto un liquido di composizione diversa della linfa, il così detto *succo proprio* si muove in direzione contraria, dalle foglie alle radici, scorrendo per i tessuti corticali della pianta stessa. Se si fa un foro che giunga fino al centro del tronco in una pianta in vegetazione, si può raccogliere una abbondante quantità di linfa che si è trovata più densa, a misura che si raccoglieva più in alto, verso le foglie. Se invece si passerà un laccio intorno al tronco, o si toglierà un anello di scorza, dopo qualche tempo la rigonfiatura che si vedrà formata al disopra del nodo o dell'anello verso le foglie, proverà l'esistenza della corrente discendente del sugo proprio. Hales ha provato, che la quantità di liquido che una pianta in vegetazione assorbiva, cresceva in proporzione della superficie delle foglie, fatto che egli aveva interpretato attribuendolo all'evaporazione operata per mezzo delle foglie.

Il doppio movimento dei sughi nell'interno dei vegetabili è cosa inesplicabile colle semplici forze capillari e d'imbibizione. Ma v'è di più. Chi di voi non ha visto, tagliando il tronco d'una vite in primavera, sgorgare dal taglio una enorme quantità di liquido. Hales applicando su questo taglio un tubo di vetro ricurvo, aperto all'altra estremità ed entro cui versava mercurio, ha visto questo liquido sollevarsi nel braccio aperto di 38 pollici, al disopra del suo livello primitivo, ciò che prova la pressione che

il mercurio soffre all'altra estremità, e che non può essere attribuita che al liquido succhiato dalla pianta e spinto fuori. Questa *forza d'impulsione*, lo sgorgo del liquido dal taglio della pianta, sono fatti incompatibili cogli'effetti della capillarità e dell'imbibizione. Un liquido sollevato in un tubo capillare non può per effetto della forza stessa che lo solleva, sgorgare dal tubo. Dutrochet ha dimostrato con una ingegnosissima esperienza, che la forza d'impulsione, come egli la chiama, che opera l'ascensione del sugo d'una pianta ha la sua sede nelle estremità ultime delle radici. Questo distinto Fisiologo tagliando successivamente il tronco d'una vite, sempre più avvicinandosi alla radice, e tagliando in fine le radici stesse fitte nel suolo, vide continuare lo sgorgo. Immerse uno dei filamenti ultimi delle radici tagliate nell'acqua, e vide sgorgare il sugo dal taglio. È dunque nelle *spongiole* che risiede la forza d'impulsione. Dutrochet aggiunge d'aver scoperto nelle cellule corticali della spongiola un liquido più denso dell'acqua e coagulabile dall'acido nitrico, e crede perciò vedere nella spongiola, o meglio nelle sue cellule ripiene d'un liquido più denso dell'acqua dalla quale sono bagnate all'esterno, un gruppo di endosmometri; l'ascensione del liquido nella pianta è così per lui un fenomeno d'endosmosi. Devo confessarvi che vorrei vedere meglio dimostrata, di quello che non lo è per le osservazioni di Dutrochet, l'identità di questi due fenomeni. Bensì la spiegazione del Dutrochet è, nello stato attuale della Scienza, la meno improbabile.

Come accade il sollevamento del sugo in una pianta cui furon tolte le radici, e fu immersa nell'acqua colla sua parte inferiore? La grande altezza alla quale un liquido può sollevarsi nel tronco d'un albero, s'oppono alla spiegazione che si potrebbe dare del fenomeno, considerandolo come effetto d'imbibizione o di capillarità, che sappiamo agire dentro limiti assai più piccoli di quelli che ci presentano i tronchi delle piante.

Hales avendo trovato che la quantità di sugo sollevato da una pianta, era proporzionale alla superficie delle sue foglie ne concludeva, che evaporandosi il liquido delle cellule superficiali delle foglie, queste per la loro capillarità lo assorbivano dalle cellule inferiori, e che così successivamente giungeva ad operarsi il succhiamento dall'estremità troncata. Dutrochet ha provato coll'esperienza, facendo evaporare più o meno alcune piante di mercuriale che l'assorbimento del liquido delle piante così disseccate, non cresceva già proporzionalmente al disseccamento; difatti una di queste piante, che aveva perduto un terzo del suo peso per evaporazione, assorbiva molto meno di un'altra che non aveva perduto che un decimo. Malgrado il maggiore disseccamento, l'assorbimento fu minore, nè di certo la pianta era stata tanto disseccata da averne alterata la struttura. L'evaporazione o la traspirazione per le foglie, non è dunque la cagione dell'ascensione del liquido nel tronco di una pianta immersa nell'acqua o ciò che torna lo stesso, non è il vuoto delle cellule superficiali che cagiona l'ascensione del sugo. Quest'ascensione non si opera

senza che vi sia nel tessuto vegetabile una certa quantità d'acqua, che agisce forse per adesione sulla nuova acqua che deve ascendere, come avviene in una spugna che più presto s'imbeve d'acqua se è umida, di quello che se ne imbeva essendo secca. Dutrochet ha provato a disseccare una pianta, a farle riprendere l'acqua perduta e ad immergerla di nuovo nell'acqua: ha visto che l'ascensione non aveva più luogo, tutte le volte che nel riprendere l'acqua, non giungeva a riprendere quello stato di turgore che le era naturale.

Questo stato di turgore delle cellule delle foglie, avverrebbe secondo Dutrochet per un azione d'endosmosi, per cui il liquido sarebbe traspirato dalle foglie, in un modo attivo e ben diverso da quello di un liquido che si evapora all'aria. Ricorderò infine che Dutrochet ha provato che l'influenza della luce sull'ascensione della linfa nei vegetabili si esercita sulla respirazione e sulla fissazione dell'ossigeno nel tessuto vegetabile.

Il fenomeno dell'ascensione dei liquidi nei vegetabili non è dunque dovuto alla semplice capillarità e alla semplice imbibizione: la cagione del fenomeno risiede principalmente nelle radici, e in secondo luogo nelle foglie. È probabile che nelle estremità delle radici avvenga una azione d'endosmosi, e non sarebbe strano il supporre che una cagione simile producesse il movimento del chilo e della linfa nei vasi linfatici e chiliferi, movimento che sappiamo prolungarsi per qualche tempo dopo la morte.

LEZIONE V.

Digestione.

L'esistenza e la conservazione d'un animale sono a condizione che egli introduca costantemente nel suo corpo certe particolari sostanze, che chiamiamo *alimenti*. Queste sostanze, ordinariamente solide, soffrono nell'apparecchio digerente una tal serie di modificazioni, per le quali si dividono in materie fecali che sono respinte al di fuori, e in altre che si mescolano al sangue o si trasformano in esso. È questo lo scopo finale della digestione, la conservazione cioè dell'integrità dell'organismo, ridonando al sangue quei principj immediati che va perdendo continuamente nel suo ufficio della nutrizione. Il ragionamento ci porta ad ammettere, che tutte le parti dell'organismo, più o meno presto si trasformano e si rinnovano. V'è anche in fisiologia sperimentale un certo numero di esperienze, che sarebbe però desiderabile di veder variate ed estese, le quali conducono a questa stessa conclusione.

Dividere, render solubili le sostanze alimentari, e così disporle all'assorbimento; ecco all'ingrosso ciò che avviene nella digestione. Nulla di più fisico per conseguenza d'una funzione che non fa che cangiare lo stato della materia. Importa però di vedere nelle sue particolarità verificato questo carattere della digestione.

Prima d'entrare a discorrere dei fenomeni fisico-chimici della digestione, devo esporvi brevemente alcune generalità.

Tutte le sostanze alimentari si possono ridurre, quanto alla loro chimica composizione, a tre categorie ben distinte: nella prima entrano le sostanze azotate neutre, cioè l'albumina, la fibrina e la caseina; in una seconda sono le sostanze grasse; nella terza entrano la gomma, l'amido, lo zucchero, la di cui composizione può rappresentarsi con acqua e carbonio. L'esperienza ha provato che le sostanze alimentari delle due ultime categorie non bastano alla nutrizione di un animale, e che è mestieri che sieno sempre unite alle prime.

Quanto alle sostanze della prima categoria, non posso lasciarvi ignorare due scoperte importanti fatte in questi ultimi tempi da Mulder e da Liebig. L'albumina, la fibrina, e la caseina sono identiche nella loro composizione; in tutte la proporzione del carbonio all'azoto è di 8 equivalenti del primo a un equivalente del secondo; esse non sembrano differire, che per piccole quantità di fosforo e di zolfo che le accompagnano, per cui tolti questi corpi, ne rimane un principio comune che Mulder ha chiamato *proteina*, e di cui la formula adottata da Liebig è $C_{48} H_{36} N_6 O_{14}$.

Quantunque queste sostanze posseggano proprietà fisiche assai diverse, dobbiamo considerarle isomeriche, e come modificazioni della proteina. L'altro fatto importante trovato da Liebig e da Dumas si è, che l'*albumina vegetabile* è identica all'*albumina*

animale, che nella farina dei cereali v'è una sostanza analoga alla caseina, che la *legumina* ha la stessa composizione della *caseina*, e che nel *glutine* v'è una sostanza identica alla fibrina animale.

Non v'è dunque essenziale differenza tra gli alimenti degli animali erbivori e quelli dei carnivori, se non che i primi li traggono dalle piante, i secondi da altri animali.

E poichè la composizione del sangue, non che quella del maggior numero dei tessuti e dei liquidi animali è quella stessa delle sostanze organiche neutre or ora citate, poichè non provano nel far parte dell'organismo animale alcun cangiamento di chimica composizione, e non fanno che prendere nella nutrizione una nuova forma, è naturale, è giusto d'ammettere, che nell'atto della digestione le sostanze azotate neutre alimentari non fanno che divenire solubili e passano così inalterate nel sangue.

L'isomeria di queste sostanze azotate è pure dimostrata dal bel fatto scoperto da Denis che cioè, la fibrina cangiasi in albumina, allorchè è stata disciolta in una soluzione satura di sal nitro. Questo fatto è tanto più curioso, giacchè non sembra verificarsi che per la fibrina del sangue venoso, mentre quella del sangue arterioso non si discioglie nel sal nitro, nè si cangia in albumina. Scherer ha provato a tenere esposta la fibrina del sangue venoso in una atmosfera di gas ossigeno, ed ha visto convertirsi l'ossigeno in acido carbonico, perdendo così la fibrina la proprietà di cangiarsi in albumina colla soluzione di sal nitro.

Alcune sperienze di Fisiologia hanno da lungo tempo stabilito che la digestione di tali sostanze alimentari è un atto puramente fisico, che si opera indipendentemente dall'organismo vivente. Non v'è chi ignori le sperienze celebri del nostro Spallanzani: la carne, il glutine, l'albumina coagulata introdotta nello stomaco entro tubetti metallici pertugiati, si disciogliono, si digeriscono, come se fossero libere nello stomaco stesso.

Le ricerche recenti di Eberle, Schwann e principalmente quelle di Wasmann hanno stabilito che nel sugo gastrico, che sembra essere una soluzione acquosa d'acido idroclorico o di fosfati acidi secondo Blondlot, trovasi disciolta una sostanza particolare che fu chiamata *pepsina*, e che si è giunti ad ottenere sufficientemente pura. È questa stessa sostanza che Payen ha recentemente studiato, chiamandola *gasterase*. Eccovi in alcuni bicchierini una infusione di pepsina cui sono state aggiunte poche gocce d'acido idroclorico. In uno di questi bicchierini si mise albumina coagulata, in un altro della fibrina. I bicchierini così preparati furono tenuti per 10 o 12 ore in un mezzo caldo a 30° e come vedete l'albumina e la fibrina sono in gran parte scomparse e non rimangono più che piccole traccie trasparenti ai bordi, e che non tarderanno a scomparire anche esse. Posso riavere facilmente neutralizzando l'acido, evaporando la soluzione, l'albumina e la fibrina, che non hanno punto cangiato di natura e che non hanno fatto che disciogliersi, in contatto dell'infusione acida di pepsina. Questa sostanza opera perciò nella dissoluzione della

fibrina e dell'albumina come un corpo catalitico, ed è un'azione di contatto quella che opera la loro dissoluzione. Non è che nello stomaco, e da certe ghiandole che trovansi nella membrana mucosa d'una porzione dello stomaco, che la soluzione acida di pepsina, o il sugo gastrico, è separato. Ho provato a tenere in una soluzione acida debolissima d'acido idroclorico pezzi d'intestino tenue, d'intestino crasso, di stomaco; la soluzione non acquistò mai la proprietà dissolvente, non divenne mai sugo gastrico se non a contatto della membrana dello stomaco.

Ricordiamo qui ciò che si è detto nella Lezione sull'assorbimento. Le soluzioni acquose penetrano nel sangue per la sola imbibizione delle pareti dei capillari sanguigni dello stomaco; l'acqua, le bevande alcoliche colorate introdotte nello stomaco sono assorbite, non oltrepassano questo viscere, non si trovano nel chilo, mentre si rinvencono nel sangue. Bouchardat e Sandras hanno nutrito animali con fibrina tinta di zafferano o di cocciniglia, e nel chilo di questi animali non fu trovata mai la sostanza colorante aggiunta alla fibrina. Essi hanno fatto di più. Animali nutriti di fibrina ed altri lasciati a digiuno, uccisi poi hanno dato un chilo sempre identico; la materia trovata negli intestini non era diversa, e solo negli animali nutriti di fibrina fu trovata nello stomaco una porzione di fibrina incompletamente disciolta. Si sa pure dalle celebri esperienze di Tiedemann e di Gmelin, che la quantità di fibrina trovata nella linfa e nel chilo dopo un lungo digiuno, non è minore di quella che vi si trova dopo la digestione.

Adoperando albumina coagulata, glutine e sostanza caseosa invece della fibrina, i risultamenti sono gli stessi. La digestione di queste sostanze azotate neutre riducesi dunque alla loro semplice dissoluzione, operata da una azione di contatto, e all'assorbimento, principalmente nello stomaco, di questa dissoluzione.

La gelatina che non ha la stessa composizione della fibrina, dell'albumina, della caseina, non è perciò come queste atta alla nutrizione.

Nulla perciò di più fisico di questa parte della digestione. La masticazione degli alimenti imbevuti d'un liquido leggermente alcalino e caldo è quella operazione interamente fisica che si fa nei nostri laboratorii, onde dividere, attenuare un corpo solido e prepararlo così a disciogliersi. Il sugo gastrico che lo stomaco secerne, principalmente al momento della digestione, è un'infusione di pepsina nell'acqua acidulata, e questa infusione si prepara, si fa agire sull'albumina coagulata, sulla fibrina, sulla caseina e la loro dissoluzione avviene così bene nello stomaco, come in un recipiente qualunque convenientemente riscaldato.

Il movimento delle pareti dello stomaco favorisce l'azione dell'infusione di pepsina sulle sostanze da disciogliersi, come ogni agitazione giova alla reazione di due corpi disciolti qualunque, o alla dissoluzione d'un solido in un liquido. Giova questo movimento delle pareti dello stomaco, perchè rinnovando i punti di contatto fra le pareti e la materia contenuta, si opera meglio l'assorbimento della porzione liquida di questa materia.

L'influenza che ha nell'alterare la digestione il taglio dei nervi dell'ottavo paio, deve in parte attribuirsi alla cessazione del movimento delle pareti dello stomaco che da questi nervi è di certo influenzato; oltre di che poi il taglio di questi nervi porta un disturbo grande in altre funzioni troppo necessarie all'integrità dell'economia animale.

La digestione delle sostanze amilacee, la trasformazione di queste sostanze nell'organo digerente, sono fenomeni non ancora abbastanza rischiarati dall'osservazione.

Mi limiterò perciò a dirvene quel poco che mi sembra ben stabilito.

Bouchardat e Sandras hanno introdotto nello stomaco di alcuni cani una certa quantità d'amido, o allo stato di gelatina o semplicemente sospeso nell'acqua. Questi animali furono uccisi dopo un certo tempo più meno lungo, e si cercò nello stomaco e negli intestini la presenza dell'amido o dei suoi prodotti.

È assai curiosa l'osservazione fatta da questi chimici della non acidità costante trovata nel liquido dello stomaco, negli animali nutriti col solo amido; si direbbe che la secrezione del sugo gastrico è eccitata dalla presenza delle sostanze azotate neutre per la dissoluzione delle quali è necessario. Nè negli intestini, nè nel chilo si rinvenne mai traccia d'amido; nel solo stomaco se ne ebbero indizj. Fu cercato lo zucchero nelle materie dello stomaco, del duodeno, dell'intestino tenue, nel sangue. L'apparecchio di polarizzazione di Biot fu adoperato, ma senza alcun risultato,

che indicasse la presenza dello zucchero; ed egualmente non si scoprì lo zucchero, tentando d'eccitare in quelle materie la fermentazione alcoolica coll'aggiunta del lievito di birra. Bouchardat e Sandras attribuiscono ad un errore d'osservazione lo zucchero che Gmelin e Tiedmann avevano trovato nello stomaco d'animali nutriti con amido. Li stessi chimici e più recentemente Blondlot hanno inutilmente cercato la presenza della destrina in questi casi.

Secondo essi l'amido non sarebbe dunque cangiato nello stomaco, nè in zucchero, nè in destrina; ma dalle loro esperienze risulterebbe che una proporzione più grande d'acido lattico si trova nello stomaco degli animali sottomessi a un regime amilaceo, di quella che vi si rinviene se sono nutriti di fibrina; e poichè la composizione del chilo non è in alcun modo variata dalla ingestione della fecula, poichè nessun prodotto delle trasformazioni della fecula si trova nel chilo, ne verrebbe che l'amido è cangiato, se non immediatamente, almeno poco dopo la sua introduzione nello stomaco in acido lattico e lattati, quali corpi solubilissimi nell'acqua, sarebbero nello stomaco assorbiti, nè giungerebbero mai negli intestini.

Confesso il vero che vorrei aver potuto ripetere queste esperienze, o vederle da altri variate e confermate. Non voglio però lasciarvi ignorare che alcune scoperte importanti di chimica organica sono in qualche maniera d'accordo colle conclusioni che

si deducono dalle sperienze di Sandras e Bouchardat. La conversione della fecula in acido lattico è un fatto oggi ammesso generalmente, dopo gl'interessanti lavori di Fremy. Vi sono delle materie albuminose azotate, la diastasi, il cacio che convertono l'amido in destrina e in zucchero. Queste stesse sostanze modificate, per qualche giorno d'esposizione all'aria umida, divengono capaci di trasformare la destrina e lo zucchero in acido lattico. Fremy ha anche provato che la membrana dello stomaco del cane e del vitello, che non agiscono sulla destrina e sullo zucchero, allorchè è stata lavata coll'acqua fredda, acquista poi la proprietà di trasformare rapidamente in acido lattico quelle sostanze, se è stata conservata per qualche tempo nell'acqua.

Queste stesse sostanze azotate, che in un certo stato sono atte ad eccitare la fermentazione lattica, prese in uno stato che chiamerò più avanzato di trasformazione e che ancora s'ignora in che consiste, non producono più acido lattico agendo sullo zucchero; esse operano invece eccitando la fermentazione alcoolica, trasformandolo in acido carbonico e in alcool. Credo anche dover citare a questo proposito la scomparsa dello zucchero nelle urine dei diabetici al cessare di qualunque nutrizione amilacea; nei quali casi si sarebbe trovato, che finchè questa nutrizione si manteneva, v'era realmente trasformazione dell'amido in zucchero il quale si riscontrava nelle materie dello stomaco e delle intestina, e per fino nel sangue.

Questo soggetto merita tutta l'attenzione dei medici, principalmente dopochè per alcuni casi osservati dall'illustre Clinico di Firenze rimarrebbe dubbio sulla scomparsa dello zucchero nell'urina dei diabetici, malgrado la soppressione d'ogni alimento feculento.

È dunque in accordo colle cognizioni della Chimica organica, è una conseguenza di ciò che possiamo ottenere col semplice giuoco delle azioni di contatto, che l'amido può convertirsi nello stomaco in acido lattico, passando probabilmente prima allo stato di destrina e di zucchero.

Nè farebbe sorpresa, e non si opporrebbe alle cognizioni attuali che una porzione dello zucchero, in cui l'amido si è trasformato, non soffrisse nello stomaco la fermentazione lattica, ma che vi subisse ancora qualche altra trasformazione, analoga a quelle in mezzo alle quali sappiamo oggi generarsi animali infusori.

Le sperienze recentissime di Gruby e Delafond hanno messo fuori di dubbio che un grandissimo numero di questi animali si trova, specialmente nello stomaco degli erbivori.

Ci rimane finalmente a parlare della digestione delle sostanze grasse, che s'introducono in tanta copia nello stomaco degli animali carnivori, e che senza cangiamento di composizione trovansi principalmente deposte nel tessuto adiposo degli animali stessi. Vi dirò, a questo proposito, una parola della questione im-

portante promossa in questi ultimi tempi fra i chimici, sull'origine delle sostanze grasse negli erbivori. Liebig ha sostenuto che il grasso in questi animali vi si produceva per una trasformazione della fecula che avea perduto una porzione del suo ossigeno, eliminato dall'organismo allo stato di acido carbonico. Dumas, Boussingault e Payen hanno invece sostenuto, che la quantità di sostanza grassa esistente nel fieno, nella barbabietola, nella paglia basta a render conto di quella che si trova negli animali nutriti con queste sostanze. Boussingault ha provato la verità di questa asserzione, determinando sopra una vacca convenientemente assoggettata all'osservazione, che mentre la quantità di materia grassa esistente negli alimenti di cui si nutriva, era stata di 1614 gram., quella trovata nel latte della medesima era di 1413 gram. Ne viene da questa sperienza che rimane un eccesso di 201 gram. nel grasso degli alimenti sopra quello dei prodotti dell'animale.

Devesi perciò ammettere che le sostanze grasse degli animali fan parte dei loro alimenti, per cui la digestione ridur si deve, per queste sostanze, come per le materie azotate neutre, ad una semplice dissoluzione, tale che le renda atte a venire assorbite e ad entrare così nel circolo sanguigno.

Tutte le osservazioni fisiologiche hanno stabilito da lungo tempo, che gli animali nutriti di sostanze grasse danno un chilo più abbondante, più del solito lattiginoso, e da cui possono estrarsi le stesse sostanze grasse con cui furono nutriti e in cui col microscopio si veggono globetti di materia grassa.

Le sperienze di Sandras e Bouchardat hanno messo questa conclusione fuori di ogni dubbio. Nutrendo animali con olio di mandorle dolci fu trovato da questi chimici questo stesso olio nel chilo degli animali; così avvenne pure allorchè fu adoperato il sego. Usando invece la cera, non si trovò che una piccola quantità di questa sostanza nel chilo, la quale vi crebbe però allorchè fu introdotta disciolta nell'olio.

Gli stessi chimici hanno esaminato le materie dello stomaco e degli intestini di animali nutriti, per un certo tempo, con solo grasso, ed hanno trovato che una porzione grande del medesimo, solido a freddo, esisteva nello stomaco in mezzo ad un liquido molto acido, che negli intestini tanto tenui che grassi esisteva una specie di densa emulsione da cui si poteva trarre coll'etere una gran quantità di sostanza grassa.

Ne verrebbe da questi fatti, della verità dei quali ho potuto io stesso assicurarmi, che le sostanze grasse non soffrono nello stomaco alterazione alcuna e che inalterate e solo ridotte liquide o quasi liquide dalla temperatura del viscere passano nell'intestino: e infatti facendo reagire fuori dello stomaco il sugo gastrico con un corpo grasso non vi si osserva cambiamento alcuno. Negli intestini l'alcali della bile e del sugo pancreatico satura l'acido del sugo gastrico, ed è questa una nuova prova che cessa negli intestini l'azione dissolvente su le materie neutre azotate. È difficile di poter dire con precisione e col soccorso delle analogie, dedotte da fatti chimici, ciò che avviene delle sostanze grasse

nell'intestino. È un fatto che queste sostanze vi sono assorbite, e che i chiliferi possono considerarsi quasi unicamente incaricati dell'assorbimento delle medesime.

Eccovi alcune sperienze colle quali ho cercato di rendere meno oscura questa parte della digestione. Verso in questo matraccio una soluzione formata di 10 oncie d'acqua distillata e di 25 grani di potassa caustica. Questa soluzione non ha sensibilmente il sapore alcalino e agisce anche debolmente sulle carte reattive: essa non contiene infatti che appena 0,005 d'alcali, ciò che ne fa un liquido meno alcalino della linfa e del chilo. Riscaldo questo matraccio a bagno maria alla temperatura di 35° a 40° C e vi verso alcune gocce d'olio d'oliva, agito, e all'istante vedete il liquido farsi lattiginoso e prendere talmente le apparenze del latte da potersi confondere con esso. Abbandonato il liquido così ottenuto a sè, e alla temperatura ordinaria, conserva la sua analogia col latte, separandosi in due strati uno più opaco al di sopra, in cui si veggono palesemente globetti di sostanza grassa, mentre il liquido inferiore è meno opaco e tuttavia lattiginoso. Ho empito di questa specie d'emulsione un pezzo d'intestino e l'ho immerso poi nella soluzione alcalina descritta tenuta alla temperatura di + 35° a 40° C. Dopo un certo tempo la soluzione alcalina si è intorbidata, ha preso i caratteri dell'emulsione interna, e di certo una porzione di questa è così passata al di fuori della membrana.

Vi riferirò ancora un'altra esperienza che parmi più concludente. Ho empito un endosmometro d'una soluzione debolissimamente alcalina, e l'ho immerso nella emulsione che v'ho mostrato. La membrana adoperata era la solita vescica urinaria di bue, e i due liquidi al principio dell'esperienza erano caldi a + 30° C. Vi fu endosmosi e l'emulsione penetrò nella soluzione alcalina sollevando la colonna liquida di 30 mm. in pochissimo tempo.

Eccovi dei fenomeni fisici, che lungi dal risolvere in tutte le particolarità e col rigore scientifico la questione che ci siamo proposta, la rendono tuttavia meno oscura. I vasi chiliferi terminati con estremità cieche, involuppati dalla mucosa intestinale, sono, nell'animale a digiuno principalmente, ripieni d'un liquido alcalino molto analogo alla linfa. Dopo la digestione, se specialmente si nutrì l'animale di sostanze grasse, il liquido dei vasi chiliferi non è diverso da quello di prima che per l'aggiunta di corpuscoli grassi, i quali gli danno l'apparenza lattiginosa. È naturale l'ammettere che quella affinità chimica, da cui si produce il liquido lattiginoso nel miscuglio della soluzione alcalina e dell'olio abbia pur luogo attraverso la membrana dei vasi chiliferi, che di certo si lascia imbeverare, tanto dalla soluzione alcalina, quanto dal liquido lattiginoso formato dall'azione dell'alcali sui corpi grassi.

Il fenomeno d'endosmosi di cui or ora v'ho parlato può anche ammettersi con qualche probabilità fra le cagioni dell'assorbimento dei vasi chiliferi.

Le sostanze neutre azotate che entrano disciolte dal sugo gastrico nel sangue, distruggerebbero presto lo stato neutro o leggermente alcalino necessario alla conservazione delle qualità di questo liquido: l'alcali del chilo e della linfa conservano questa neutralità del sangue.

Il chilo, la linfa contengono sospesi un gran numero di piccoli grani che hanno da 1 a 2 millesimi di linea di diametro, e che sembrano formati d'una sostanza grassa involupata da una membrana, che tutto porta a credere consistere in un corpo analogo alla proteina. Esistono queste granulazioni nel giallo dell'ovo, nel latte, nel chilo, nella linfa e in tutti i liquidi essudati patologicamente o destinati a nuove formazioni. Si sono viste queste granulazioni elementari riunirsi e formare un globetto una cellula analoga ai globetti del sangue, e si riguardano perciò come gli elementi *morfologici* di tutti i tessuti animali. Donnè ha visto in questi ultimi tempi, iniettando il latte nei vasi sanguigni, sparire dopo un certo tempo i globetti del latte, coprendosi d'uno strato albuminoso, a guisa d'una vescica e allora ridursi allo stato dei globuli bianchi del sangue, e alla fine scomparire anche questi trasformandosi probabilmente in globuli sanguigni, e tutto il sangue ridursi come prima dell'iniezione del latte.

L'elemento organico sembra dunque ridursi ad una vescichetta costituita da uno strato di sostanza albuminosa, che si raccoglie, si organizza intorno ad un *grano* formato principalmente di sostanza grassa. Voglio mostrarvi una importante esperienza

fatta da Ascherson, la quale consiste nel mettere un grasso liquido a contatto dell'albumina: quest'ultima, come lo vedete, si coagula all'istante, e se mescolate il tutto assieme, e portate una goccia del miscuglio sotto il microscopio vedrete un mucchio di vescichette ognuna delle quali è formata d'un grano di grasso involupato da una membrana d'albumina in qualche modo coagulata, e vi sembrerà d'avere sul *porta-oggetti* delle vere cellule adipose. Può anche vedersi meglio quest'azione deponendo sopra una lamina di vetro in prossimità una goccia d'olio e una d'albumina, e conducendole lentamente al contatto: è assai curiosa a vedersi al microscopio, la formazione quasi istantanea d'una membrana delicatissima, elastica che non tarda a cuoprirsi di numerose ripiegature. Ascherson ha provato che questa formazione d'albumina e d'olio è realmente di natura cellulosa, e lo ha fatto aggiungendo un poco d'acqua ad una goccia di questa formazione: egli vide le cellule gonfiarsi e sortirne nel tempo stesso delle goccioline d'olio. Adoprando in vece d'acqua, acido acetico allungato, le cellule gli parvero tanto crescere che si ruppero. Invece nell'olio le cellule si comprimevano, diminuivano di volume. Evidentemente questi fatti, che dovrebbero tuttavia esser variati ed estesi, appartengono al fenomeno dell'endosmosi, e non possono intendersi senza ammettere la formazione cellulosa. Eccovi dunque una operazione fisico-chimica, che rende conto con esattezza della formazione delle *granulazioni* elementari. Dei

corpi grassi e delle combinazioni di proteina sono costantemente introdotte nell'organismo; esse si trovano in tutti i liquidi animali; e i globetti del grasso che entrano nei tubi chiliferi e si trovano così in mezzo ad un liquido albuminoso, non possono tardare ad esser investiti da membrane albuminose, e devono perciò formare vescichette analoghe a quelle che l'osservazione microscopica scuopre nel chilo, nella linfa e nel sangue.

Per compiere questa Lezione sulla digestione non ho più che a dirvi una parola dei gas dello stomaco e degli intestini, e delle sostanze inorganiche che formano parte più o meno integrante dell'organismo animale.

L'osservazione ha provato che manca quasi sempre l'ossigene nei gas dello stomaco, e specialmente in quelli delle intestina; e che questi gas si compongono principalmente di azoto, d'acido carbonico e d'una certa quantità d'idrogeno carbonato, e qualche volta di tracce di idrogene solforato. Evidentemente una gran quantità d'aria atmosferica è introdotta nello stomaco, e in qualche maniera deglutita assieme agli alimenti. L'ossigene di quest'aria scompare nello stomaco infiltrandosi forse per le membrane e giungendo fino al sangue, e più probabilmente prendendo parte a quelle modificazioni che sappiamo dover subire le materie azotate albuminose per divenire fermento. L'acido carbonico sembra svilupparsi abbondantemente in qualche caso, e si citano a questo proposito gli sviluppi enormi di questo gas in alcuni ruminanti nutriti di erbe fresche e umide. È

curioso come la scomparsa, o la produzione di quantità abbondante di gas nello stomaco e negli intestini si fanno e si succedono qualche volta con tanta rapidità, da non potersi ricorrere ad azioni chimiche per rendersene conto. La presenza dell'idrogeno fra i gas del tubo digerente non può fin qui legarsi a nessuno dei cangiamenti fisico-chimici che abbiamo visto accadere nella digestione.

Ho provato coll'esperienza che l'ossigeno non è necessario per l'azione che il sugo gastrico ha a disciogliere la fibrina e l'albumina coagulata, come sembra supporre da Liebig. Un pezzo di stomaco di majale fu messo nell'acqua leggermente acidulata insieme alla fibrina e all'albumina coagulata: l'acqua era stata bollita per molte ore, ed il liquido preparato venne ricoperto da un grosso strato d'olio. L'albumina e la fibrina si disciolsero in quel liquido, come in un altro simile lasciati liberamente a contatto dell'aria.

Le sostanze inorganiche che trovansi nell'organismo, vi sono evidentemente introdotte e fan parte degli alimenti: esse non possono penetrare nella massa sanguigna che nel solo caso che vengano disciolte nell'acqua e nel sugo gastrico dello stomaco. Tutto ciò che non soddisfa a queste condizioni è necessariamente rigettato fra gli escrementi; ed i medici non dimentichino mai questa verità nella scelta e nella preparazione delle sostanze che amministrano ai malati.

LEZIONE VI.

Respirazione – Endosmosi gasoso.

L'azione dell'ossigene dell'aria atmosferica sul sangue venoso, le variazioni che avvengono nell'aria inspirata introdotta nelle cellule polmonari, le modificazioni provate dal sangue che scorre nella rete capillare distesa sulle pareti sottilissime delle *vescichette aeree*; ecco i fenomeni principali che costituiscono la funzione della *respirazione* degli animali, e che formeranno il soggetto di questa Lezione.

Non v'è animale, sia preso pure fra i gradi più infimi dell'organizzazione, la di cui vita non sia essenzialmente legata alle modificazioni che induce nella sua sostanza l'ossigene atmosferico. Secondo la sua diversa struttura, gli organi in cui quest'azione ha luogo sono più o meno sviluppati, ed hanno forma ed organizzazione diversa, secondo il mezzo in cui l'animale vive abitualmente. Così nei pesci l'organo della respirazione è una membrana mucosa ripiegata più volte sopra se stessa, divisa in filamenti o in lamine, ripiena di vasi sanguigni, la quale trovasi costantemente a contatto dell'acqua che s'introduce nella loro bocca e si espelle per le fessure branchiali. Tutto in questi animali è disposto perchè il contatto fra l'acqua, in cui è disciolta l'aria atmosferica, e le pareti vascolari si faccia sopra una superficie la

più estesa possibile. In una *razza* ordinaria, le branchie hanno una superficie di 2250 pollici quadrati.

Nei rettili, negli uccelli, nei mammiferi l'organo respiratorio consiste in una espansione dei bronchi ramificati a guisa d'un albero, le di cui estremità più sottili terminano in un gran numero di vescichette semisferiche, addossate le une alle altre, circondate da sottilissimi vasi sanguigni. Alcuni rettili, almeno nei primi tempi, della loro vita, partecipano della respirazione dei pesci e di quella dei mammiferi, per cui hanno ad un tempo branchie e polmoni.

I movimenti necessari a questa funzione, dei quali alcuni sono involontarii, altri dipendono dalla volontà, possono ridursi a un atto d'introduzione d'aria e ad un altro di emissione. Tutte le vie aeree dell'apparecchio respiratorio si dilatano nell'*inspirazione*, tutte si restringono nell'*espirazione*. L'azione riunita della forza muscolare, dell'elasticità delle parti ossee e cartilaginee del torace, quella propria delle pareti delle vescichette aeree, infine le proprietà fisiche dell'aria, formano le cagioni dei movimenti della funzione respiratoria. Tutta la cavità toracica si dilata nell'inspirazione e l'aria precipita nei bronchi; nell'espirazione questa cavità si restringe, le cellule aeree del polmone per la loro elasticità riprendono il volume primitivo, e l'aria così compressa e divenuta anche più elastica per il riscaldamento subito nel polmone è spinta al di fuori. Il giuoco semplice d'un soffietto vi rappresenta tutto il meccanismo dei movimenti respiratorii.

Nei pesci questo movimento ha luogo senza il concorso delle coste, gli archi branchiali si aprono, le lamine si separano, ha luogo il contatto fra esse e l'acqua, poi si richiudono e l'acqua esce per la fessura branchiale che rimane aperta intanto che l'opercolo si abbassa. Negli animali inferiori la respirazione è meno pressante, e i movimenti della funzione respiratoria sono quasi involontarii. Negli anelidi, nei molluschi la corrente dell'acqua, in cui è disciolta l'aria, sembra aiutata dai movimenti vibratili proprii dei *cigli* impiantati sulle branchie dei medesimi.

L'uomo in una inspirazione introduce nel polmone circa un terzo di litro d'aria atmosferica; l'aria espirata contiene da 3 a 5 per 100 d'acido carbonico, e in una espirazione molto profonda vi si trovano anche da 6 ad 8 per 100 d'acido carbonico. L'aria introdotta ha intanto perduto da 4 a 6 per 100 del suo ossigene.

I numeri che qui vi cito sono scelti, fra i tanti che abbiamo, come quelli che mi sembrano degni della maggiore fiducia. È facile di calcolare con questi dati quanto ossigene si consuma dall'uomo nella respirazione d'un giorno, ammettendo che si facciano da 15 a 20 inspirazioni in un minuto. Secondo Lavoisier e Seguin l'ossigene consumato in un giorno nella respirazione d'un uomo adulto è in peso di 1015 grammi. L'ossigene che scompare nella respirazione dell'uomo e degli uccelli trovasi sensibilmente in volume eguale all'acido carbonico che si espira. Si è trovato da qualche osservatore molto diligente, che il volume dell'ossigene scomparso nella respirazione supera quello dell'acido carbonico

prodotto. Questa differenza è specialmente marcata nei carnivori, nei quali Dulong ha trovato che l'ossigeno scomparso è qualche volta doppio in volume dell'acido carbonico espirato.

Dulong e Despretz hanno messo fuori di dubbio che facendo respirare un animale in un volume determinato d'aria, una quantità notabile d'azoto è costantemente espirata. Questo fatto dimostra che l'azoto così esalato in eccesso ha origine dagli alimenti, e forse anche da quell'azoto che abbiamo visto trovarsi nello stomaco e negli intestini, come residuo dell'aria ingerita, E se la quantità dell'azoto rimane costante nell'aria atmosferica, Boussingault ha provato che ciò proveniva dall'assorbimento che alcune piante fanno di questo gas.

Questi stessi cangiamenti che la respirazione produce nella composizione dell'aria atmosferica inspirata avvengono pure nell'aria disciolta nell'acqua. Si sa che nell'acqua comune e nell'acqua del mare, sta sciolta una certa quantità d'aria atmosferica che se ne va coll'ebullizione dell'acqua stessa, o mettendo l'acqua in contatto di gas diversi da quelli che vi son disciolti, o togliendole col vuoto la presenza dell'aria atmosferica. Questi fenomeni interamente fisici si operano colle leggi ben note dell'assorbimento dei gas dai liquidi, trovate da Dalton.

Le sperienze recenti di Morren hanno pure stabilito che v'è una certa quantità d'acido carbonico disciolta in quelle acque, la quale sembra variare in ragione inversa dell'ossigeno che vi è insieme contenuto. La proporzione dell'ossigeno trovata in un

dato volume d'aria disciolta nell'acqua, supera quella in cui si trova nell'aria atmosferica. Humboldt e Gay-Lussac trovarono nell'aria dell'acqua dolce 32 per 100 d'ossigene. L'ossigene secondo Morren sembra variare nell'acqua del mare nelle diverse ore del giorno ed essere al massimo sul mezzogiorno, e il contrario accadere per l'acido carbonico.

I pesci consumano una porzione di quest'ossigene disciolto e restituiscono acido carbonico che si trova così disciolto nell'acqua, e non è che per la successiva dissoluzione di nuova aria atmosferica, e per il successivo escirne dell'acido carbonico, che la respirazione di questi animali può continuarsi: perciò nell'acqua privata dell'aria per l'ebullizione e nell'acqua coperta d'olio, i pesci cessano presto di vivere. Riferirò qui una mia sperienza fatta, è già molto tempo, sulla respirazione della torpedine. L'aria disciolta nell'acqua dell'Adriatico presa presso la spiaggia si componeva per 100 di 11 d'acido carbonico, di 00,5 d'azoto, di 29,5 d'ossigene. Una grossa torpedine fu tenuta per lo spazio di 45 minuti in poco più di 4 litri di quest'acqua: la torpedine fu irritata spesso, e se ne ebbero molte scosse, a modo che cessò presto di vivere. L'aria disciolta nell'acqua non conteneva più tracce d'ossigene ed invece v'erano 36 per 100 d'acido carbonico, e il rimanente d'azoto. Furon dunque consumate nella respirazione della torpedine 29,5 parti d'ossigene e furono restituite 25 d'acido carbonico.

L'esperienza ha provata che i descritti cangiamenti dell'aria atmosferica, in contatto d'un animale vivo, non solo avvengono nell'organo polmonare, ma che tutta la superficie del corpo dell'animale può operare in un grado diverso simili cangiamenti. Le rane a cui furono tolti i polmoni, o venne in altri modi impedita la respirazione, continuarono a vivere, e poste in una determinata quantità d'aria si trovò dopo un certo tempo scomparsa una porzione dell'ossigene, e in sua vece reso l'acido carbonico. Humboldt e Provençal hanno visto le tinche vivere senza gran patimento, avendo la testa e le branchie fuori dell'acqua e il solo corpo immerso. Spallanzani ed Edwards hanno di più provato che la respirazione cutanea è essenziale nei batracchi, di modo che le rane vivono molti giorni senza polmoni, mentre periscono dopo poche ore, se sono scorticate o verniciate alla cute. Sorg tenne per quattro ore un suo braccio in un vaso pieno di gas ossigene, e trovò che due terzi circa di questo gas era scomparso. Davy analizzando l'aria soffiata in una delle pleure d'un cane trovò non contener dopo un certo tempo che qualche traccia d'ossigene.

Il meccanismo della respirazione, i cangiamenti chimici che accompagnano questa funzione si operano dunque in tutti gli animali, nell'istessa maniera. L'ossigene scompare a contatto degli'organi respiratorii degli animali, l'acido carbonico nello stesso tempo si esala da questi organi; v'è un eccesso d'azoto

nell'aria espirata su quello dell'inspirata; il volume dell'acido carbonico espirato non è mai maggiore di quello dell'ossigeno scomparso, e in certi animali non è che la metà; l'aria espirata esce satura di vapor acqueo.

Intanto che la funzione respiratoria opera nell'aria atmosferica i cangiamenti di cui v'ho parlato, cosa avviene nell'organismo? Non v'ha alcuno di voi che ignori che nella respirazione il sangue venoso spinto nel polmone, cangia il suo nero colore in un bel colore vermiglio, diviene arterioso, è rimandato al cuore e da quest'organo a tutte le parti del corpo. La più piccola interruzione di questo cangiamento del sangue cagiona l'asfissia, la morte.

Potrei descrivervi centinaja d'esperienze che vi proverebbero, che il cangiamento del sangue venoso in arterioso si fa nel polmone, nell'atto della respirazione. Bichat tagliò in un cane la trachea e un arteria, ed applicò prontamente ad ognuno di questi vasi un *robinet*: chiudendo il *robinet* della trachea poco dopo una inspirazione, il sangue arterioso cominciava ad escire nerastro, e non era passato un minuto che appariva completamente venoso. Rifacendo l'esperienza chiudendo il *robinet* della trachea subito dopo una espirazione, il sangue arterioso esciva nero dopo pochi secondi. Togliendo con una pompa convenientemente disposta l'aria dal polmone, il sangue esciva dall'arteria immediatamente nero, e se al contrario si spingeva un poco d'aria nel polmone il sangue più lungamente esciva col suo colore vermiglio. Avendo

cura di aprire di tanto in tanto il *robinet* della trachea, si vedeva alternativamente un ondata di sangue vermiglio succedere a quella di sangue nero. Eccovi un coniglio alla cui trachea è stato unito un *robinet*; osservate il peritoneo messo allo scoperto e vedrete la tinta rossa dei suoi vasi cambiarsi in un bruno-oscuro, se il *robinet* sta chiuso per qualche minuto, e ricomparire col suo colore, riaperto il *robinet*. I tessuti di tutte le parti del corpo, i reni, i muscoli, la lingua, le labbra, prendono il colore nerastro negli asfissati.

Tagliate i due nervi pneumogastrici in un animale qualunque; i movimenti respiratorii non tarderanno a turbarsi, e nello stesso tempo il sangue rimarrà nerastro, e le labbra, le narici, le fauci dell'animale perderanno il loro color rosso.

Se invece d'introdurre nel polmone d'un animale aria atmosferica si fa respirare l'animale nel gas azoto, nell'idrogene carbonato, nell'idrogene puro, nell'ossido di carbonio, nell'acido carbonico, nel deutossido d'azoto, nell'idrogene solforato, la morte succederà più o meno prontamente, e non troverete che sangue nero per tutto il corpo. All'infuori dell'aria atmosferica, l'ossigene e il gas protossido d'azoto, possono per un qualche tempo mantenere la respirazione. Forse nell'ossigene questa funzione potrebbe lungamente mantenersi: ma respirando questo gas, i movimenti respiratorii si fanno più frequenti, le pulsazioni arteriose si accelerano, e il sangue prende per tutto un color scar-

latto vivacissimo. Nel protossido di azoto, la respirazione si prolunga per qualche minuto senza gravi inconvenienti, ma come nell'ossigene il movimento respiratorio è accelerato, sono turbate le funzioni sensoriali, e succede una specie d'inebriamento.

Conosciamo dunque i fenomeni che avvengono nell'atto della respirazione tanto nell'aria, quanto nell'organismo: ossigene assorbito, acido carbonico esalato, sangue nerastro venoso cangiato in sangue vermiglio arterioso; e questi due cangiamenti in uno stesso organo in cui per la sua particolare struttura, l'aria atmosferica, che perde il suo ossigene, e il sangue venoso che diviene vermiglio, si trovano quasi a contatto o separati da una membrana estremamente sottile.

Questi cangiamenti dell'aria e del sangue sono essi un fenomeno che si opera nel solo corpo vivente? Accade fra l'ossigene dell'aria atmosferica, e il sangue venoso fuori del corpo vivente, anche da qualche tempo, un cangiamento simile a quello che avviene nella respirazione? L'esperienza la più facile risponderà presto a queste dimande, e non vi lascerà dubbio sulla natura assolutamente fisico-chimica di questa funzione.

Eccovi una massa di sangue coagulato da qualche ora, e che vedete rosso alla superficie e d'un colore nerastro nella nuova superficie che vi mostro col taglio. Non passeranno pochi minuti che prenderà il color rosso anche questa nuova superficie. Spingo un getto d'acido carbonico sulla superficie rossa di questo coagulo, e ben presto diverrà nerastro. Spingo questo stesso

gas attraverso un liquido formato con sangue disciolto nell'acqua e dopo poco il color del liquido diviene nerastro. Questo liquido così nerastro lo verso in una boccia piena di gas ossigene, lo agito per pochi istanti, e 'l suo colore nerastro si cangia in vermiglio.

Sin dai tempi di Priestley si sapeva che, se questo sangue fatto nerastro coll'acido carbonico, si teneva in una vescica umida e quindi si metteva a contatto dell'ossigene, diveniva rosso egualmente e che perciò lo strato interposto della membrana umida non impediva il cangiamento di colore. È dunque provato dall'esperienza che il cangiamento del colore nero del sangue in vermiglio che accompagna costantemente l'introduzione dell'ossigene nelle vescichette aeree dell'animale vivente, in circostanze identiche a quelle or ora indicate, è un fenomeno interamente di natura fisico-chimica, consistente nell'azione dell'ossigene sopra un liquido preparato dall'organismo vivente.

Quale è dunque la natura di questo fenomeno, con quali leggi si opera? Ecco le particolarità di cui dobbiamo ancora occuparci.

Se si raccoglie il sangue venoso che esce al ferire una vena in un animale vivo, in un recipiente che contenga gas idrogene puro e indi si agita questo sangue nel gas suddetto, vi si trova tal porzione d'acido carbonico, che di certo non è il prodotto di nessuna combinazione chimica del gas idrogene cogli elementi del sangue, nè può dirsi discacciato dal sangue per l'affinità dell'idrogene col corpo con cui potrebbe supporre combinato l'acido carbonico. Il gas acido carbonico esiste dunque disciolto nel sangue

stesso, ed è discacciato dall'idrogene per quell'azione che ha un gas sopra gas di natura diversa disciolti in un liquido. Se invece di sangue venoso si fosse operato sull'arterioso si sarebbe trovata una quantità minore d'acido carbonico emessa dal sangue. Anche l'azoto, adoperato invece dell'idrogene produce in contatto del sangue una emissione d'acido carbonico in quantità più che doppia dal venoso, di quella che proviene dall'arterioso. Nè il solo acido carbonico può con questo mezzo aversi dal sangue, giacchè insieme ad esso escono ancora l'ossigene e l'azoto: ed è provato dalle esperienze esattissime di Magnus, che la quantità d'ossigene che è emessa e che esiste per conseguenza nel sangue venoso, è minore della metà di quella dell'ossigene esistente nel sangue arterioso. I risultamenti di Magnus meritano tanta fiducia, e sono d'altra parte tanto importanti che io credo di dovervi qui dare i numeri trovati da questo chimico. Magnus ha estratto ed analizzato i gas disciolti nel sangue con un apparecchio particolare per mezzo del quale si faceva il vuoto sul sangue stesso, e se ne raccoglievano i gas che così escivano. Se io introducessi una certa quantità di sangue, appena estratto dall'animale, nel vuoto del barometro, vedreste abbassarsi grandemente la colonna di mercurio, e potreste anche in questa maniera raccogliere i gas del sangue. Ecco i numeri di Magnus ridotti ai volumi dei diversi gas esistenti in 1000 parti in volume di sangue.

Sangue venoso

Sangue arterioso

	di Cavallo	di Vitello	di Cavallo	di Vitello
Ac. Carb.	547 = 0,6889	556 =	702 = 0,6679703	= 0,6045
	—	0,7765	—	
Ossigeno	128 = 0,1613	95 = 0,1326	250 = 0,2378279	= 0,2398
	—		—	
Azoto	119 = 0,1498	65 = 0,0909	99 = 0,0943	—180 = 0,1557
	—			
	—	—	—	—
Somma	794	716	1051	1163

Evidentemente i gas trovati da Magnus nel sangue nelle proporzioni riferite, non possono esservi che disciolti, poichè non è che in questo stato, che possono ottenersi liberi per la presenza di altri gas o nel vuoto. Nel sangue arterioso il rapporto fra il volume dell'ossigene e quello dell'acido carbonico è all'incirca di 1 : 2, nel venoso invece questo rapporto è di 1 : 5.

L'ossigene dell'aria atmosferica portato a contatto del sangue venoso, scaccia adunque una porzione d'acido carbonico, e vi si discioglie in sua vece.

Abbiamo veduto che il cangiamento di colore che subisce il sangue venoso per divenire arterioso, operato dall'azione dell'ossigene, avviene anche allorchè questo ossigene è separato dal sangue per mezzo d'una membrana. Importa ora di provare che questi fenomeni, cioè l'azione reciproca dei gas e il cangiamento

di colore nel sangue, s'operano fuori del corpo vivente, attraverso a strati di membrana e con leggi interamente fisiche.

Un gas qualunque contenuto in una vescica ben chiusa, non tarda molto ad escire dai pori della medesima e intanto l'aria atmosferica vi penetra in sua vece. Se il gas esterno non fosse d'un volume indefinito rispetto al volume del gas contenuto nella vescica, verrebbe presto arrestato il cambio dei gas, e tanto al di fuori che al di dentro si troverebbe un miscuglio dei due gas. Ponete una vescica piena d'acqua leggermente acidulata con acido carbonico, sotto una campana piena di gas idrogene d'ossigene, d'azoto, e una porzione dell'acido carbonico abbandonerà l'acqua, si troverà libera nella campana mentre una porzione del gas esterno si sarà in sua vece disciolta nell'acqua. In generale due gas uno dei quali libero o in dissoluzione in un liquido e un altro separato dal primo per mezzo d'una membrana, operano l'uno sull'altro, si mescolano in rapporti determinati.

Sarebbe a desiderarsi che una lunga serie d'esperimenti determinasse le leggi di questo fenomeno, in relazione alla natura reciproca dei gas, delle loro densità, della natura delle membrane interposte. Forse un fenomeno analogo a quello dell'endosmosi avviene fra i gas. Eccovi una esperienza che vi proverà, come si barattano i gas attraverso le membrane, e come anche qualche cosa d'analogo all'endosmosi vi è in questo cambio. Riempio in parte di gas ossigene il polmone d'un agnello ucciso, son pochi istanti, e dopo averlo vuotato col succhiamento dell'aria, per

quanto mi fu possibile. Legata strettamente la trachea, introduco il polmone in una campana piena di acido carbonico, rovesciata sull'acqua. Dopo pochi istanti si vede il polmone gonfiarsi e distendersi per quanto gli permette la capacità della campana. Analizzo il gas dopo l'esperimento e trovo che l'acido carbonico è penetrato nelle cellule polmonari, che l'ossigeno è uscito da queste; il cambio però non è stato in volumi eguali, e l'acido carbonico introdotto è in maggior quantità dell'ossigeno uscito. In un polmone preparato al modo descritto, trovai dopo quattro ore, che il gas contenuto entro il medesimo era composto di $\frac{1}{4}$ di ossigeno e di $\frac{3}{4}$ di acido carbonico; mentre quello che era nella campana risultava da $\frac{2}{3}$ d'ossigeno e da $\frac{1}{3}$ d'acido carbonico.

Le bolle di sapone piene d'aria atmosferica o d'idrogeno fatte cadere nell'acido carbonico hanno mostrato al Marianini un fenomeno simile a quello osservato nel polmone. Le bolle gonfiano, ed è curioso che nel gonfiare cadono in fondo al vaso che contiene il gas acido carbonico. L'eccesso dell'acido carbonico penetrato nella bolla e che cagiona l'aumento di volume, produce un aumento di peso che fa equilibrio alla diminuzione che essa soffre per il suo aumento di volume, ma intanto il velo d'acqua della bolla discioglie certamente acido carbonico e diviene così più pesante.

Ho provato a tenere una vescica ben chiusa, a pareti sottilissime, piena di gas ossigeno in contatto dell'acido carbonico, avendo cura che la vescica non fosse bagnata. Il gonfiamento

non avviene, ma bensì dopo un certo tempo si trova che il cambio fra i due gas ha avuto luogo, senza però che l'acido carbonico introdotto superi l'ossigene uscito. Ho provato in fine ad empirie interamente il polmone d'acido carbonico e così introdurlo nell'ossigene: il polmone si sgonfia, i due gas si mescolano, ma l'ossigene che entra è meno dell'acido carbonico che esce. In tutti questi fatti, oltre all'azione reciproca dei due gas attraverso alle membrane, conviene tener conto della presenza dell'acqua, che bagna la membrana, e in cui l'acido carbonico è solubile. Il liquido acido così formato si trova da una parte in presenza d'un gas diverso da quello disciolto, rispetto al quale il gas libero agisce come uno spazio vuoto. Potrebbe dunque intendere l'introduzione maggiore dell'acido carbonico, nel polmone o nella bolla, attribuendolo o ad una azione particolare dei due gas, ciò che costituirebbe l'endosmosi gasoso, e ad un effetto del gas prima disciolto, poi esalato. Per rischiarare questa questione fa d'uopo ricorrere a gas che non abbiano affinità per l'acqua. È d'un tal soggetto che mi occupo presentemente.

Alcuni fatti di Fisiologia sperimentale che mi rimangono a citarvi, porteranno tutta l'evidenza nelle nostre conclusioni. Alcune rane, alle quali Spallanzani, Nysten, Martigny, Edwards, avevano colla compressione del petto o dell'addome, con tutte le cure proprie di questi diligenti osservatori, tolta l'aria dei polmoni, furono messe talora nell'idrogene, talora nel gas azoto. Cani, conigli e molti altri animali furono ora nel modo descritto,

ora con respirazioni artificiali, assoggettati ad esperimento. Si trovò costantemente che il gas idrogene o l'azoto erano assorbiti, e che in loro vece si esalava acido carbonico, e azoto. Nell'azoto puro si esalava il solo acido carbonico. Introducendo, dopo aver vuotato il polmone con una siringa, un miscuglio assai più carico d'ossigene dell'aria atmosferica, si trovò che l'acido carbonico esalato era in proporzione assai maggiore di quello in cui si esala nella respirazione dell'aria. Le rane emettono acido carbonico nell'idrogene e nell'azoto, anche quando sono state prima private dei polmoni.

Non possiamo dopo tutto ciò che si è detto esitare a concludere, che la funzione respiratoria è un fenomeno puramente fisico-chimico; che i gas disciolti nel sangue venoso si fanno liberi per l'assorbimento d'altri gas; che una porzione dell'acido carbonico, esistente in maggior copia nel sangue venoso che nell'arterioso, è esalata per l'assorbimento che fa questo stesso sangue del gas ossigene dell'atmosfera; che non è nei polmoni, dove, almeno per la massima parte, si forma l'acido carbonico espirato; che questo esiste disciolto nel sangue venoso e che si rende libero nell'atto della respirazione, in presenza dell'ossigene che s'introduce in sua vece, come si rende libero in presenza dell'azoto o dell'idrogene nelle respirazioni artificiali di questi gas; che per le sperienze di Magnus risulta essere disciolta nelle 5 libbre di sangue che traversano il polmone in un minuto, una

quantità d'acido carbonico che supera quasi del doppio quella che si espira nello stesso tempo.

LEZIONE VII.

Ematosi – Nutrizione – Calore animale.

V'ho mostrato nella Lezione passata, che nella respirazione scompariva una parte dell'ossigene dell'aria inspirata, e in suo luogo si trovava un volume eguale o minore d'acido carbonico, che l'aria espirata esciva satura di vapore acqueo, e che contemporaneamente a questi cangiamenti accadeva nel polmone la conversione del sangue venoso in sangue vermiglio arterioso. Abbiamo pur visto come tutti questi fenomeni accadevano parimenti fuori del corpo vivente e nelle stesse condizioni in cui in esso si operano.

Ci rimane a studiare nelle sue particolarità l'indicato cangiamento del sangue. Quale degli elementi organici del sangue è quello che subisce questo cangiamento? In che consiste chimicamente questo cangiamento? A rispondervi adeguatamente a tali questioni, vi confesserò sin d'ora, che troppo poco le sperienze fin qui fatte ci hanno svelato, e non posso che scegliere, nell'immensità delle ricerche tentate, quelle che sembrano generalmente le meno imperfette e meno discordanti fra loro. Il sangue si definisce oggi dai microgrofi, un liquido composto in gran parte di acqua in cui sono disciolti vari sali, albumina, corpi grassi, fibrina, e nel quale nuotano in sospensione un gran numero di globetti di color rosso, d'una forma determinata, d'un

diametro più o meno grande nei diversi animali e analoghi ad una specie di vescichetta, il di cui involucro colorato è solubile nell'acido acetico. Voglio mostrarvi una bella sperienza di Müller che vi darà una giusta idea di questa composizione del sangue.

Ferisco il cuore a varie rane vive e raccolgo il sangue che ne esce sopra un feltro di carta; passa attraverso al feltro un liquido giallastro, e la materia rossa globulare rimane sul feltro. Vedrete fra pochi instanti rappigliarsi il liquido filtrato, ed il coagulo sarà fibrina. Ecco così da una parte la sostanza colorante, dall'altra il siero in cui la fibrina era disciolta. Se non si fosse raccolto il sangue sul feltro, la fibrina si sarebbe egualmente coagulata, involupando però tra le sue parti la materia globulare sospesa; è così che avviene del sangue fuori del corpo vivente. Secondo circostanze intieramente fisiche, quali sono la temperatura conservata nel sangue estratto, la densità del siero, le proporzioni diverse di globuli e di fibrina, la coagulazione del sangue è più o meno pronta, più o meno abbondante, il coagulo si forma più o meno resistente.

Prendendo il solo coagulo, quale si forma in una massa di sangue abbandonata a se stessa, ed agendovi sopra col gas ossigene, vedesi prendere il colore vermiglio. Lasciato questo coagulo all'aria e poscia tagliato, si trova d'un colore fosco all'interno, mentre è rosso alla superficie; le nuove superfici formate col taglio lasciate all'aria divengono poco dopo rosse. Indubitatamente sono i globuli del sangue che subiscono al contatto

dell'ossigene il cangiamento di colore. Baudrimont e Martin Saint-Ange hanno mostrato in questi ultimi tempi, che nel tempo dell'incubazione v'è, a traverso il guscio calcareo dell'uovo degli uccelli, assorbimento d'ossigene, esalazione d'acido carbonico, ed hanno provato che se si impediscono questi fenomeni non veggonsi comparire nell'embrione i globetti rossi e l'embrione non si sviluppa. Rimane ora a sapersi se i globuli si fanno rossi per il solo ossigene che assorbono o per il solo acido carbonico che perdono nella respirazione, o se al contrario il sangue diviene venoso per il maggior acido carbonico di cui si carica o per la minor quantità d'ossigene che vi rimane, o se per ambedue queste cagioni riunite. Ci mancano sopra di ciò esperienze precise. Magnus ha provato che il sangue venoso nel perdere la maggior quantità possibile d'acido carbonico diviene meno fosco, senza però mai prendere il color vermiglio; il che condurrebbe ad ammettere che le due cagioni influiscano contemporaneamente nel cangiamento di colore, che subisce il sangue nella respirazione. Devo anche aggiungervi, che se si asciuga con esattezza il coagulo del sangue di tutto il siero che lo bagna, e se poi si lava con acqua distillata, nella vista sempre di spogliarlo d'ogni traccia di siero. Allora a contatto dell'ossigene non prende più il bel colore vermiglio che acquista quando il siero lo bagna. Eccevi una soluzione satura di sal marino che verso a gocce sopra il coagulo di sangue: dopo poco ne vedete i punti bagnati pren-

dere un color vermiglio, mentre il resto della superficie non cambia di colore. Sembrerebbe dunque non essere i sali del siero indifferenti nel cangiamento di colore che subisce il sangue, al contatto dell'ossigene. Si sa oggi che il siero assorbe un'abbondante quantità di acido carbonico, molto maggiore di quella che assorbe l'acqua. Potrebbe perciò dirsi che la presenza del siero influisce nel cangiamento di colore del sangue, in quanto che si carica esso siero dell'acido carbonico che l'ossigene poi discaccia.

Ma in che consiste chimicamente il cangiamento di colore dei globuli sanguigni. A questo proposito la scienza può dirsi affatto nell'oscurità. La quantità abbondante di ferro (cinque o sei per cento) che entra costantemente nei globuli sanguigni, e che non si trova in tale proporzione in nessun'altra sostanza animale, ha fatto sempre credere che questo metallo, ora allo stato di perossido, ora allo stato di carbonato non fosse indifferente nel cangiamento di colore del sangue. L'ossigene scaccia infatti l'acido carbonico del carbonato di ferro, e dal suo lato l'acido carbonico può discacciare l'ossigene del perossido, secondo le quantità relative dell'ossigene e dell'acido carbonico che si trovano in presenza ad agire sul ferro ossidato.

Mulder e Liebig sembrano abbracciare queste idee. Tutti i risultati clinici meglio constatati sembrano consentire che l'uso del ferro in certe malattie ravviva, in qualche modo, il colore del sangue. Se non che Scherer in questi ultimi tempi sembra esser

giunto ad ottenere la sostanza colorante del sangue spogliata interamente di ferro.

Se l'osservazione di Scherer verrà confermata, provando in oltre che la sostanza colorante spogliata del ferro subisce a contatto dell'ossigene e dell'acido carbonico, i cangiamenti che abbiamo visto accadere nei globuli sanguigni, saremo costretti a rinunciare all'idea che il ferro interviene nei cangiamenti di colore del sangue.

Il sangue arterioso spinto dalle ripetute contrazioni del cuore, e dalle successive dilatazioni e contrazioni dovute all'elasticità propria delle pareti dei vasi arteriosi, giunge vermiglio sino alle ramificazioni capillari. Attraversa in questi vasi tutti i tessuti, perde il suo color rosso, ritorna per i vasi venosi al cuore e ripassa quindi per il polmone. È in questo passaggio del sangue arterioso per i capillari che dicesi in Fisiologia accadere la nutrizione. Si ammette in questa Scienza che le parti tutte dei tessuti animali si vanno trasformando e rinnovando continuamente, e che questi fenomeni sono proporzionali al vario grado di attività del sistema capillare proprio dei diversi tessuti. Mancano in verità le prove sperimentali di questa rinnovazione continua, e mi è parsa sempre insufficiente quella che deducesi dal coloramento delle parti ossee degli animali nutriti con sostanze coloranti, e dal loro successivo scoloramento al cessare di quel nutrimento. Se non che è forza confessare, che questa rinnovazione risulta provata dal complesso dei fatti fisiologici. Se volessi qui dirvi tutti

gli elementi sperimentali che ci mancano, e che sarebbero necessari a rischiare il fatto della nutrizione, sarei molto più lungo di quello che lo sarò esponendovi quelli che si possiedono. I globuli sanguigni non fanno parte di alcun tessuto, ma essenziali, come sono alla nutrizione, possono riguardarsi con una certa probabilità, come il corpo *catalico* che eccita la trasformazione dei tessuti e la loro successiva rinnovazione. Un'analogia di questo carattere dei globuli si trova anche nella necessità, che essi hanno per acquistare la suddetta attitudine, di caricarsi d'ossigene.

Notate ancora che, come nei vegetabili, la diastasi converte l'amido in destrina, che poi si cambia in cellulosa, in legnoso, cioè in corpi isomerici fra loro, così i globuli sanguigni possono convertire l'albumina in fibrina, ciò che di certo avviene nell'embrione.

Vorrei potervi dire che l'esperienza ha dimostrata la realtà di questi cangiamenti, come ce l'ha dimostrata per l'amido. Ho tentate molte sperienze sopra questo soggetto, e non ne ho tratto che dubbiezza di resultamenti. Ho tenuto per lo spazio di un mese, ad una temperatura costante di $+40^{\circ}$ C. dell'albumine d'ovo, mescolato ad una piccola quantità di globuli sanguigni di sangue di pollo, e in presenza dell'ossigene. Il recipiente dove si raccoglieva un acqua termale mi offriva la comodità di un mezzo caldo costantemente allo stesso grado. Ho visto che una porzione dell'ossigene scompariva, che era rimpiazzata da una porzione d'acido carbonico, che si deponeva in fondo al recipiente un gran

numero di fiocchi rossastri, mentre il liquido messo da prima era appena colorato e limpido. Esaminando questi fiocchetti non mi parvero però mai identici alla fibrina. Non vorrei però conchiudere da questi risultati negativi la falsità del principio, su cui erano fondate le mie sperienze. È questo un soggetto che merita più lunghe, più variate ricerche.

Una parte dell'ossigene del sangue arterioso scompare e v'ha in sua vece un eccesso d'acido carbonico nel sangue venoso. L'ossigene si combina al carbonio nei capillari, in essi si fa di certo questa combustione, e allor quando si trova che il volume dell'acido carbonico espirato è minore di quello dell'ossigene scomparso nella respirazione, conviene ammettere che non solo il carbonio, ma l'idrogene ancora, il quale fa parte degli elementi organici del sangue o dei tessuti, si combina coll'ossigene per formar acqua. Ecco un'altra combustione, che sappiamo accadere nei carnivori, oltre quella del carbonio.

Gli acetati, i tartrati, gli ossalati che disciolti entrano nel circolo sanguigno, escono per le vie urinarie allo stato di carbonati. L'acido benzoico introdotto nella circolazione sanguigna, esce per le stesse vie urinarie allo stato di acido ipurico.

Tutti questi fatti provano, che la principale azione chimica che si osserva nella circolazione sanguigna e nella nutrizione è una combustione, è una combinazione dell'ossigene col carbonio, coll'idrogene. Ma lo ripeto, v'è tuttora molta incertezza in questi fenomeni. Qual differenza passa fra la composizione chimica di

tutti gli elementi del sangue arterioso e quella di tutti gli elementi del sangue venoso? Qual è questa differenza nel sangue, prima e dopo il suo passaggio per i reni, per il fegato, per i diversi tessuti? Eccovi alcune delle moltissime questioni, che dovrebbero essere risolte da esperienze precise, da ricerche tutte d'accordo nei risultati, prima di farci ad indagare il fatto della nutrizione e delle secrezioni.

Gli alimenti modificati, come lo abbiám visto, nell'atto della digestione entrano nel sangue. Molti fra di essi sono identici agli elementi organici dei tessuti animali: sono questi le sostanze neutre azotate. Così pure accade delle sostanze grasse, le quali o come sono, o appena modificate si trovano negli alimenti, come nel tessuto adiposo. Non è naturale, sarebbe anzi strano l'ammettere che l'urea, l'acido carbonico e l'acqua, i quali sono i definitivi prodotti delle trasformazioni che avvengono nella nutrizione, provengano dagli elementi organici del sangue introdotti dagli alimenti. Deve credersi che quei prodotti vengano dai tessuti trasformati, i quali sono rimpiazzati dai nuovi elementi organici che entrano cogli alimenti. E difatti negli animali alimentati per lungo tempo collo zucchero, coll'amido, colla gomma continua la produzione dell'urea, come prima dell'uso di questi alimenti. Lo stesso avviene negli animali fatti morire d'inanizione.

Per parlarvi meno vagamente di queste trasformazioni, vi citerò alcuni esempj, quali si trovano nel libro di Liebig, di *Chimica Organica applicata alla Fisiologia Animale*.

Un serpente lasciato per un certo tempo senza alimenti e poi cibato con una capra, un coniglio, un pollo, rende in escrementi i peli, le ossa dell'animale mangiato, espira acido carbonico e acqua, e non rigetta che l'urato di ammoniaca per le vie urinarie.

Riprende così il serpente il suo peso, e tutto è scomparso dell'animale divorato. Interpretiamo questo semplice caso di nutrizione. L'urato d'ammoniaca contiene l'equivalente d'azoto per 2 equival. di carbonio; intanto i muscoli, il sangue dell'animale mangiato contenevano per un equivalente d'azoto 8 equival. di carbonico e se a questo carbonio s'aggiunge tutto il carbonio del grasso, del cervello dell'animale mangiato, si vede che il serpente ha preso per 1 equivalente d'azoto 8 equival. di carbonio e più ancora. Negli escrementi non si trovano che 2 equivalenti d'azoto, e perciò i 6 equival. che mancano devono essere stati rigettati allo stato d'acido carbonico. Non sto a ripetervi che crediamo, che l'urato d'ammoniaca e l'acido carbonico sono prodotti dai tessuti trasformati, in luogo dei quali si sono messi degli equivalenti presi fra gli elementi organici dell'animale digerito. È sempre vero che tanto carbonio e azoto trovasi nei prodotti della trasformazione dei tessuti che subiscono in presenza del sangue arterioso, altrettanto ne riprendono dal sangue o dagli alimenti. Ciò che v'ho detto del serpente posso ripetervelo del leone e di

tutti i carnivori; nella loro urina v'è la sola urea in cui l'azoto è al carbonio come 1 : 1. Poichè questi animali si nutrono di carne nella quale l'azoto sta al carbonio come 1 : 8, ne viene che tutto l'eccesso del carbonio introdotto su quello che esce nelle urine, sparisce nella respirazione, è bruciato, convertito in acido carbonico. Di certo la respirazione è assai più attiva nel leone di quello che lo sia nel serpente.

Gli 15 o 20 grammi d'azoto che l'uomo rende ogni giorno nell'urina, più quell'eccesso d'azoto che espira, provengono dunque dalle materie neutre azotate di cui si nutre, o più direttamente dai tessuti trasformati, di cui prendono il posto le suddette sostanze alimentari.

Boussingault ha provato coll'esperienza non trovarsi nelle urine del cavallo tutto l'azoto che fa parte dei suoi alimenti, ed ha così dimostrato che anche l'eccesso dell'azoto espirato proviene dagli alimenti.

È impossibile, nello stato attuale della Scienza, di dire precisamente per qual serie di passaggi e di prodotti intermedi, i muscoli, le cartilagini ec. si convertano in urea, sotto l'azione dell'ossigene dei globuli sanguinei. Aggiungendo alla formula della proteina, che è quella stessa dell'albumina, caseina, fibrina ec. tanto ossigene quanto ve ne vuole per farne urea, e per convertire il rimanente d'idrogeno e di carbonio in acqua ed in acido carbonico si hanno delle quantità d'acido carbonico e d'acqua, che sono assai minori di quelle prodotte nella respirazione. V'è un

esempio numerico dedotto dalle sperienze di Boussingault, che vi riferirò per meglio stabilire, che il carbonio degli alimenti azotati convertiti in urea è grandemente inferiore a quello che gli animali emettono allo stato di acido carbonico. Ecco questi numeri. Un cavallo si conserva in uno stato di perfetta salute prendendo per alimenti giornalieri un kilogrammo e mezzo di fieno, e 2 kilogrammi e un quarto di avena. Le ricerche analitiche danno che l'azoto del fieno è 1,5 e quello dell'avena 2,2 per 100. Ammettiamo che tutto l'azoto degli alimenti sia ridotto in sangue allo stato di fibrina e di albumina, ciò che fa 140 gram. d'azoto introdotti nel sangue e destinati a prendere il posto dell'azoto che esce nei prodotti dei tessuti trasformati. Il peso del carbonio ingerito contemporaneamente a quest'azoto, s'inalza a 448 gram., dei quali solamente 246 possono convertirsi in acido carbonico nella respirazione, giacchè il cavallo rende 93 gram. di carbone in urea e 109 gram. allo stato d'acido ipurico. Ma un cavallo, secondo le sperienze dello stesso Chimico espira in un giorno, allo stato di acido carbonico 2454 gram. di carbonio. È chiaro dunque che il carbonio dei principii azotati degli alimenti, non è che una piccola frazione di quello che si trova nell'acido carbonico espirato.

Da ciò la necessità per l'animale, di altri alimenti, per supplire all'insufficienza del carbonio contenuto negli alimenti azotati. L'amido, la gomma, lo zucchero, i corpi grassi sono di questo

genere. In tutti quei casi in cui si vede l'economia animale destinata a progredire, come nel giovine animale, la natura ha accresciuta nei suoi alimenti la proporzione di quelli che danno il carbonio e l'idrogene e che si perdono nella respirazione, venendo così risparmiati gli alimenti azotati destinati all'accrescimento dei tessuti.

Il Dott. Capezzuoli ha recentemente trovato, determinando successivamente il peso delle materie grasse, e delle materie azotate neutre nell'ovo del pulcino nel tempo dell'incubazione, e nel pulcino stesso dopo uscito dall'uovo che circa al 17^{mo} giorno dell'incubazione, cioè poco prima della nascita del pulcino, si trova una sensibile diminuzione nella quantità della sostanza grassa e delle sostanze azotate neutre, la quale va via via crescendo.

Quanto ai corpi grassi sembra che essi non siano intieramente impiegati nella respirazione, che nel caso in cui l'amido e la gomma siano in difetto. È così che vedesi sparire il grasso negli animali ibernanti e in quelli rimasti per lungo tempo senza nutrizione. I suddetti corpi sembrano nello stato fisiologico destinati da prima alla formazione della sostanza cerebrale e nervosa, e a riempire le maglie del tessuto cellulare il quale non è senza scopo per le funzioni della vita, e quasi si tiene a deposito di materiali per la respirazione.

Abbiamo, in una delle precedenti Lezioni, ammesso con Dumas e con tutta la scuola francese, che i corpi grassi degli animali,

si trovano negli alimenti, poichè una esperienza di Boussingault stabilisce con numeri, esservi negli alimenti somministrati ad una vacca, anche più di materia grassa di quella che essa rende nel latte e negli escrementi, rimanendo costante il suo peso. Non è possibile però di ammettere l'identità della materia grassa degli alimenti, con quella trovata negli animali. La cera o il corpo analogo a questa, che l'etere separa dagli alimenti non è la stearina, l'oleina, e molto meno l'acido cerebrico di Fremy. Questa cera subisce adunque nell'animale una modificazione di composizione, ma è più naturale, più conforme ai fatti chimici e fisiologici l'ammettere, che nell'animale la cera si cangi nei corpi grassi propriamente detti, di quello che sia l'immaginare con Liebig, che l'amido si converte in grasso per l'eliminazione d'una porzione del suo ossigene. Quanto agli alimenti amilacei noi abbiamo già ammesso, che questi nello stomaco si trasformano in destrina, in zucchero e in fine in acido lattico combinato alla soda. Questo lattato è nei polmoni, e principalmente nei vasi capillari, convertito dall'ossigene dei globuli sanguigni, e per una vera combustione, in carbonato di soda, che una nuova porzione d'acido lattico torna nuovamente a scomporre.

Vi dirò ancora una parola delle viste ipotetiche di Liebig sulle funzioni del fegato. Non v'ha di certo più niun fisiologo il quale creda essere la bile destinata del tutto a venire evacuata: basterebbe per convincersene il riflettere che Berzelius non ha trovato in mille parti di escrementi umani, che 9 parti d'una sostanza

simile alla bile, per cui, mentre un uomo separa in un giorno da 500 a 700 grammi di bile, ne verrebbe che $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{75}$ solo della bile separata sarebbe espulsa cogli escrementi. D'altra parte non può credersi che una sostanza così poco azotata, come la bile possa servire alla nutrizione. Liebig ammette che la bile versata nel duodeno entra in combinazione solubile colla soda, la quale è assorbita e convertita in carbonato di soda, cedendo così parte del suo carbonio all'ossigene. Ad ammettere questa idea parmi manchi l'appoggio dell'esperienza, giacchè non è che in certi casi patologici e durante certe costituzioni atmosferiche che si sono trovate tracce di materia biliare nel sangue.

Che che ne sia delle viste ipotetiche, più o meno fondate sulla nutrizione, che ho voluto accennarvi di volo, è un fatto che un uomo adulto assorbe in un giorno circa 1015 grammi d'ossigene. Le osservazioni di Dumas, d'Andral e Gavarret, e le più recenti di Scharling portano in termine medio, che 224 grammi di carbonio si esalano in un giorno dall'uomo, allo stato di acido carbonico, che gli uomini ne esalano più delle donne, i bambini principalmente più degli uomini, che più se ne esala nella veglia che nel sonno. Un cavallo rigetta allo stato d'acido carbonico 2465 gram. di carbonio, consumando per ciò 6504 gram. d'ossigene. Una vacca lattajola consuma 2212 gram. di carbonio, che rigetta allo stato d'acido carbonico, prendendo 5833 gram. d'ossigene. Le quantità degli alimenti dunque sono in rapporto ne-

cessario colle quantità dell'ossigene respirato, dell'acido carbonico esalato. L'attività dei movimenti respiratorii, la densità dell'aria respirata e la quantità di carbonio introdotta cogli alimenti, devono essere in proporzione fra di loro onde si conservino i materiali dell'economia animale.

In quegli animali in cui l'attività dei movimenti respiratorii è più grande, più rapida la circolazione capillare, maggiore la quantità dei globuli sanguigni è minima la porzione delle sostanze grasse dei loro tessuti. È il caso degli uccelli, della jena, della tigre. Fate che questi animali si muovano poco o niente, e il grasso s'accumulerà nei loro tessuti.

È indubitato dunque che un animale è un vero apparato di combustione, in cui sempre si brucia il carbonio, da cui sempre si svolge acido carbonico. Un tale apparato calorifico è stato costituito in maniera da conservare un eccesso di calore, che doveva essere necessariamente costante, o poco variabile, sulla temperatura del mezzo ambiente. Questo eccesso varia secondo la rapidità della combustione dell'apparato calorifico animale e secondo la temperatura costante del mezzo ambiente in cui vive. Un grammo di ferro che si ossida all'aria e un grammo di ferro che brucia nell'ossigene, svolgono di certo la stessa quantità di calore, ma uno si ossida, forse in un secondo mentre l'altro v'impiega molte ore. Da ciò la differenza del calore immensamente più grande che il primo mostra sull'altro. Una massa di mosto convenientemente ammucchiato si scalda grandemente nel suo

fermentare, un'altra simile, ridotta ad uno strato sottile, svolge la stessa quantità di calore, che però non si rende sensibile per la maggior dispersione. È così che va intesa la differenza fra gli animali a sangue caldo, e gli animali a sangue freddo.

Non può dunque cader dubbio sulla sorgente generale del calore animale. Questa si trova nelle azioni chimiche della respirazione operate nei capillari, della trasformazione dei tessuti e principalmente nella combinazione dell'ossigene col carbonio.

Non ho voluto e non voglio neppure accennarvi le altre ipotesi immaginate sulle sorgenti del calore animale. Perchè tagliando i nervi pneumo-gastrici o la midolla spinale, si vedeva abbassare un termometro immerso nei tessuti d'un animale, si diceva che l'*innervazione* era la diretta cagione del calore animale, ma intanto non si rifletteva che per questo taglio dei nervi e della midolla spinale la respirazione, la circolazione sanguigna venivano meno.

Piuttosto che nella discussione di tali ipotesi, sarà meglio d'entrare in maggiori particolarità sulle azioni chimiche che abbiamo considerate come unica sorgente del calore animale.

I Fisici hanno voluto mettere a prova la verità di questa ipotesi. Un animale esala in un certo tempo una certa quantità d'acido carbonico e di acqua, e svolge nello stesso tempo una data quantità di calore che può misurarsi dalla quantità d'acqua che è capace di riscaldare in quel dato tempo. Se l'acido carbo-

nico e l'acqua che l'animale esala, sono il prodotto della combustione del carbonio e dell'idrogeno, il calore svolto dell'animale, hanno detto i Fisici, deve essere uguale a quello che quelle stesse quantità di carbonio e d'idrogeno svilupperebbero bruciando all'aria.

Partendo dalle determinazioni fatte con un calorimetro circondato d'acqua fredda, in cui l'animale era tenuto, notando il riscaldamento dell'acqua, e misurando nello stesso tempo l'ossigeno consumato dall'animale o i suoi prodotti, acido carbonico e acqua, Dulong e poscia Despretz hanno trovato che sopra 100 parti di calore prodotte dall'animale e raccolte dal calorimetro, sole 80 o 90 erano rappresentate dalla combustione del carbonio e dell'idrogeno, dedotta dall'acido carbonico e dall'acqua emessi dall'animale.

Se si riflette che la temperatura dell'animale nel calorimetro è sempre più alta di quella dell'acqua che lo circonda, e che quindi l'animale si raffredda durante l'esperimento, si trova in questo raffreddamento una spiegazione plausibile dell'eccesso trovato. E in fatti le numerose sperienze di Despretz hanno mostrato, che gli eccessi del calore raccolto dal calorimetro, su quello dovuto alla combustione respiratoria, sono tanto più grandi quanto più l'animale è giovane, e quanto più è elevata la sua temperatura. Si sa d'altra parte dalle belle sperienze di Edwards che gli animali giovani si raffreddano molto più presto degli adulti.

Non v'ha dunque ragione di cercare altre sorgenti di calore animale, oltre le azioni chimiche della respirazione e della nutrizione; se non che credo si abbia torto nel voler applicare esattamente i risultati delle sperienze delle combustioni ordinarie fatte in un calorimetro, a quelli delle combustioni che possono accadere in un animale, e a non voler ammettere come sorgente del calore animale, che una sola delle molte azioni chimiche che si operano nel seno dell'animale stesso.

E di fatti l'acido carbonico di cui si carica il sangue venoso, il quale è sicuramente un prodotto della combinazione dell'ossigene atmosferico col carbonio degli elementi organici dei varii tessuti che si trasformano, non può esser prodotto da carbonio esistente in questi tessuti allo stato libero, ma bensì in combinazioni che siamo lontani dal conoscere pienamente. Ora è provato dalle sperienze di Dulong che un corpo combinato ad un altro non svolge nel bruciare o nel combinarsi all'ossigene, la stessa quantità di calorico che svolge essendo preso allo stato libero. Il calore che svolgono il gas idrogene bicarbonato, il gas *des marais*, l'essenza di trementina, bruciando nell'ossigene, formando acqua e acido carbonico, non uguaglia la somma del calore che svolgerebbero i volumi dei gas componenti, bruciando separatamente, ma è generalmente molto minore. Le sperienze di Hess e di Andrews le quali proverebbero svolgersi sempre in una data combinazione, una quantità assoluta di calore, qualunque sia lo stato dei due corpi che si combinano, sono tuttora assai poco

estese, e fin qui si riferiscono alle successive combinazioni d'uno stesso corpo, come sarebbe il caso dell'acido solforico il quale si combina con diversi atomi d'acqua.

Volendoci limitare alla sola azione chimica del carbonio e dell'idrogeno coll'ossigene per spiegare la produzione del calore animale, sarà difficile interpretare i risultati ai quali son giunti in questi ultimi tempi Andral e Gavarret, studiando l'esalazione dell'acido carbonico nell'atto della respirazione dell'uomo. Stando alle esperienze molto estese, e secondo ogni apparenza esatte, di questi due distinti Fisiologi, la quantità d'acido carbonico che viene esalato nella respirazione è estremamente varia a seconda del sesso, dell'età e d'alcuni stati fisiologici. La differenza è compresa tra i numeri 5, e 14,4, esprimendo coi medesimi le quantità, prese in grammi, di carbonio che entrano a formare l'acido carbonico espirato nello spazio d'un ora. Il primo di quei numeri è stato trovato in un fanciullo di 8 anni, e l'altro in un giovane di 26 anni. Notate che la temperatura essendo più elevata nei bambini che negli adulti, siccome è maggiore la massa che si deve riscaldare in questi, così deve pure essere maggiore corrispondentemente la perdita del calore che devon fare.

Andral e Gavarret hanno pure trovato che la quantità d'acido carbonico che è emessa da una donna è assai minore all'epoca della sua pubertà, di quello che lo sia prima di quest'epoca, e che la differenza scompare allorchè l'età o altre cagioni mettono fine

al fenomeno della mestruazione. Malgrado ciò non si trova nessuna differenza sensibile di temperatura nel corpo d'una donna nè prima, nè dopo, nè nel tempo della mestruazione, nè nello stato di gravidanza. E senza ricorrere a questi risultati sperimentali basterebbe considerare, come in certe malattie siavi un rapido abbassamento, e in certe altre una grandissima elevazione di temperatura in tutto il corpo, senza che possa ammettersi una corrispondente variazione nella funzione respiratoria.

Concludiamo intanto, che nello stato attuale delle nostre cognizioni fisio-chimiche è duopo ammettere, che le azioni chimiche che avvengono negli animali, durante la trasformazione dei loro tessuti sotto l'influenza dell'ossigeno atmosferico, sono la sorgente del calore negli animali, che principale, ma non unica, deve considerarsi fra queste, la combustione del carbonio e dell'idrogeno, e che ci mancano ancora i dati sperimentali per trovare l'esatta corrispondenza fra il calore prodotto da un animale e quello svolto dalle azioni chimiche che in esso avvengono e che ci è dato di produrre nei nostri apparati.

Non lascerò questo soggetto senza dirvi, che anche nei vegetabili il calore svolto nella germogliazione è un fenomeno d'azione chimica dovuta alla combinazione dell'ossigeno col carbonio del seme che germoglia. Si sa che nella germogliazione v'è assorbimento d'ossigeno, sviluppo d'acido carbonico. Nella germogliazione la diastasi converte l'amido in destrina, in zucchero e che infine scompare producendo acido carbonico. È curioso

che nelle piante, come negli animali, siano l'amido e lo zucchero i corpi che bruciando svolgono il calore proprio a questi esseri. Nello stesso modo si dee spiegare il calore che accompagna la fecondazione delle piante, ed è perciò che troviamo scomparso lo zucchero nella canna da zucchero, nella barbabietola, nelle carote, dopo la infiorazione e la fruttificazione.

LEZIONE VIII.

Fosforescenza dei corpi organici.

Non è il solo calore che i corpi viventi producono; in molti fra questi vi è anche sviluppo di luce. Benchè questa produzione di luce non sia un fenomeno generale e proprio di tutti gli esseri organizzati, i molti casi che si conoscono, sono della più alta importanza; essi dimostrano una singolare facoltà dell'organismo vivente.

Vedremo in questa Lezione, studiando il caso meglio conosciuto di fosforescenza animale, che dessa rientra nelle teorie fisico-chimiche, quanto al suo modo generale di prodursi, e che il suo carattere eccezionale non è che una di quelle misteriose singolarità che la natura sembra aver lanciate in mezzo all'immensa varietà degli esseri, quasi senza scopo per quelli che le presentano, e solo per renderci umili ammiratori della sua molteplice potenza creatrice.

Vi parlerò lungamente della fosforescenza d'un insetto molto comune fra noi, esponendovi le sperienze le più concludenti fatte, è già qualche anno, da Macaire e da altri Fisici, e da me in questi ultimi tempi.

L'insetto di cui vi parlo è il *Lampiris Italica*, detto volgarmente *lucciola*; è un insetto coleoptero che vive nell'erba, ove si fa vedere

poco dopo il cader del sole, in primavera e nell'estate. I due ultimi segmenti del corpo di questo insetto, i quali osservati di giorno si mostrano d'un colore gialliccio, appaiono leggermente luminosi nell'oscurità; nella notte poi spandono molta luce in un modo intermittente, ciò che si osserva assai meglio collocando quest'insetto col ventre all'insù, sopra una tavola.

Si vede allora o toccandolo leggermente, oppure anche senza toccarlo, che la luce cessa qualche volta ad un tratto, e poi ricompare.

Questo fatto condusse il sig. Macaire ad ammettere che la volontà dell'animale interveniva nell'emissione della sua luce fosforescente, ma non è certamente per mezzo d'una membrana opaca, che può tendere sopra i suoi anelli luminosi che l'insetto cessa d'esser fosforescente, come hanno creduto alcuni, poichè questa membrana non esiste.

Vedremo nel corso di questa Lezione che tutto ci conduce ad ammettere che la fosforescenza non è continua, perciò appunto che non è continua la cagione che la produce, e che possiamo darci ragione del come il fenomeno si produce con un certo periodo.

L'osservazione, che mi ha sempre sorpreso nello studio di questa fosforescenza, è quella della luce che seguita ad emettere la materia gialliccia contenuta negli ultimi anelli dell'insetto, allorchè è separata dal medesimo. Basta di uccidere una di queste lucciole, di schiacciarla fra le dita, per vedere lunghe strisce di

luce che partono dalla materia giallastra che sta in questi anelli. Questa fosforescenza seguita più o meno lungamente, secondo varie circostanze che studieremo più innanzi. Certo è per questo fatto, che l'integrità dell'animale, la sua vita, non sono essenzialmente necessarie alla produzione della fosforescenza. Sono partito da ciò per istudiare sopra questa materia così separata dal corpo dell'insetto l'influenza delle diverse circostanze, calore, elettricità, mezzi gassosi diversi, come lo avevano fatto tutti quelli che si sono occupati di un tal curioso fenomeno avanti di me. Nello stesso tempo ho studiate le stesse cose sull'insetto intatto e vivo, ed è dal confronto che credo d'esser giunto a meglio fissar la natura del fenomeno.

Ho poste varie lucciole vivacissime e splendenti in un tubo di vetro, che era immerso nell'acqua. Un termometro a palla piccolissima era circondato dalle lucciole. Vi farò notare che più volte ho cercato, ma senza risultato, di scoprire, se il termometro così circondato da lucciole, indicava una temperatura più elevata di un altro termometro libero. Scaldando leggermente l'acqua viddi crescere l'intensità della luce, sino a 30.° R. all'incirca, cessare l'intermittenza, la luce farsi continua: seguitando a riscaldare, la luce si fa rossastra. A +40.° R. la luce cessa affatto e per sempre, e l'insetto è morto: schiacciandolo fra le dita la materia degli ultimi segmenti non dà più luce.

Oprando non più sulle lucciole intatte, ma sui soli ultimi segmenti luminosi, non ho scorto differenza. Questi risultati confermano le esperienze fatte dal signor Macaire operando sulle lucciole intere, e tenendole in mezzo all'acqua, che successivamente veniva riscaldando.

Esponendo le lucciole nello stesso modo al raffreddamento, ho trovato qualche differenza fra i miei risultati e quelli del citato Fisico. Messo il tubo in mezzo al ghiaccio, la luce non cessa, e dopo 15 o 20 minuti ho visto le lucciole splendere. La luce non è divenuta che più debole ed ha cessato di esser intermittente. Ritirate le lucciole dal tubo e poste sulla mano, ritornano come prima splendenti. Accade lo stesso operando sui soli ultimi segmenti luminosi.

Posto il tubo, in cui erano le lucciole col termometro, in un miscuglio frigorifico di $-5.^{\circ}$ R., dopo 8 o 10 minuti le lucciole cessano di splendere, e sembrano ridotte senza movimento: ritirate e poste sulla mano riprendono vita e splendore. Mentre sono nel tubo a $-5.^{\circ}$ R. se con un filo metallico a punta, si rompono loro i segmenti ultimi, una luce debolissima e passeggera si mostra. Questo fatto è pure confermato dal vedere che i soli ultimi segmenti o la loro materia luminosa, cessano affatto di splendere a $-5.^{\circ}$ R. Ritirata e scaldata la materia luminosa così raffreddata, risplende di nuovo per un istante, e diviene al solito rossa prima di estinguersi, se il calore è troppo forte.

Ho messe nello stesso tempo in due campane eguali di vetro, dieci lucciole, e uno stesso numero dei soli segmenti luminosi tratti da lucciole simili. Poi, dopo aver empite queste campane di mercurio, vi ho fatto passare l'acido carbonico. Dopo pochi secondi la luce ha cessato affatto, senza differenza notevole, tanto per le lucciole che per i soli segmenti. Se allora introduco un poco d'aria nella campana, la luce ritorna in ambidue; assai più viva e più rapidamente si mostra introducendo alcune bolle di ossigene. Si veggono le lucciole che apparivano morte nell'acido carbonico, riprender movimento e vita all'introduzione dell'ossigene. La vita e la ricomparsa della fosforescenza non avvengono, se si tarda un certo tempo, 30' a 40', ad introdurre l'ossigene o l'aria. I soli segmenti luminosi, rimasti anche per più lungo tempo oscuri nell'acido carbonico, si veggono risplendere subito, allorchè s'introduce l'ossigene. Adoperando l'idrogene in luogo dell'acido carbonico, tanto le lucciole quanto i loro soli segmenti luminosi, non durano a splendere che per un tempo ch'è alquanto maggiore di quello che abbiamo detto per l'acido carbonico. La differenza è assai piccola per le lucciole intiere; è alquanto più grande per i segmenti luminosi staccati. Ho visto in un caso continuare questi ad essere luminosi nell'idrogene per 25' o 30'. Anche per le lucciole spente nel gas idrogene succede che coll'aria o meglio coll'ossigene aggiunto ritornano vive, e la fosforescenza ricompare all'istante, quando non si tardi più di 15' o 20'.

Osservai costantemente che negl'insetti interi, prima che la luce cessi del tutto, viene a mancare l'intermittenza.

Qualche ora dopo che le lucciole o i segmenti luminosi hanno cessato di splendere, si ottiene una debole ma visibilissima luce, schiacciando sulla mano i segmenti stessi la qual luce però non dura che un momento.

Riferirò ora le esperienze le più concludenti che ho fatte studiando l'azione delle lucciole e dei soli segmenti luminosi sull'aria atmosferica e sull'ossigene. Ho messo in una campana di vetro graduata nove lucciole vive, e un numero simile di segmenti in altra uguale quantità d'aria. Dopo 24 ore le lucciole non splendevano più, mentre i segmenti erano ancora, benchè debolmente, luminosi. Fu analizzata l'aria rimasta nelle due campane, 36 ore dopo. L'ossigene era interamente scomparso ed era stato rimpiazzato dal suo volume di acido carbonico. In 11,8 cent. cub. d'aria atmosferica in cui erano le lucciole, furono trovati 2,4 cent. cub. d'acido carbonico. Coi soli segmenti luminosi, tutto l'ossigene non era scomparso.

Le lucciole si mantengono vive e splendenti nel cloro puro, come vi si mantengono splendenti i suoi segmenti. Cessate in questo gas la vita e la fosforescenza, esse non ricompariscono nè introducendovi l'aria, nè colla presenza dell'ossigene, nè col calore. Le lucciole e i suoi segmenti anche schiacciati non si mostrano più fosforescenti.

Le lucciole che sono state 24 ore nell'aria atmosferica in una campana di vetro, dopo aver cessato di splendere, e di vivere, se si scaldano con una lampada, ritornano per un istante leggermente luminose.

Ho messe le lucciole vive e splendenti nel gas ossigene contenuto in campane di vetro empite sotto il mercurio. Vi sono vissute circa 40 ore seguitando a splendere sempre.

Ho messo nell'ossigene puro 10 segmenti luminosi tolti da 10 lucciole vive. Questi segmenti hanno continuato per 4 giorni interi a splendere, e si vedevano luminosi anche di giorno quando si guardavano in un luogo non troppo illuminato. Il gas rimasto conteneva un terzo di acido carbonico prodotto, e il rimanente era ossigene.

Rimessi nuovi segmenti luminosi in questo gas ossigene, tolto l'acido carbonico colla potassa, si riebbe lo stesso risultato di prima. I segmenti rimasti dopo quattro giorni anche scaldati non emettevano più luce.

Ecco i numeri dedotti d'alcune esperienze:

Lucciole intere in un volume di gas ossigene	= 6 ^{cc} , 8
Dopo 30 ore, il volume del gas era	= 6, 2
La potassa ha assorbito un volume gasoso	= 4, 2

Il gas rimasto era ossigene che scomparve con un pezzetto di fosforo, non rimanendo che una piccolissima bolla.

Altre lucciole furono messe in 11^{cc},8 d'aria atmosferica. Dopo 36 ore il volume dell'aria non aveva cambiato, e si trovò che conteneva 2^{cc},4 d'acido carbonico.

I segmenti fosforescenti delle lucciole furono messi in 6^{cc} di ossigene: si analizzò il gas il di cui volume era ridotto a 5^{cc},8 dopo 48 ore, e si trovò che conteneva 2^{cc} d'acido carbonico: il rimanente era ossigene. In tutte queste esperienze non ho mai operato che sopra 8 o 10 segmenti luminosi presi da 8 o 10 lucciole diverse.

Ho visto ancora che in un miscuglio di 9 parti d'idrogene e 1 d'ossigene, le lucciole continuarono a vivere e a splendere anche dopo 12 ore d'esperimento. Ho trovato che la metà circa dell'ossigene era stata rimpiazzata da un egual volume d'acido carbonico. Invece in un miscuglio di 9 d'acido carbonico e 1 d'ossigene, le lucciole non duravano a splendere che due o tre ore, e dopo 12 ore erano morte. Ho visto che bastano $\frac{2}{3}$ d'acido carbonico e $\frac{1}{3}$ d'ossigene per fare un miscuglio, in cui la lucciola non vive lungamente, nè splende per molto tempo. Anche in questo miscuglio ho trovato scomparsa una porzione di ossigene dopo esservi state per qualche tempo le lucciole.

Il gas acido carbonico sembra agire come un gas velenoso. I segmenti luminosi messi nel citato miscuglio, si comportano come le lucciole intere, quanto alla durata della loro luce: se non

che l'ossigene assorbito e l'acido carbonico emesso sono molto meno e all'incirca $\frac{1}{4}$ di quello che abbiamo visto esser per le lucciole intere. Il volume che scompare durante l'esperienza è dovuto a quel poco d'acqua che s'introduce insieme col corpo delle lucciole, la quale discioglie l'acido carbonico che si va formando. L'aver visto che le lucciole continuavano a vivere per molte ore, anche private dei segmenti luminosi, mi ha dato luogo a fare una curiosa speranza, la quale è interamente d'accordo colle già esposte.

Ho introdotto 20 lucciole vive e ben splendenti in una campana graduata capovolta sul mercurio, la quale conteneva 6^{cc},6 di ossigene puro: ho asportati con cura i segmenti luminosi ad altre 20 lucciole egualmente vive e splendenti, poscia le ho messe in un'altra simile campana contenente 5^{cc},6 d'ossigene puro e parimenti capovolta sul mercurio. Infine i 20 segmenti luminosi rimasti gli ho pur messi in una terza campana di vetro graduata, e con 9^{cc} d'ossigene e l'ho disposta come le altre due. Dopo 10 ore ho osservato le tre campane e in tutte il volume del gas era diminuito, e certo per l'acido carbonico formatosi e poscia assorbito dalla umidità delle lucciole o dal velo d'acqua che copriva il mercurio. Così nella prima, il gas era 6^{cc},2: nella seconda 5^{cc},4: nella terza il volume del gas non era sensibilmente diminuito; vivevano ancora splendenti le lucciole intere, e i segmenti soli erano pure fosforescenti e le mezze lucciole si movevano. Nella prima campana dopo l'assorbimento della potassa, sono rimasti

3^{cc},8 d'ossigene, nella seconda 3^{cc},7 e nella terza 8^{cc},2. La potassa aveva assorbito per conseguenza, 2,8 d'acido carbonico prodotto dalle lucciole intere, 1,9 d'acido carbonico dovuto alle lucciole senza segmenti, e 0,8 dello stesso acido prodotti dalla sola sostanza fosforescente. È curioso che, stando a questi numeri, le due parti in cui la lucciola è stata divisa avrebbero agito separatamente quasi colla stessa intensità che nella lucciola intera e così viventi di una vita comune. Ho ripetuta altra volta l'esperienza: ho sempre trovato, che l'assorbimento della lucciola intera superava, e anche assai più di quello dei numeri citati, la somma degli assorbimenti nelle mezze lucciole e nei segmenti luminosi.

Riferirò ancora un'altra esperienza che conduce alle conseguenze stesse delle precedenti. Ho introdotte varie lucciole in una campana di vetro, che ho empita d'acqua e ho rovesciata sotto una vasca idro-pneumatica. Dopo 20' le lucciole avevano cessato di splendere: introdotte alcune bolle d'aria le lucciole ripresero vita e splendore. Questo fatto l'ho più volte rivisto. Ho ripetuta la stessa esperienza con acqua che aveva fatta bollire per due ore: le lucciole non vi hanno durato a splendere che 10' a 12'. È curioso che con altri liquidi che non agiscono chimicamente sulla sostanza dell'insetto, la durata della fosforescenza è diversa. Nell'alcool e nell'etere la fosforoscenza dura un poco più che nell'acqua; nell'olio invece, le lucciole splendono assai meno che nell'acqua. Convienne operare nel modo indicato, e non

contentarsi di metter le lucciole nel liquido contenuto in una capsula. Tanto nell'una che nell'altra di queste ultime esperienze, credo che la durata della fosforescenza debba in parte attribuirsi all'aria che rimane sempre aderente all'insetto.

Ho tentata pure un'altra esperienza che credo importante il descrivervi prima di trarre dalle suestposte, le conseguenze che ne dipendono. Ho separato i segmenti luminosi da varie lucciole ben vive, e li ho schiacciati e trituriati in un piccolo mortajo d'agata. In questa guisa, la materia di questi segmenti apparisce grandemente luminosa sulle prime; ma dopo pochi secondi se ne vede indebolire la luce e cessare affatto. Questo avviene anche più presto se il mortajo è lievemente caldo. Introduco nel fondo di una campana di vetro una porzione della sostanza triturata dei segmenti, e all'istante in cui cessa di splendere, riempio la campana di mercurio, la rovescio sul bagno e v'introduco l'ossigene. Al contatto del gas ho veduto una sola volta tra le moltissime esperienze fatte, un leggerissimo segno di luce che cessò all'istante: in una sperienza in cui la materia triturata dei segmenti splendeva ancora debolmente quando il gas fu introdotto, la luce continuò per alcun tempo. Analizzai il gas in questi due casi 48 ore dopo. Il suo volume non aveva variato: e l'assorbimento colla potassa sopra 8^{cc} di gas ossigene, non oltrepassò 0^{cc}, 2 nell'espe-rienza in cui la luce aveva continuato, e fu nullo nell'altra. Era rimasto l'ossigene puro.

In un'altra esperienza ho scaldato 20 segmenti luminosi a $+40.^{\circ}$ circa, mettendo il tubo in cui erano contenuti nell'acqua calda a quella temperatura. I segmenti si sono fatti rossi ed hanno cessato di splendere. Allora ho empito il tubo di mercurio, l'ho rovesciato sulla vasca ed ho introdotto l'ossigene, non ho scorta luce e dopo 4 giorni la potassa non ha indicato nessun assorbimento. Questi segmenti non han fatto che cessare di splendere, e l'ossigene non è più stato assorbito, nè l'acido carbonico per conseguenza è stato prodotto.

Alcune lucciole messe nell'idrogene solforato hanno cessato dopo pochi secondi di splendere e di vivere. Non si sono più fatte vedere fosforescenti anche in contatto dell'ossigene, e quantunque scaldate. Schiacciandone i segmenti luminosi, qualcuno ha emesso una debolissima luce.

Descriverò finalmente l'esperienza fatta mettendo le lucciole, e i soli segmenti luminosi nell'aria molto rarefatta. Ho introdotto nel fondo chiuso di un lungo tubo di vetro alcune lucciole intiere e alcuni segmenti luminosi tolti da altre lucciole. Ho empito il tubo di mercurio e l'ho rovesciato entro un pozzetto nello stesso liquido, operando come per fare un barometro. Le lucciole ed i loro segmenti si sono così trovati in uno spazio in cui di certo l'aria era assai rarefatta. La luce ha cessato nelle lucciole e nei segmenti circa nello stesso tempo, cioè dopo 2 o 3 minuti; al solito ha cessato prima di mostrarsi intermittente. Appena la fosforescenza scompariva introducevo l'aria, e non tardava il tutto

a risplendere di nuovo. Vidi distintamente, anche in questo caso tutte le lucciole riprendere il movimento perduto: avevano cessato di splendere nell'aria rarefatta, ma non erano morte. È lo stesso che avviene col raffreddamento.

I fatti fin qui esposti, conducono necessariamente alle seguenti conclusioni, che sono in parte nuove e in parte assai meglio determinate di quelle dedotte finora.

1.° Può cessare la fosforescenza dei segmenti luminosi di una lucciola, senza che questa sia morta.

2.° V'è nella lucciola una sostanza che spande luce e non sensibilmente calore, la quale per mostrarsi con questa proprietà non ha direttamente mestieri dell'integrità dell'animale e del suo stato di vita.

3.° L'acido carbonico e l'idrogene sono mezzi nei quali la materia fosforescente della lucciola cessa di splendere, dopo un tempo che non è maggiore di 30' o 40' se i gas sono puri.

4.° Nel gas ossigene la luce della materia fosforescente è decisamente più viva, che nell'aria atmosferica, e si conserva lucente per un tempo quasi triplo. Questo accade tanto per i soli segmenti luminosi, come per la lucciola intera.

5.° Questa materia fosforescente, allorchè si trova in condizioni da spander luce, consuma una porzione d'ossigene che è rimpiazzata dal volume eguale d'acido carbonico.

6.° Questa stessa sostanza in contatto dell'ossigene, ma messa prima in condizione di non spander più luce, non assorbe nemmeno sensibilmente l'ossigene, nè sviluppa acido carbonico. Desidero che fissiate particolarmente la vostra attenzione sopra questo risultato.

7.° L'ossigene nella proporzione di 1 a 9 d'idrogene o d'acido carbonico, forma un mezzo in cui la fosforescenza continua per alcune ore; si può concludere da ciò che è per l'alterazione avvenuta nella sostanza fosforescente, che questa cessa di splendere dopo molti giorni, essendo stata messa da prima nell'ossigene puro, di cui in seguito una porzione sola è stata rimpiazzata dall'acido carbonico.

Ho esaminato l'idrogene in cui aveva tenute varie lucciole per 24 ore, ed in cui non avevano durato a splendere che per pochi minuti. È così che avviene se il gas è puro, se si opera sul mercurio e se si ha cura di empire la campana rovesciandola due o tre volte, per togliere l'aria aderente alle lucciole. In questo gas idrogene ho trovato che il volume era cresciuto di una piccolissima quantità; sopra 8^{cc} idrogene, ebbi 0^{cc},2 d'aumento di volume che la potassa ha assorbito. È dunque acido carbonico che le lucciole hanno prodotto, e questo, o perchè vi era nelle loro trachee un resto d'ossigene che si è combinato al carbonio e cangiato in acido carbonico, o perchè esse contenevano già formato quest'acido. Quando i soli segmenti luminosi sono messi con

tutte le precauzioni nell'idrogene, non durano che pochi secondi a splendere, e il gas non cangia.

8.° Il calore, dentro certi limiti, accresce la luce della materia fosforescente, ed il contrario avviene per il raffreddamento.

9.° Quando il calore è troppo forte, la sostanza fosforescente rimane alterata, e lo stesso avviene di questa sostanza lasciata all'aria o in un gas qualunque per un certo tempo. È questa indubitabilmente la cagione per cui le lucciole non vivono che in certi climi, e per cui non cominciano a splendere che in certi mesi dell'anno.

10.° Così alterata questa materia fosforescente, non è più atta ad emetter luce o a divenire luminosa.

Queste conclusioni stabiliscono evidentemente la natura del fenomeno: la produzione della luce in quest'insetto è intieramente legata alla combinazione dell'ossigene col carbonio ch'è uno degli elementi della materia fosforescente.

Importa ora studiare come nell'animale vivo la fosforescenza avviene, per quali circostanze varia, qual'è la struttura della sostanza fosforescente e delle parti che la circondano.

Ho messe alcune lucciole ben vive e splendenti in una scatola di latta, che chiudeva esattamente e l'ho riaperta 24 ore dopo, circa due ore dopo il tramonto del sole. Le lucciole parevano morte; pure splendevano quantunque assai debolmente. Riscaldandole sulla mano hanno ripreso alquanto i loro movimenti, e la luce è divenuta più viva.

Dopo altre 30 ore passate nella stessa scatola, alcune erano morte, e la luce era in molte estinta, in altre debolissima. Questa esperienza poteva, supponendo che non fosse vero tutto quello che già vi ho esposto, condurre nelle idee di Beccaria, di Mayer e d'altri Fisici, i quali riguardano la fosforescenza delle lucciole come dovuta all'insolazione.

Ma ecco un'altra esperienza il di cui risultato è netto e soddisfacente. Nella stessa scatola, che aveva doppio fondo ho messo in uno dei compartimenti molte lucciole, e nell'altro altre lucciole simili sparse in mezzo ad erba fresca e tagliata in pezzi, e tolta dai luoghi dove questi insetti si trovano. Dopo 24 ore ho osservate le lucciole: delle prime era accaduto quello che già ho detto, e le altre erano vivacissime e splendenti. Aprendo di giorno questa scatola in una stanza oscura, vedevansi queste lucciole splendere. Per non andar inutilmente per le lunghe, mi basterà di dirvi, che ho conservate per nove giorni tali lucciole in mezzo all'erba, sempre vive e splendenti. Trovandosi la lucciola nelle condizioni di temperatura, d'umidità ec., in cui esiste naturalmente, e continuando a nutrirsi, la materia fosforescente si conserva, indipendentemente dall'azione solare.

Concludiamo ancora dalle esperienze su riportate che la sostanza fosforescente, preparata dall'animale conservasi per un certo tempo luminosa, quantunque priva della vita che ha comune coll'insetto, lo che stabilisce che questa vita non è condizione immediatamente necessaria della fosforescenza. Per la vita,

la materia fosforescente è incessantemente conservata nelle sue proprietà con quello stesso processo di nutrizione, che opera egualmente sopra tutte le parti dell'insetto.

Non ho trascurato di studiare qual parte poteva aver la funzione del sistema nervoso nel fenomeno della fosforescenza. Vi descriverò queste ricerche colla sufficiente estensione. Allorchè si osserva una lucciola appena presa e tenuta col dorso sopra una tavola, si veggono gl'ultimi segmenti dell'addome del colore di una tinta rossastra. Nel giorno, o sulle lucciole anche da poco morte, questo colore non è così distinto e si fa gialliccio. Sinchè la lucciola è viva, si veggono di tanto in tanto, or più or meno sovente, divenir luminosi i suoi segmenti. Osservando bene e sopra molti individui, si riesce a scoprire che qualche volta non è in tutti i punti di questi segmenti, che la luce compare allo stesso istante. Basta irritare leggermente la lucciola in qualunque parte del suo corpo, per vederla divenire per un istante luminosa. Toccando un qualche punto dei segmenti, la luce persiste di più. Se ad una lucciola in questo stato, si taglia la testa, non si tarda a veder la luce illanguidire, e cessare poi affatto, e allora si vede bene il color rosso della membrana dei segmenti luminosi. In questo stato, si può irritare anche fortemente l'insetto nel torace, senza che più si giunga a vederlo luminoso. Perchè questo avvenga, è necessario di toccare i segmenti luminosi stessi, e allora si veggono i punti toccati splendere, e da questi estendersi la luce per un certo tempo al resto dei segmenti stessi. Facendo

quest'esperienza, mentre la lucciola sta sul portaoggetti del microscopio, si vede anche meglio la produzione e la diffusione della luce. Conviene essere nell'oscurità e non mandare sull'oggetto alcuna luce. Vedesi un movimento oscillatorio rapidissimo nelle parti della materia fosforescente, e nel tempo che esse si fanno luminose.

Ho provato e riprovato più volte l'influenza che potevano esercitare sulla fosforescenza delle lucciole l'oppio e la noce vomica, ed eccovi come. Ho preparato soluzioni fatte di 5 grani d'estratto d'oppio o d'estratto alcoolico di noce vomica, in due oncie d'acqua. Poi metteva le lucciole in una campana di vetro, che empiva di quelle soluzioni e rovesciava sugli stessi liquidi. Così non v'era contatto coll'aria. Il risultato d'un gran numero d'osservazioni mi porta a concludere, che nella soluzione di noce vomica le lucciole muoiono 8' o 10' più presto di quelle che sono nell'acqua. Al contrario nelle lucciole che sono nella soluzione d'oppio, la fosforescenza continua per 8' o 10' di più che in quelle che sono nell'acqua. Spero di poter riprendere lo studio di questo soggetto che non ho potuto che abbozzare.

Aggiungerò che le lucciole che cessano di splendere nell'acqua, splendono nuovamente al contatto dell'aria, mentre le altre che furono tenute nell'oppio e nella noce vomica cessano di splendere per sempre e vi muoiono. È così provata l'azione di certe sostanze sulla fosforescenza, le quali con ogni probabilità, non possono agire alterando la materia fosforescente.

Ho provato a spalmare con trementina il solo addome di molte lucciole: ho visto che la luce s'indeboliva, che meno frequenti erano le scintillazioni, ma che non cessavano mai affatto.

Ho studiato col microscopio la struttura dell'organo luminoso. Spogliando i segmenti luminosi dalle due membrane, dorsale e ventrale, si vede una materia globuliforme, granulare, gialliccia, in mezzo alla quale appariscono gruppi di globetti rossi, un gran numero di ramificazioni, e di più una specie di tubi che hanno l'apparenza della fibra muscolare, ma che osservati meglio, si veggono vuoti. Guardando di notte, si vede la luce essere emessa dalla materia granulosa gialliccia, e se questa si comprime fra due vetri, la luce è sempre all'orlo del pezzo che s'osserva.

La membrana ventrale osservata sola e dopo averla lavata più volte nell'acqua, per toglierle tutta la sostanza fosforescente, è trasparente e piena di un gran numero di peli. La membrana dorsale, non così trasparente come l'altra, ha pure gli stessi peli, ma ha inoltre nella sua faccia interna un gran numero di tubi o trachee che si veggono penetrare fra la materia fosforescente. Aggiungerò ancora, che non m'è mai accaduto di separare l'addome d'una lucciola senza trovare sotto all'anello penultimo luminoso una vescichetta di un bel color rosso, che vista al microscopio è formata di un gruppo di globetti rossi. Non ho trovato in altri insetti simili questa vescichetta: non ho trovato libro di Anatomia Comparata in cui se ne parli. Mi limito nella mia ignoranza del soggetto a indicarne la presenza ai Zootomi.

Vi dirò finalmente del poco che ho potuto fare, e che credo possa farsi, per studiare la natura chimica della materia fosforescente. Questa materia tratta dall'animale vivo ha un odore particolare che ricorda quello del sudore dei piedi: non è nè acida nè alcalina, si dissecca facilmente all'aria, sembra coagularsi a contatto degli acidi diluiti, non si scioglie sensibilmente nè nell'alcool, nè nell'etere, nè nelle soluzioni alcaline deboli: si scioglie e s'altera nell'acido solforico e idroclorico concentrati e coll'aggiunta del calore, e con quest'ultimo la soluzione non diviene bleu. Scaldata in un tubo manda i soliti prodotti ammoniacali. Non v'è in essa traccia sensibile di fosforo, e me ne sono assicurato bruciandola più volte col nitro in un crogiuolo di platino, e trattando il residuo disciolto coi soliti reattivi che scoprono i fosfati. Dopo tutto ciò che abbiám detto, non si poteva credere alla presenza del fosforo, come cagione della luce in questi insetti. Forse operando sopra un grandissimo numero di questi animali, si troverebbe quella piccola traccia di fosforo, che ordinariamente si trova in tutte le sostanze organiche.

Concluderò in seguito di tutte le conseguenze sperimentali suaccennate, che l'acido carbonico si produce pel contatto della sola materia fosforescente separata dell'animale coll'ossigene; che cessa la luce fuori di questo gas, e che in contatto del medesimo vi è luce e si produce un volume di acido carbonico, uguale a quello dell'ossigene scomparso; che la sostanza fosforescente

della lucciola, non più luminosa, non esercita nemmeno azione sull'ossigene.

È dunque naturale il supporre che nei segmenti luminosi di questi insetti, involuppati da membrane trasparenti, avvenga per mezzo delle molte trachee che vi si veggono sparse, il contatto dell'aria atmosferica o piuttosto del suo ossigene con una sostanza *sui generis* principalmente composta di carbonio, d'idrogeno, d'ossigeno e d'azoto. I molti globuli sanguigni che vi si veggono sparsi in mezzo e frammisti alla materia granulare luminosa, provano che questi segmenti sono il centro di un organo particolare di secrezione, e credo meriti l'attenzione dei Naturalisti l'esistenza di quella vescichetta rossa che dissi trovarsi immediatamente al di sopra dei segmenti luminosi. Le irritazioni sull'animale, l'azione del calore, operano in questa fosforescenza in un modo generale e che appartiene a tutti i fenomeni dell'economia animale, e di più, favorendo direttamente la combustione; ed è così che vanno interpretati gli effetti prodotti da quegli agenti sulla sola sostanza fosforescente separata dell'animale. Non è nuovo l'esempio di una sostanza organica che bruci all'aria, assorbendo ossigene ed emettendo acido carbonico: è il caso del legno in putrefazione, del cotone unto, del carbone estremamente diviso, e di tante altre accensioni spontanee. E se nel nostro caso manca il calore che dovrebbe accompagnare la combinazione chimica, non è difficile di rendersene conto. È

così piccola la quantità dell'acido carbonico che dai segmenti luminosi di ognuno di questi insetti si svolge in un dato tempo, che non può il calore che ne è sviluppato, accumularvisi: e la citata fosforescenza del legno e molti altri fatti di emissioni di luce, le quali accompagnano cangiamenti chimici, e che credo inutile di ricordare, provano con tutta l'evidenza che può ben esservi emissione di luce, senza sensibile aumento di calore. Quest'ultimo vuol essere accumulato per apparire ai nostri istrumenti. È così che ci siamo dati ragione della mancanza di calore negli animali così detti a sangue freddo.

Se sono entrato in molte particolarità sulla fosforescenza delle lucciole l'ho fatto perchè non aveva da intrattenermi che di volo sugli altri casi di fosforescenza animale.

È noto vedersi nel mare di notte tempo grandi estensioni luminose, e questo fatto attribuito una volta allo sbattimento delle onde, all'elettricità, ai gas fosforati svolti nella putrefazione dei molluschi, sembra oggi provato dipendere da un gran numero di animalletti microscopici fosforescenti. Ma nulla si sa delle condizioni fisico-chimiche sotto le quali questi infusori divengono fosforescenti.

È indubitato che i pesci in putrefazione divengono fosforescenti, e potrebbe anche questa cagione produrre in qualche caso qualche fosforescenza nel mare.

Vi sono negli Annali della Medicina racconti ben constatati di fiammelle viste intorno al corpo di certi malati; si è parlato di

sudore ai piedi fosforescente ed è curiosa a notarsi l'analogia che vi ha tra l'odore della sostanza fosforescente della lucciola e il sudore ordinario dei piedi.

Tutti questi casi di fosforescenza sono tuttora senza spiegazione.

Raccontano i Botanici che in varie piante l'infiorazione è accompagnata da una fosforescenza. Ma anche questo fenomeno è troppo raro per poter essere convenientemente studiato. Nella infiorazione v'è assorbimento d'ossigene, sviluppo d'acido carbonico, v'è combustione in una parola, ed è perciò che anche molto calore sviluppasi in certi casi d'infiorazione. Forse anche l'accensione alla temperatura ordinaria d'un qualche olio volatile separato dal fiore fosforescente, può esser cagione di questa luce.

Non terminerò senza dirvi della bella osservazione fatta in questi ultimi tempi da Quatrefage sulla fosforescenza degli *annelidi* e degli *ofiuri*. Questo distinto Naturalista ha visto col microscopio la fosforescenza di questi animali appartenere alla fibra muscolare, essere intermittente, farsi più viva irritando la fibra e obbligandola a contrarsi, cessare la fosforescenza per un certo tempo, per poi riprodursi, lasciando l'animale in riposo.

Eccovi un punto d'analogia, che non devesi perder di vista. La vita dei muscoli, le sue funzioni, sono accompagnate da sviluppo di calore, di luce, e in tanto questa vita, queste funzioni, sono immediatamente dipendenti dall'agente nervoso.

LEZIONE IX.

Corrente elettrica muscolare.

Abbiamo visto nelle passate Lezioni generarsi costantemente calore, e in qualche caso anche luce, nel seno degli animali; abbiamo dovuto, condotti dalle sperienze, guidati da tutte le analogie, attribuire lo svolgimento di calore e di luce nell'organismo vivente alle azioni chimiche che vi si operano, ed abbiám trovato così una nuova prova della costanza degli effetti generali delle grandi forze della natura. I fatti di cui ci occuperemo in questa Lezione ci condurranno a queste stesse conseguenze. Non è naturale il credere che le azioni chimiche dell'organismo vivente che svolgono calore, e spesso luce, non siano accompagnate da produzione di elettricità: è di questa produzione, che siamo riusciti oggi a dimostrare con tutta l'evidenza delle verità fisiche, che io voglio intrattenervi.

Eccovi una sperienza molto semplice e facile, che vi prova l'esistenza d'una corrente elettrica, che si produce riunendo con un corpo conduttore due diversi punti di una massa muscolare, tanto in un animale vivo, come in un animale di recente ucciso. Si prepara una rana alla solita maniera di Galvani, si taglia a metà il suo bacino, si asporta con cura tutta la massa muscolare della coscia, si taglia uno dei plessi lombari al suo escire dalla colonna

vertebrale, e si ha così una gamba di rana unita al suo lungo filamento nervoso composto dal plesso lombare e dal suo prolungamento nella coscia, ossia dal nervo crurale. È la rana così preparata che ho chiamata *rana galvanoscopica*, e che serve assai bene alla ricerca della corrente elettrica. A questo fine basta d'introdurre la gamba della rana in un tubo di vetro coperto d'una vernice isolante, di reggere il tubo colle mani e di portar poi due



punti del corpo qualunque di cui si studia lo stato elettrico in contatto di due punti distinti e sufficientemente lontani del filamento nervoso della rana galvanoscopica. Se si ha cura di non toccar mai il corpo con alcuna porzione del muscolo della gamba, se questa è tenuta ben isolata dalla mano, si può con sicurezza asserire che la contrazione sopravvenuta nella rana galvanoscopica sarà dovuta ad una corrente generata nel corpo toccato, e che il nervo non fa che condurre e mostrare colla contra-

zione del suo muscolo.

Mentre la rana galvanoscopica si sta così preparando, prendo un animale vivo qualunque, un piccione a cagion d'esempio, taglio leggermente il suo muscolo pettorale dopo averne tolti con cura gl'integumenti, e introduco nella ferita il nervo della rana galvanoscopica.

Vedete la rana contrarsi, e se ponete mente alla disposizione della rana rileverete che per aversi queste contrazioni è mestieri toccare con due diverse porzioni del filamento nervoso, due distinti punti del muscolo pettorale del piccione. Toccando con l'estremità del nervo della rana il fondo della ferita e con un altro punto del nervo stesso le labbra della ferita o la superficie esterna del muscolo, la rana si contrae costantemente. Ciò vi prova ad evidenza la presenza d'una corrente elettrica che circola nel nervo, poichè è necessario formare un arco nel quale è compreso esso nervo. Che poi queste contrazioni della rana siano eccitate da una corrente elettrica dovuta alle diverse parti del muscolo dell'animale, ve lo proverà il vedere, non eccitarsi contrazioni nella rana quando tocco due distinti punti del nervo con un liquido o con un corpo conduttore qualunque. Nè crediate che il sangue sia più atto d'un altro liquido conduttore qualunque a svegliare le contrazioni nel muscolo della rana galvanoscopica. Fò cadere una goccia di sangue di questo stesso piccione su d'una lamina di vetro, tocco col nervo della rana due punti distinti di questa goccia: la rana non si contrae.

È inutile il farvi notare che se bagno o il nervo della rana galvanoscopica, oppure le diverse parti del muscolo del piccione, con una soluzione salina od acida, o meglio anche con una soluzione alcalina, le contrazioni nella rana si fanno più forti che nella prima esperienza. Queste soluzioni agiscono chimicamente sulla sostanza del nervo e del muscolo.

Ciò che avete veduto accadere su questo piccione avviene in qualunque altro animale, sia desso a sangue caldo, oppure a sangue freddo.

Si ottengono anche le contrazioni nella rana galvanoscopica mettendone il nervo a contatto d'un muscolo separato da un animale. Eccovi una coscia di rana separata già da qualche tempo dall'animale, fò un taglio sul muscolo crurale, metto a contatto del fondo della ferita l'estremità del nervo della rana galvanoscopica ed a contatto della superficie del muscolo un altro punto dello stesso nervo. La rana galvanoscopica si contrae all'istante. Ripeto questo esperimento con questa coscia di piccione, con quest'altra di coniglio, con questa porzione di anguilla; la contrazione ha ugualmente luogo nella rana galvanoscopica, come nel primo caso. Ma se anderete ripetendo questi esperimenti, rinnovando di tanto in tanto la rana galvanoscopica, osserverete che dopo qualche tempo cessa il fenomeno, servendoci dei muscoli del piccione e del coniglio, mentre persiste più a lungo con quei della rana e dell'anguilla.

Le contrazioni che avete veduto eccitarsi nella rana galvanoscopica vi danno già l'indizio dell'esistenza d'una corrente elettrica, che dirò *muscolare*, la quale dal muscolo d'un animale vivo o recentemente ucciso in cui si produce, circola nel nervo della rana. Ma a mettere fuori d'ogni dubbio l'esistenza di questa corrente, per scuoprirne la sua direzione, la sua intensità in relazione allo stato di vita o di morte dell'animale, in relazione al posto dal

medesimo occupato nella scala animale, in una parola per determinarne le leggi, conveniva ricorrere al galvanometro.

Scuopro sopra un piccione vivo il muscolo pettorale, e vi fò una ferita, porto rapidamente le estremità in platino del filo d'un galvanometro sensibilissimo, l'una sulla superficie del muscolo, l'altra nell'interno della ferita. Vedete all'istante l'ago del galvanometro deviare di 15, di 20 e più gradi, e così indicare una corrente ch'è diretta nell'interno dell'animale dall'interno del muscolo alla sua superficie. Dopo poco l'ago ridiscende e spesso ritorna a 0. Se tolgo le estremità del galvanometro e rinnovo l'esperienza, accade qualche volta, forse il più spesso di riavere una deviazione nel senso della prima, ma sempre assai più debole. In qualche caso però le deviazioni che si hanno dopo la prima esperienza sono anche inverse. Ripetendo l'esperienza sopra i muscoli di altri animali, la prima indicazione del galvanometro si ottiene nel maggior numero dei casi come quella da noi vista, come è pur vero che nelle successive esperienze le inversioni della corrente si presentano spesso. Un tal fatto non è dunque abbastanza netto, non prova rigorosamente l'esistenza della corrente muscolare. Se avessi operato egualmente sopra un animale morto avreste visto al solito nella prima esperienza il segno d'una corrente diretta dall'interno all'esterno del muscolo nell'animale, però più debole che nel vivo, ma anche su questo le incertezze si succedono, le esperienze non sono conclusive. V'è dunque difetto in questo modo d'operare, e non v'è Fisico,

per poco abituato all'uso del galvanometro, che non scorga questo difetto, e non ne prevegga le cagioni. In un mio libro recentemente pubblicato a Parigi sotto il titolo di *Traité sur les phénomènes electro-physiologiques des animaux* ho insistito con prolissità sul modo d'applicare il galvanometro allo studio dei fenomeni elettrici degli animali, e sarei troppo lungo ripetendovi qui tutto quello che vi ho detto.

Sono contento di potervi mostrare d'esser giunto a stabilire col galvanometro l'esistenza della corrente muscolare, e a scuoprirne le leggi fondamentali.

Preparo cinque o sei rane alla nota maniera di Galvani, le taglio a metà, e separate le coscie dalle gambe per via di disarticolazione, taglio trasversalmente in due parti le coscie stesse. Posso così disporre d'un certo numero di mezze coscie, tra le quali non scelgo che quelle che appartengono alla porzione inferiore. Su questa tavola verniciata che vedete, ed in cui sonovi delle cavità a guisa di capsule, dispongo le mezze coscie a questo modo. Ne colloco primieramente una in maniera che peschi colla sua superficie esterna in una delle capsule, ne fò succedere a questa un'altra in modo che la sua superficie esterna stia a contatto con la superficie interna della prima, e così di seguito, in modo che mentre tutte le mezze coscie disposte in fila si toccano, presentano rivolta costantemente la stessa superficie verso la stessa parte. L'ultima mezza coscia di questa serie la fò pescare, come la prima, in un'altra cavità di questa tavola, colla sua superficie



interna. Eccovi dunque una pila di mezze coscie di rana, una estremità della quale è formata dalla superficie esterna del muscolo, l'altra dalla sua superficie interna. Verso nelle due cavità della tavola dell'acqua leggermente salata o anche dell'acqua distillata, immergo in esse le due estremità del galvanometro, e ne vedo immediatamente deviar l'ago il quale era a 0° prima dell'immersione.

Eccovi dunque dimostrata al galvanometro la presenza di una corrente elettrica prodotta dalla pila formata coi muscoli della rana. Variate per quanto volete l'esperimento, fate uso invece di muscoli di rane, di muscoli d'altri animali, pesci, uccelli, mammiferi, purchè conserviate la stessa relativa posizione suindicata delle superficie interna ed esterna dei muscoli, avrete una deviazione più o meno grande nell'ago galvanometrico; questa deviazione vi indicherà *costantemente* colla sua direzione la presenza della corrente elettrica, che va nell'interno della pila dalla superficie interna alla superficie esterna del muscolo.

Devo farvi notare come l'intensità della corrente sia in ragione del numero delle coscie impiegate a formar la pila. Eccovi una pila formata con sei mezze coscie di rana, notate la deviazione dell'ago; è di 10° a 12° : eccovene un'altra di quattro elementi; l'ago devia di 6° a 8° ; eccovene una terza di due elementi;

l'ago devia anche meno, non segna che 3.° o 4.° appena. L'accrescimento d'intensità nella corrente muscolare in ragione del numero dei muscoli impiegati a formare la pila è costante qualunque sia l'animale da cui sono tolti quei muscoli.

Se invece di disporre gli elementi in linea retta per formare le pile muscolari, li disponete in maniera da formare un arco, e rendere così piccolissima la distanza fra i due poli della pila, potrete chiudere il circuito col solo nervo della rana galvanoscopica, e dalle sue contrazioni dedurre l'esistenza della corrente.

Ho voluto esaminare se gli altri tessuti ed organi degli animali, le membrane, i nervi, il cervello, il fegato, il polmone, mostravano la presenza di correnti elettriche al galvanometro: i risultati furono negativi. Il solo cuore mostrò l'esistenza di correnti elettriche, ma il cuore è un muscolo, come ben sapete.

È inutile che vi dica che ho tentato tali esperienze sulle membrane, sul fegato, disponendo a pila delle porzioni di questi tessuti od organi come nel caso dei muscoli, e che ho operato colle stesse precauzioni.

La corrente dunque di cui finora si è parlato si deve riconoscere come proprietà dei muscoli. Nè questa proprietà nei medesimi dipende dal sistema nervoso. Molte sperienze da me tentate e riportate per esteso nell'indicato mio libro mi convinsero che distrutto anche il sistema nervoso che si distribuisce al muscolo, questo non perde la proprietà di manifestare la sua corrente elettrica. Formai pile con muscoli spogliati con ogni cura

dei loro nervi, ne formai con muscoli tratti da rane alle quali qualche giorno prima venne distrutta con un ferro rovente una estesa porzione della midolla spinale, ne formai con muscoli di rane avvelenate con oppio. Nessuna notabile differenza si ebbe nell'intensità della corrente prodotta da queste diverse pile paragonata a quella di una pila formata dello stesso numero di elementi muscolari presi da rane intatte.

Se venite via via tentando col galvanometro una pila, che ora mai diremo muscolare, rileverete facilmente le deviazioni dell'ago farsi sempre più minori e finalmente cessare del tutto; e facendo uso di pile formate di muscoli d'animali appartenenti a diverse classi, vedrete i segni della corrente elettrica diminuire tanto più rapidamente, e tanto più presto scomparire del tutto, quanto più l'animale di cui vi servite occupa un posto più elevato nella scala degli esseri.

Così avviene che mentre le pile formate con muscoli di pesci, di rane, di anguille danno per molte ore dopo la morte segni sensibili della corrente, quelle formate con muscoli d'uccelli e di mammiferi non li presentano più.

Abbiamo già notato l'incertezza dei segni della corrente al galvanometro, allorchè le estremità del filo dell'istromento si mettono direttamente in contatto coi muscoli d'un animale vivo. Per poter dunque stabilire qualche cosa di positivo, bisognava variare il modo di sperimentare. Eccovi una mia esperienza al coperto di ogni causa d'errore, e che non è che la ripetizione

sull'animale vivo di quella che vi ho fatta colle mezze coscie di rana. È facile d'intendere come con qualche cura si giunge ad inchiodare sopra la solita tavola un certo numero di rane vive fissandone con chiodi le quattro gambe e collocandole così una presso l'altra. Ognuna delle rane è stata prima privata degli integumenti delle coscie e delle gambe, e di più si è fatto a ciascuna un taglio nel muscolo d'una delle coscie.

Così preparata la tavola si giunge facilmente a mettere le gambe di una delle rane in contatto dell'interno dei muscoli delle coscie tagliate della rana successiva. In tal guisa si ripete con rane vive la pila già descritta. La corrente che si ha allora è diretta al solito dall'interno del muscolo all'esterno nell'animale: la intensità della corrente così ottenuta è, a numero eguale di elementi, più grande che adoperando muscoli di rane morte, ed assai più lentamente s'indebolisce.

Eccovi dunque con tutto il rigore dimostrata l'esistenza di una corrente elettrica, allorchè con un arco conduttore si riuniscono l'interno e la superficie d'un muscolo di un animale vivo o recentemente ucciso; questa corrente è sempre diretta nell'animale dall'interno del muscolo alla superficie, persiste più o meno lungamente dopo la morte, e tanto più negli animali a sangue freddo che in quelli di un ordine superiore; sussiste senza la diretta influenza del sistema nervoso e non è modificata anche distrutta l'integrità di questo sistema.

Mi resta a dirvi degli studj che ho fatti per ricercare l'influenza che aver possono sulla corrente muscolare le condizioni organiche del muscolo vivente.

Paragonando fra loro muscoli di animali, privati di nutrimento in cui il circolo sanguigno è lento e anche distrutto affatto, trovasi la corrente muscolare assai indebolita di intensità.

Se invece i muscoli sono da qualche tempo infiammati, ingorgati di sangue, o appartengono ad animali ben nutriti, la corrente muscolare si mostra più intensa e più persistente.

Ho principalmente agito sulle rane essendo questi animali più atti di tutti a resistere ai patimenti che mi si assoggettano coll'esperienze.

Se i muscoli di cui si compone la solita pila appartengono a rane che si sono tenute per lungo tempo in un mezzo di temperatura assai bassa, a zero o sotto zero, la corrente muscolare è grandemente indebolita. Per gli animali a sangue caldo la differenza portata dall'abbassamento di temperatura è meno sensibile che per le rane.

Un risultato che può sulle prime sorprendere è quello di vedere, che la corrente muscolare ha la stessa intensità, sia facendo la pila con mezze coscie di rane, come facendola dello stesso numero di elementi, ognuno dei quali sia di due o più mezze coscie ammucciate. In una parola la superficie degli elementi non ha influenza sull'intensità della corrente. È così che accade

colle pile formate di conduttori di seconda classe, cioè con soluzioni acide e alcaline che reagiscono fra loro.

Ho voluto finalmente vedere se l'azione di alcuni veleni aveva influenza sull'intensità e durata della corrente muscolare, e trovai che questa corrente nelle rane avvelenate con acido carbonico, con acido idrocianico, con idrogene arsenicato non differisce in intensità dalla corrente delle rane alle quali non si è fatta subire l'azione di quei veleni.

L'influenza al contrario dell'idrogene solforato sull'intensità della corrente muscolare è molto marcata, ciò che ho potuto più volte verificare, tanto nelle rane che nei piccioni asfissati e uccisi con quel gas. Un animale morto in un atmosfera di idrogene solforato perde quasi totalmente la proprietà di manifestare la corrente muscolare.

Vi ho detto altrove che nei muscoli delle rane uccise coi veleni narcotici la corrente era egualmente intensa che nelle rane non così uccise.

Una parola finalmente dei risultamenti ottenuti studiando la corrente muscolare sopra muscoli in cui i nervi sono lasciati ed anzi messi in qualche modo in esperienza. Ho costruite pile di mezze coscie di rane, nelle quali però i muscoli non si toccavano direttamente, ma in cui erano i filamenti nervosi che stabilivano le comunicazioni. Ho trovato costantemente che la direzione della corrente muscolare non era mai alterata; l'intensità sola era

diminuita. In tutte, secondo che si stabilivano i contatti col filamento nervoso superiore al taglio della coscia o col filamento della gamba lasciato unito alla coscia la direzione della corrente rimanendo la stessa, ne veniva che il nervo ora mandava la corrente verso l'elemento muscolare ora la riceveva, o ciò che torna lo stesso, non avendo influenza il nervo sulla direzione della corrente muscolare, esso agiva sempre rappresentando la faccia del muscolo, interna o esterna, con cui era a contatto.

La corrente muscolare era in questi casi indebolita per la cattiva conducibilità del nervo e se invece del nervo si usa un filo di cotone inzuppato di acqua stillata, i risultamenti sono identici a quelli che si ottengono usando i muscoli coi nervi.

V'aggiungerò infine esser giunto in questi ultimi tempi a comparire con piccioni vivi, una pila muscolare simile a quella descrittavi di rane vive. Confrontando questa pila con una simile di rane, trovai che i primi segni della corrente muscolare erano assai più forti colle pile di piccioni, che con quella di rane. E la differenza diviene tanto più grande se si considera che nella pila dei piccioni la resistenza del circuito è tanto più grande che in quella delle rane. Verificai sempre che i segni della corrente muscolare più presto s'indebolivano e cessavano coi piccioni che colle rane.

Dall'insieme di tutte le cose discorse in questa Lezione e per le quali è ben dimostrata l'esistenza della corrente muscolare e ne sono stabilite le leggi fondamentali, è chiaro che questa corrente è dovuta alle azioni chimiche della nutrizione, che è una

corrente molecolare, che si trova cioè nei muscoli come l'ammettiamo nell'ipotesi d'Ampere nelle molecole dei corpi magnetizzati. L'esperienza sola poteva manifestarla, come si manifesta chiudendo il circuito del galvanometro coll'immergere le due estremità eterogenee di un arco metallico in un liquido acido: una lamina di zinco immersa in un acido, si discioglie, ma non dà segno di corrente perchè manca il circuito. Così è della corrente muscolare che si genera e si distrugge in qualche modo nelle molecole stesse del muscolo in cui è prodotta.

LEZIONE X.

Pesci elettrici – Corrente propria della rana.

Nella Lezione passata abbiamo veduto come dalle azioni fisico-chimiche, che succedono nella fibra muscolare vivente, si svolge elettricità la quale può rendersi manifesta con una conveniente disposizione sperimentale. La corrente muscolare è un fatto generale dell'organismo vivente. Voglio oggi intrattenervi sullo sviluppo d'elettricità proprio di alcuni animali.

Conosciamo cinque pesci dotati di questa proprietà; la *Raja Torpedo*, il *Gymnotus Electricus*, il *Silurus Electricus*, il *Tetrodon Electricus*, il *Trichiurus Electricus*. Due soli fra questi sono stati studiati con cura, la torpedine e il gimnoto, e quella più che questo. Parleremo dunque più particolarmente della torpedine.

Se si prende fra le mani una torpedine viva si risente immediatamente una forte commozione ai polsi e alle braccia, paragonabile a quella che vien prodotta da una pila a colonna di 100 a 150 coppie caricata con acqua salata. Continuando a tener fra le mani l'animale, queste scosse si succedono con una grande rapidità, in modo che riescirebbe impossibile sostenerle a lungo; dopo un certo tempo l'animale perde la sua vivacità, le scosse si risentono meno forti, anche avendo la precauzione di conservarlo in un vaso pieno d'acqua salata. La scossa che la torpedine può dare è così forte da risentirsi senza toccarla direttamente, e

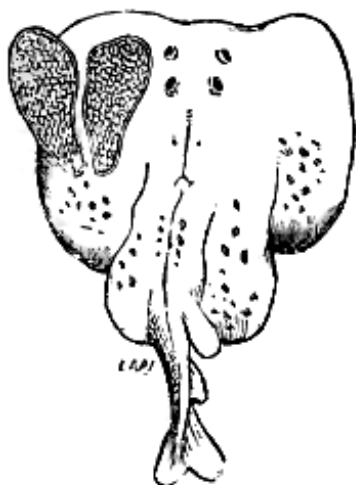
lo sanno i pescatori che si accorgono della presenza di questo pesce in mezzo a quelli che sollevano colle reti allorchè vi gettano secchj d'acqua per lavarlo. Tutte le volte che il getto dell'acqua è continuo la scossa è risentita specialmente nelle braccia. Nell'acqua stessa in cui trovasi la torpedine, la scossa si fa sentire anche a delle grandi distanze ed è di questo mezzo che sembra esser stata dotata la torpedine a fine di uccidere i pesci di cui si nutre.

I primi osservatori non tardarono ad accorgersi dell'identità d'un tal fenomeno della torpedine colla scarica elettrica. Essi si accorsero che se l'animale era circondato da sostanze coibenti, se veniva toccato con bastoni di ceralacca, di vetro ec, la scossa non era più sentita, mentre lo era immediatamente, adoperando invece della resina e del vetro, l'acqua, i panni bagnati e meglio anche i corpi metallici.

Walsh ha fatto anche più essendo giunto a provare con esperienze, oggi generalmente confermate, che le due faccie opposte del corpo della torpedine sono i poli in cui si trovano, nell'atto della scarica, le elettricità contrarie: ne viene che si ha la scarica la più forte congiungendo con un arco conduttore, che può essere il corpo dell'osservatore, il ventre e il dorso del pesce. Si è creduto un tempo che bastasse il toccare con un corpo conduttore un punto qualunque della schiena o del ventre della torpedine per avere la scossa, e che quindi non fosse mestieri di fare arco colle due faccie opposte dell'animale, ma oggi è provato che

questa condizione è essenziale e che se si riesce ad aver la scossa toccando la torpedine in un sol punto con un conduttore metallico tenuto fra le mani, ciò avviene perchè la torpedine non è isolata, per cui allora l'arco si fa attraverso al suolo e a tutto il corpo dell'osservatore. Anche isolando la torpedine sopra una sua faccia e toccandola sull'altra con uno o due dita, avviene di provare in queste una lieve scossa. Ma intenderete facilmente questa particolarità quando avremo esposte le leggi della distribuzione dell'elettricità sul corpo di questo animale.

La scossa della torpedine è accompagnata da tutti i fenomeni proprii della scarica o della corrente elettrica. Le rane preparate al modo di Galvani distese sul corpo della torpedine si veggono saltellare ad ogni scossa che essa dà allorchè è irritata. Si veggono queste rane saltare, anche quando sono poste a qualche metro di distanza dalla torpedine, purchè posino sopra un panno bagnato, su cui si trova anche la torpedine. Se la rana preparata tocca un punto del corpo della torpedine coll'estremità dei suoi nervi ed è sostenuta colla mano, la rana si contrae ad ogni scossa della torpedine. Cessa però di contrarsi la rana così tenuta se la torpedine è isolata, o se la rana è sostenuta con un filo isolatore. Malgrado questi isolamenti la rana indica di nuovo la scossa quando si fa in modo che un lungo tratto del suo filamento nervoso sia disteso sul corpo della torpedine. Questo fatto è simile a quello della scossa provata nel dito di colui che tocca la torpedine isolata.



Distribuendo varie rane preparate su tutta la superficie del corpo della torpedine si veggono da prima scuotersi tutte ad ogni scossa del pesce, ma a misura che la sua vitalità si va estinguendo, non si tarda a scorgere che le rane che mostrano più lungamente di scuotersi sono quelle collocate su i fianchi

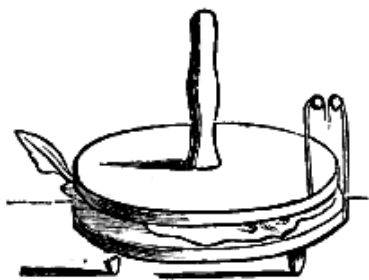
dell'animale, in prossimità al capo. In una parola i punti che conservano più lungamente la facoltà di far contrarre le rane, sono quelli che corrispondono a due organi particolari posti lateralmente e simmetricamente verso l'estremità cefalica del pesce. Quando si portano in contatto del dorso e del ventre d'una torpedine le due estremità in platino del filo di un galvanometro di una mediocre sensibilità, e s'irrita la torpedine perchè dia la scarica, si vede al momento in cui saltano le rane, deviar bruscamente l'ago del galvanometro, poi ritornare all'istante addietro, oscillare e fissarsi a zero, anche continuando a tener chiuso il circuito; ad una nuova scossa del pesce, l'ago devia come prima. L'uso di questo istromento ha servito a mostrare che nella scossa della torpedine la corrente è diretta nel galvanometro dal dorso

al ventre del pesce che cioè, il dorso rappresenta il polo positivo di una pila e il ventre il polo negativo. Se si tentano coi scandagli del galvanometro i diversi punti del corpo della torpedine nell'atto che dà la scarica, si vede, anche meglio che facendo uso delle rane, che da primo si hanno i segni della corrente stabilendo il circuito fra qualunque dei punti della schiena e del ventre, e che quando l'animale s'indebolisce convien toccare i punti che corrispondono ai così detti *organi elettrici* della torpedine per avere i segni della corrente. È curioso che toccando nello stesso tempo due punti della stessa faccia, dorsale o ventrale, di uno degli organi, si hanno segni di corrente, però più deboli assai di quelli che si hanno stabilendo il circuito fra le due opposte faccie. Perchè la deviazione avvenga toccando coi scandagli del galvanometro due punti appartenenti alla stessa faccia del pesce, è necessario che uno dei scandagli tocchi i punti prossimi alla periferia dell'organo e l'altro scandaglio il punto all'incirca diametralmente opposto al primo. Allora si hanno i segni della corrente e si trova questa sempre diretta nel galvanometro dallo scandaglio più prossimo alla linea mediana dell'animale a quello più lontano dalla medesima. Si ottengono pure i segni della corrente al galvanometro tenendo uno degli scandagli in contatto della superficie ventrale o dorsale d'uno degli organi e infiggendo l'altro scandaglio nell'interno dell'organo stesso; la corrente si mostra costantemente diretta dallo scandaglio che tocca la superficie dorsale o che vi è più prossimo, all'altro scandaglio.

Se in luogo del filo del galvanometro, si adopera un filo egualmente metallico, una porzione del quale sia avvolta a spirale, e se colle estremità di questo filo si toccano le due faccie della torpedine, si avrà magnetizzato dalla scossa l'ago d'acciajo che si è precedentemente messo nella spirale. Qualunque sia la grossezza del filo della spirale, la lunghezza del circuito metallico, il diametro della spirale stessa, la lunghezza e la grossezza dell'ago d'acciajo, il suo grado di tempra, il senso del magnetismo prodotto dalla scarica della torpedine, è costante.

Disponendo sulle due faccie del pesce collocato sopra un piano isolante, due dischetti di platino l'uno sul dorso, l'altro sul ventre, mettendo su questi due dischi due altri dischi di carta inzuppata di una soluzione di idriodato di potassa e chiudendo infine il circuito, mettendo questi dischi in comunicazione con un filo di platino, non si tarda a vedere, dopo un certo numero di scariche fatte dare dal pesce, che intorno all'estremità del filo di platino toccante il disco di carta posato sul platino in contatto del ventre, si fa una macchia d'un colore giallo-rossastro. Un egual colore, benchè più debole comparisce sulla faccia della carta posata sul platino in contatto del dorso. Il liquido che inzuppa la carta è dunque scomposto dalla corrente elettrica della torpedine, e l'iodio apparisce al polo positivo.

Si può anche giungere a veder la scintilla nell'atto della scarica della torpedine, e l'apparecchio adoperato a questo fine è assai semplice. Si colloca la torpedine colla sua pancia o colla sua



schiena sopra un largo piatto metallico, come sarebbe lo scudo di un elettroforo ben isolato e si posa sull'altra faccia del pesce un piatto simile tenuto con un manico isolante.

Ciascuno dei due piatti è munito d'un filo metallico, sulle estremità superiori di questi due fili sono attaccate con gomma due foglioline d'oro che vengono così a pendere in basso. Si dispongono i due piatti in maniera che le due foglioline sieno in grande prossimità. Convien scegliere per questa esperienza una torpedine vivace più che sia possibile. Comprimendola col piatto superiore, e cercando nel tempo stesso di condurre le due foglioline d'oro a contatto, non è raro il veder brillare la scintilla fra le medesime. È naturale che il fenomeno sia difficile a scorgersi, giacchè convien cogliere il momento della scarica e combinare in questo momento una tal distanza fra le foglie d'oro, perchè la corrente possa produrre la scintilla.

Tutti i fenomeni della scarica o scossa della torpedine sono dunque dovuti a una corrente elettrica. L'apparecchio da cui que-

sta corrente è prodotta consiste in due organi particolari, chiamati *organi elettrici della torpedine*; le due faccie opposte di questi organi mostrano stati elettrici contrarii; la faccia dorsale è positiva, la faccia ventrale è negativa. La torpedine dà volontariamente la scarica, ed ogni esterna irritazione non agisce sull'organo elettrico che per l'intermezzo della volontà dell'animale e di fatti, siccome la scarica passerebbe attraverso l'animale stesso se non vi fossero archi esterni e conduttori per riceverla, ne viene che l'animale o non ne dà o cessa immediatamente di darne, quando non è toccato ed è fuori dell'acqua, o quando è toccato da corpi coibenti. Non è perciò a caso che la natura dotò d'una funzione elettrica gli animali che vivono in un liquido conduttore.

Le proprietà della corrente della torpedine sembrano avvicinarsi più tosto a quelle della corrente elettrica propriamente detta, che a quelle della scarica della bottiglia.

Esaminiamo ora la scarica della torpedine come funzione fisiologica e per conseguenza vediamo quale influenza vi hanno le parti diverse dell'organo stesso, quelle che lo circondano o che vi sono in qualche modo in rapporto, non che le circostanze che operano sullo stato di vita dell'animale elettrico.

Se si ha cura di operare rapidamente sopra una torpedine assai vivace asportando uno dei suoi organi, separandolo così dalle cartilagini, dagli integumenti che lo coprono e lo circondano, e

solo lasciando intatti i grossi tronchi nervosi che vi si distribuiscono, si scuopre facilmente che tutte le suddette parti, integumenti, cartilagini ec. non influiscono sulla scarica.

Si cuopra infatti quest'organo così separato dalla torpedine con rane preparate, vi si applichino i scandagli del galvanometro, sopra e sotto, e si vedrà irritando i nervi in un modo qualunque, scuotersi le rane, deviar l'ago, indicando una corrente che va al solito nel galvanometro dalla faccia dorsale alla ventrale dell'organo.

Così operando si arriva ad un altro ben curioso risultamento, che è quello di ottenere la scarica ora da una porzione ora dall'altra dell'organo elettrico su cui si esperimenta: basta perciò di irritare separatamente ognuno dei nervi dell'organo stesso e si vedrà che non tutte le rane stesevi sopra si contraggono, ma alcune sole, quelle cioè che occupano lo spazio in cui si distribuisce il nervo irritato.

Tali scariche però non durano che pochi istanti. Se però si usa per irritare il nervo la corrente elettrica, fatta passare pel nervo stesso, le scariche dell'organo così separato, continuano un certo tempo. La corrente elettrica che passa pei nervi dell'organo elettrico della torpedine agisce colle stesse leggi cui vedremo obbedire nella sua azione sui muscoli. La corrente elettrica all'istante in cui comincia a passare nel nervo dell'organo elettrico della torpedine, eccita la solita scarica: continuando a passare, la scarica non continua e si ottiene di nuovo allorchè la corrente cessa.

Finchè l'organo è molto fresco e appena separato dall'animale vivo, gl'effetti descritti appartengono alla corrente *diretta* nel senso della ramificazione del nervo, come all'*inversa*. A misura che si indebolisce l'azione della corrente, i fenomeni cangiano, cioè la corrente diretta eccita la scarica al solo suo entrare e l'inversa al solo cessare. Lo stesso vedremo avvenire allorchè la corrente agisce sui nervi del moto ed eccita la contrazione nei muscoli.

Vedesi ancora, che a misura che la vitalità dell'organo elettrico separato si v'è estinguendo, perchè la corrente applicata sui nervi vi ecciti la scarica, conviene agire sopra dei punti sempre più prossimi alle loro estremità.

Ne viene anche da questi fatti che la circolazione sanguigna non è direttamente necessaria alla scarica elettrica, perchè sussiste nell'organo separato e di certo vuotato di sangue e in cui la circolazione non si fa più.

Quanto al parenchima dell'organo stesso, si è vista la scarica continuare anche dopo averlo trafitto, tagliato in più sensi, purchè si conservasse unito alla torpedine: cessava però di agire se o immergendolo nell'acqua bollente o col contatto d'un acido, si era coagulata l'albumina che in gran parte lo compone.

Risulta da questi fatti provata l'influenza della volontà dell'animale sulla scarica esercitata per mezzo dei nervi che vanno all'organo.

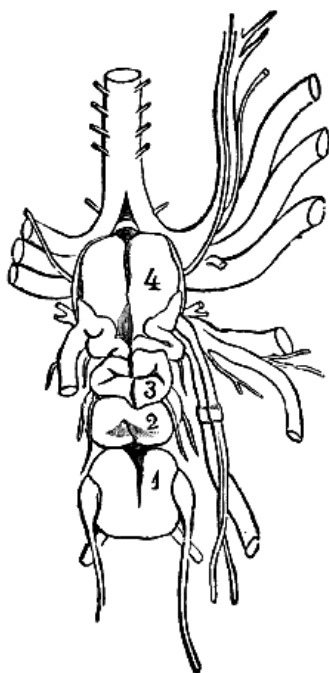
Questi nervi non sono dunque nè di senso nè di moto; sono nervi che non hanno altra funzione che quella di far agire l'organo in cui si distribuiscono, di eccitarlo alla sua funzione.

Era importante di studiare l'influenza che il cervello della torpedine esercita sulla scarica. Ho scoperto perciò col taglio orizzontale della cassa aponevrotica, il cervello in una torpedine viva, ho disposte le rane preparate e il galvanometro, onde scoprire quando accadeva la scarica e come.

Se si irritano i primi lobi del cervello (i lobi olfattori) non v'è

scarica: i lobi ottici, il cervelletto, si conducono egualmente. Queste tre prime protuberanze del cervello possono esser tolte, e la torpedine può ancora dare la scarica.

Non rimane più che un quarto lobo che ho chiamato *lobo elettrico*: questo non appena è toccato che le scariche sopravven- gono, e secondo che si tocca la sua parte sinistra o la destra, l'organo sinistro o il destro dà la scarica. Si possono togliere tutti gl'altri lobi del cervello e la funzione elettrica si conserva: il



quarto lobo tolto, lasciati gli altri, la funzione elettrica dell'animale ha cessato per sempre.

Ciò che vi è anche di più curioso si è, che se, mentre la torpedine ha cessato di dar scariche, s'irrita il lobo elettrico queste si rinnovano, e allorchè si ferisce, se ne ottengono ancora fortissime le quali ho visto in qualche caso, raro sì, esser dirette in senso inverso della scarica ordinaria.

Per compier ciò che riguarda lo studio della torpedine mi rimane a dirvi che questo pesce cessa di dare scariche tenuto nell'acqua fredda a zero o poco sopra, ma che poi la ripiglia rimessa nell'acqua a 15.° o 20.° C, e che queste alternative si possono ripetere più volte sullo stesso individuo.

Nell'acqua calda a circa 30.° la torpedine cessa presto di vivere, e muore dando un gran numero di scariche violente.

Allorchè s'irrita spesso, tenuta nell'acqua, specialmente comprimendola sopra gl'occhi, dà un gran numero di scariche e poi cessa di darle, anche irritata: lasciata in riposo riprende dopo qualche tempo la sua proprietà.

I veleni narcotici, la stricnina, la morfina a grandi dosi, uccidono presto la torpedine facendole dare molte scariche ed intense: a piccola dose portano la torpedine in quello stato di sopra-eccitamento, nel quale la più piccola irritazione basta a farle dare la scarica. In questo stato messa sopra una tavola, ho visto che bastava dare un colpo sulla tavola, perchè la scossa avesse luogo. Toccata alla coda, subito succede la scarica, ma se allora

le si taglia la spina, i contatti al di sotto del taglio, non eccitano la scarica. È dunque una scarica prodotta per azione riflessa sulla midolla spinale.

Le analogie fra la contrazione muscolare e la scarica della torpedine sono complete: tuttociò che distrugge, accresce, modifica l'una, agisce egualmente sull'altra.

Del gimnoto, altro pesce elettrico, che si trova in alcuni laghi delle Indie non posso dirvi che poche cose, giacchè assai poco fu studiato. Duolmi di non potervi qui leggere un lungo passo dell'opera del celebre Humboldt, in cui si descrive la caccia che fanno gl'Indiani delle anguille elettriche. Essi cacciano a forza, cavalli e muli nei laghi limacciosi in cui vivono i gimnoti: questi cominciano a lottare dando fortissime e numerosissime scariche sui cavalli e sui muli, e non è raro che qualcuno di questi perisca nel conflitto. Dopo una lunga battaglia, i gimnoti stanchi vengono galleggianti sull'acqua, avvicinandosi alla spiaggia; allora gl'indiani scagliando su di essi uncini legati a corde, riescono a tirarne qualcuno fuori dall'acqua. Le osservazioni di Humboldt hanno provato che le scariche del gimnoto accadono, come per la torpedine, senza la necessità d'alcun movimento muscolare nell'animale, e che tolto il cervello la scarica manca quantunque s'irriti la midolla spinale. Rimarrebbe a studiarsi, meglio che non si è fatto finora, qual può esser l'azione delle diverse parti del cervello sulla scarica. Il modo con cui si fa la pesca dei gimnoti basta a provare che la sua scarica è volontaria, e che s'indebolisce

una tal funzione rinnovandola spesso e che si ristabilisce col riposo.

Faraday, che ha potuto studiare un gimnoto giunto vivo a Londra, è riuscito ad ottenere dalla scarica elettrica di questo pesce tutti i fenomeni della corrente elettrica, cioè la scintilla, la decomposizione elettrochimica, l'azione sull'ago magnetico ec. Faraday ha cercato di paragonare la scossa del gimnoto ad una batteria di boccie di Leyda caricata a saturazione. Secondo questo Fisico la scarica del gimnoto non sarebbe diversa da quella d'una batteria di 15 bottiglie di 3500 pollici quadrati inglesi di superficie armata. Stando a questo numero non può più sorprendere che qualche cavallo resti ucciso dalle ripetute scariche del gimnoto.

Il risultato il più importante a cui è giunto Faraday è quello della direzione della scarica di questo pesce. L'estremità cefalica è il polo positivo e la caudale è il negativo; di modo che la corrente va nel galvanometro dalla testa alla coda dell'animale. Questa disposizione ci spiega l'artificio che si è visto adoprar dal gimnoto allorchè dà la scarica per uccidere un pesce; egli s'incurva, a modo che la preda rimanga nella concavità formata dal suo corpo.

Nulla si sa degli altri pesci elettrici di cui non ho potuto dirvi che i nomi.

In che consiste l'organo dei pesci elettrici, qual è l'apparecchio elettrico che ha analogie con quest'organo? È assai difficile di rispondere adeguatamente a queste dimande. L'organo elet-



trico della torpedine si compone d'un certo numero 400 a 500, di masse prismatiche simili a grani di riso addossati l'uno all'altro, e composte ciascuna di altrettante vescichette sovrappo-

ste l'una all'altra. Da questa disposizione risulta l'apparenza di un favo che ha tutto l'organo, e quella che ha poi ognuno dei prismi che lo compone di tanti diafragmi che li dividono normalmente al loro asse e che in realtà non sono altro che le pareti aponeurotiche addossate delle masse vescicolari prossime. Ramificazioni nervose e fibre muscolari si distribuiscono sopra queste pareti o diafragmi. Le ramificazioni nervose risultano da fibre elementari distribuite a maglia sulle pareti delle vescichette e terminate in anse nel lobo elettrico, e probabilmente anche in anse sulle pareti delle vescichette. In tal guisa i rami nervosi dell'organo formerebbero tanti circuiti chiusi, ognuno dei quali avrebbe un'ansa nel lobo cerebrale e un'altra nella parete della vescichetta dell'organo. Traggo queste notizie dalle importanti ricerche fatte dal mio amico prof. Savi, e che si trovano in una Memoria pubblicata nel mio Libro succitato.

La grande somiglianza, più precisamente l'identità di struttura di tutte queste vescichette conduce ad ammettere che esse sono il vero organo elementare dell'apparecchio elettrico, lo che pure è provato dall'identità della loro composizione, giacchè tutte sono piene d'uno stesso liquido denso formato di circa $\frac{9}{10}$ d'acqua e di $\frac{1}{10}$ d'albumina e di poco sal marino. Che ognuna di queste vescichette sia l'organo elementare dell'apparato elettrico lo prova pure direttamente l'esperienza. Ho preso sopra una torpedine viva un pezzetto d'uno dei suoi prismi, grosso all'incirca come la testa d'un grosso spillo, v'ho steso sopra il nervo della rana galvanoscopica, ed ho visto spesso che ferendo il pezzetto del prisma con un vetro, o con un corpo aguzzo qualunque, avvenivano le contrazioni nella rana. Riflettete ora che ognuno dei prismi si compone di un grandissimo numero di vescichette o organi elementari, che Hunter ha contato 470 prismi in uno degli organi della torpedine, e intenderete che la scarica, dovendo essere proporzionale al numero delle vescichette, dovrà essere assai forte.

L'organo elettrico è dunque un vero apparecchio moltiplicatore.

Pensò il Volta che fosse una pila, messa in attività dall'animale, comprimendo il suo organo, stabilendo così i contatti. Ma nulla di tutto questo fu provato dalle sperienze che abbiám riferite. Si è detto in questi ultimi tempi che l'organo elettrico era analogo ad una spirale elettro-magnetica, che la scarica era un

fenomeno d'*extracorrente* o d'*induzione*. Passo sopra ad un grandissimo numero di opposizioni che si posson fare a questo confronto, basate sulla troppa differenza di disposizione, di conducibilità, che v'ha fra una spirale elettro-magnetica e l'organo della torpedine. Ciò che più importa è che manca la prova, essenziale in questa ipotesi, che l'azione nervosa si trasmuti in elettricità. Voglio mostrarvi qui un fatto che, quantunque ancora molto oscuro, non manca d'essere importante e che può condurci nella via della dimostrazione che si cerca. Stendo il nervo d'una rana galvanoscopica molto vivace e recentemente preparata su i muscoli delle coscie d'una rana preparata all'uso di Galvani. Ciò fatto, irrito in un modo qualunque i nervi spinali di questa seconda rana, e veggo che mentre i suoi muscoli si contraggono, si contrae anche la gamba della rana galvanoscopica che tocca l'altra col solo suo nervo. E non è già che una porzione di corrente elettrica della coppia adoperata per eccitare la contrazione nei muscoli della rana intera, giunga al nervo della rana galvanoscopica; giacchè questo accade anche senza servirci della coppia voltaica, e qualunque sia il mezzo con cui si svegliano le contrazioni. Ho osservato che l'azione non si trasmette più se fra il nervo della rana galvanoscopica e la superficie muscolare su cui riposa si trova un sottilissimo strato di sostanza coibente o d'un corpo buon conduttore, come sarebbe una foglia d'oro, mentre l'azione si trasmette attraverso d'uno stato simile d'un conduttore di seconda classe.



Questo fatto sarebbe presto spiegato dicendo che nella contrazione muscolare v'è sviluppo d'elettricità; e poichè il fatto or ora descritto non avviene già adoperando le sole rane, ma avviene coi muscoli in contrazione di tutti gli animali, potrebbe dirsi, che nell'atto della contrazione stessa, la corrente elettrica muscolare si svolge in maggior quantità a modo da non potersi più scaricare nelle parti interne del muscolo, e che una porzione circola passando alla superficie. Si doveva però prima d'accogliere questa congettura, ricorrere all'esperienza, e vedere se v'era aumento della corrente muscolare, o della corrente che chiamiamo *propria della rana*, di cui in breve vi parlerò, nell'atto della contrazione muscolare. Le difficoltà che s'incontrano per giungere a risultati esatti in tali ricerche sono grandi, e vi confesso che malgrado molti sforzi, non ho ancora la persuasione di esservi riuscito, nè la speranza di aver raggiunto lo scopo.

Ma poichè qualche volta dobbiam pur contentarci di congetture, facciamone una. Ogni volta che l'irritazione nervosa giunge ad ognuna delle vescichette elementari dell'organo della torpedine, le due elettricità si separano. Il calore che agisce sulla tormalina, sopra alcuni metalli cristallizzati, separa le due elettricità:

l'azion chimica fa altrettanto, le azioni meccaniche, confricazione, pressione, agiscono ugualmente; sia così dell'irritazione nervosa nella vescichetta dell'organo elettrico. L'identità di struttura e di disposizione d'ognuna delle vescichette farà che ognuno dei prismi divenga, per il solo istante piccolissimo della durata dell'irritazione, una pila, e quindi l'organo sarà un apparecchio moltiplicatore che durerà ad esser carico un solo istante, essendo in mezzo a corpi conduttori. La scarica si farà e al di fuori nel mezzo circostante, e in parte anche nell'interno dell'organo e tanto più fuori quanto più questo è miglior conduttore dell'interno dell'organo; si noti che abbiamo provato coll'esperienza esservi nell'interno questa scarica.

Ne verrebbe da questa ipotesi che gli stati elettrici contrari dovrebbero sempre trovarsi alle estremità dell'asse lungo dei prismi, ed è un osservazione di molta importanza e che appoggia in qualche maniera queste idee, quella che mostra le posizioni rispettive dei poli nel gimnoto corrispondere a quelle dei poli della torpedine, quanto all'estremità dei prismi. Nel gimnoto i prismi stanno distesi lungo l'asse del corpo dell'animale, cioè vanno dalla coda alla testa o viceversa; nella torpedine invece i prismi hanno le loro estremità in contatto del dorso e della



pancia. Or bene: nel Gimnoto i poli son la coda e la testa, e nella torpedine si trovano sul dorso e sul ventre.

È d'uopo che vi parli d'un altro fenomeno elettrico che presenta una qualche analogia coi fenomeni che abbiamo riconosciuto nei pesci elettrici. Parlo della *corrente propria della rana*.

Scuoprì il Galvani, e tutti i Fisici poterono osservare dopo di lui, che una rana preparata alla sua solita maniera si contrae, allorchè si fanno venire a mutuo contatto i suoi nervi lombari con i muscoli della coscia o della gamba. Il Nobili studiò il primo questo fenomeno col mezzo del galvanometro. Eccovi l'esperienza fondamentale del Nobili. Una rana preparata al modo solito si colloca in maniera tra due bicchierini contenenti acqua distillata, che i nervi lombari da una parte e le gambe dall'altra peschino nel liquido. Disposte così le cose si chiude il circuito immergendo nei due bicchierini le due estremità in platino del filo galvanometrico. Osservate l'ago, devia e giunge dallo zero a 5°, a 10° ed anche a 15°; notate che la direzione della deviazione ci indica una corrente che v'è nella rana dalle gambe al nervo, ossia dalle gambe alla parte superiore dell'animale.

Questi segni della corrente aumentano, se avvece di servirmi d'una sola rana, ne dispongo molte a pila.

Questa disposizione è facilissima a concepirsi. Sopra questa tavola verniciata, di cui mi sono servito parlandovi della corrente muscolare, colloco queste rane preparate in modo che i nervi della prima tocchino le gambe della seconda, i nervi di questa le

gambe della terza ec. Ho così una pila, una di cui estremità è formata dalle gambe, l'altra è costituita dai nervi. Fò pescare i due poli della pila di rane nelle due cavità della tavola che contengono acqua leggermente salata, oppure acqua distillata e nelle quali tuffo i due estremi del filo del galvanometro. Vedete l'ago deviare dallo zero, ed indicarvi, come nell'esperimento del Nobili, l'esistenza d'una corrente che va dalle gambe ai nervi in ciascuna delle rane che compongono la pila. Questo sperimento, che ho avuto luogo di ripetere e variare in mille modi diversi, ci fa conoscere essere la deviazione dell'ago proporzionale al numero delle rane disposte a pila, farsi maggiore adopting invece d'acqua distillata una soluzione salina, una soluzione alcalina, e molto più una soluzione acida. Ma la direzione della corrente è sempre costante qualunque sia il liquido impiegato, cioè va sempre dai piedi alla parte superiore della rana.

Ripetendo gl'esperimenti or ora fatti osserverete, che nel tempo in cui il galvanometro indica la presenza e la direzione della corrente elettrica, le rane si contraggono.

Queste contrazioni sono le stesse che otteneva il Galvani. Si ottengono desse semprechè si chiuda il circuito con un qualunque corpo conduttore il quale da una parte comunichi coi nervi, dall'altra coi muscoli dell'animale, come sarebbero uno stoppino di cotone, o un pezzo di carta bagnati nell'acqua, od una massa liquida conduttrice qualunque.

Questa corrente, che fu chiamata *corrente della rana*, e da me *corrente propria della rana* non si è riscontrata fin qui che in questo solo animale.

Ho voluto cercare quale delle parti del membro inferiore della rana è necessaria alla produzione della corrente, o quale è la loro diversa azione sulla corrente propria. Vi farò una sola esperienza che risolverà queste questioni.

Eccovi due pile opposte l'una all'altra e ciascuna delle quali è dello stesso numero d'elementi. Una di queste pile è di sei rane preparate alla solita maniera del Galvani: l'altra pila è di sole sei gambe di rana, ma senza coscie e nervi spinali. I sei elementi dell'una toccano i sei dell'altra, ma le disposizioni degli elementi dell'una sono opposte a quelle degli elementi dell'altra; a modo che in mezzo si toccano i nervi dall'una parte e l'estremità superiore della gamba dall'altra. È così che le due pile sono opposte. Tocco coi capi del filo del galvanometro le due estremità delle due pile opposte, e non ho segno notabile di corrente differenziale.

La corrente propria della rana dunque ha per elemento animale la sola gamba della rana.

Nulla di più singolare d'un tal fenomeno, sul quale non mi è neppur dato di crearmi un ipotesi, di sognare una spiegazione. Nei pesci elettrici v'è un organo particolare di cui la funzione eccitata dall'azione del sistema nervoso, consiste nel produrre elettricità. Nella gamba della rana non apparisce una struttura

particolare; la sua corrente si sottrae all'influenza del sistema nervoso.

Fra le produzioni d'elettricità dei corpi viventi, credo giusto di dirvi ancora, che per quanto molti fra i tanti casi registrati sieno mal constatati e studiati imperfettamente, vi sono però esempi di fenomeni elettrici svegliati nell'uomo malato, che meritano fiducia e che hanno quindi grandissima importanza.

Non crediate già che io voglia qui parlarvi dei segni di elettricità ottenuti in certi casi nello svestirsi d'una calza di seta o della camicia, fenomeni che sono qualche volta citati come prove dell'elettricità animale e che ognuno di voi sa esser prodotti della sola confricazione: intendo parlarvi del caso celebre avvenuto, sono alcuni anni agli Stati Uniti, di una Signora che dava scintille elettriche sui corpi conduttori, allorchè era isolata. Assistevano al caso, e lo hanno riferito, uomini competenti e degni di fede.

LEZIONE XI.

Azione fisiologica della forza di gravità, della luce, del calorico.

Abbiamo parlato fin qui della produzione del calore, dell'elettricità, della luce nel seno dei corpi organizzati viventi; dobbiamo ora occuparci dello studio dell'azione di queste forze su questi corpi.

Credo inutile di dirvi che per azione della gravità su i corpi viventi non intendo qui quella che dessa esercita sopra tutti i corpi in generale, e per cui questi abbandonati a sè stessi cadono alla superficie della terra, premono sugli appoggi, si reggono in equilibrio quando il loro centro di gravità è sostenuto. È questa l'azione generale della gravità cui obbediscono gli animali e i vegetabili, siano vivi o morti, come le pietre e i metalli.

Nella seconda parte di questo Corso vedremo più particolarmente, parlando della meccanica e dell'idraulica animale, qual sia l'influenza che ha la gravità nei movimenti dei solidi e dei liquidi animali.

È di un solo caso speciale che presentano i vegetabili che io voglio parlarvi in questa Lezione, nel quale è impossibile di non scorgere l'effetto della gravità.

In generale tutti i germi dei vegetabili si sviluppano, mostrando nelle radici la tendenza a discendere, nel caule la tendenza a salire. L'esperienza ha provato che non è l'umidità del

terreno, non l'azione della luce o dell'aria atmosferica sul caule e sulle foglie, che cagionano questa opposta tendenza nello sviluppo della radice e del caule. La radice di una pianta continua a scendere, e il caule a salire, benchè l'umidità e il contatto del terreno siano portati artificialmente più tosto sul caule, che sulla radice, e benchè la luce agisca più su questa che sul caule. Dobbiamo a Knight alcune ingegnose esperienze le quali, se non hanno intieramente svelato questo mistero, hanno di certo provato l'esistenza d'una delle cagioni cui è dovuto un tal fenomeno. Hunter il primo facendo ruotare intorno ad un asse orizzontale un barile pieno di terra nel cui centro erano alcune fave, vidde, continuando per molti giorni la rotazione, che la radice si dirigeva sempre parallelamente all'asse di rotazione. Knight fissando convenientemente fagioli o fave sulla periferia d'una ruota, tenendo questi semi costantemente bagnati, e facendo girare rapidamente la ruota per molto tempo, ha veduto che, essendo la ruota verticale, le radici delle pianticelle si dirigevano verso la circonferenza, mentre i cauli siolgevano verso il centro; se la ruota era orizzontale, la radice ed i cauli si dirigevano obliquamente, fuggendo sempre le prime verso la circonferenza della ruota. Dal che ne viene, combinando questo secondo fatto di Knight col primo, che l'ordinaria direzione delle radici e dei cauli delle piante è influenzata dalla gravità, che la radice ed il caule si dirigono obliquamente nella seconda esperienza, per collocarsi

fra la posizione orizzontale che tende a dar loro la forza centrifuga e la posizione verticale che prenderebbero naturalmente.

Evidentemente i fatti di Hunter e di Knight non possono spiegarsi senza ammettere: 1.° uno stato più o meno liquido delle nuove parti della giovine pianta; 2.° una densità diversa nelle diverse parti di questa stessa pianta; 3.° che nelle radici si portano, almeno da principio, le parti più dense del nuovo vegetabile. Viene da ciò che nel caso della ruota verticale le parti della giovine pianta, risentendo la sola azione della forza centrifuga, si sviluppano avendo le loro parti più dense, ossia la radice, alla circonferenza, e che nella ruota orizzontale prendono una posizione intermedia fra quella dovuta alla forza centrifuga e quella che prenderebbero obbedendo alla sola gravità.

Dutrochet, senza negare l'influenza della gravità sulla direzione ordinaria della radice e del caule, ammette ancora una seconda cagione di questo fenomeno, dipendente dal disuguale sviluppo del sistema cellulare del caule e della radice, e dalla diversa turgescenza che l'endosmosi produce nelle cellule di questo sistema. Avremo occasione più opportuna di ritornare sopra questo soggetto.

Diciamo ora della luce.

Poco o quasi nulla sappiamo dell'azione della luce sugli animali. Edwards ha provato che le uova delle rane si sviluppano meglio esposte alla luce che nell'oscurità, e che la conversione

dei girini in rane si fa più presto e più completamente nella stessa circostanza.

I colori degli animali sono in generale tanto più vivi, quanto più l'azione della luce è intensa. Si è detto anche che la quantità d'acido carbonico esalato dalla cute d'un animale cresceva sotto l'influenza dei raggi solari. Ma intanto s'ignora quale specie di raggi, fra quelli che ci vengono dal sole, è cagione di questi effetti e non può dirsi per conseguenza se i medesimi siano dovuti all'azione chimica di alcuni di quei raggi.

L'azione della luce su i vegetabili è della massima importanza per la vita di questi esseri, ma tuttavia ancora oscura. È un fatto che la respirazione della pianta, cioè la scomposizione dell'acido carbonico operata dalle sue parti verdi, la fissazione del carbonio e l'esalazione dell'ossigeno non avvengono che sotto l'influenza della luce solare: invece nell'oscurità la pianta assorbe l'ossigeno, svolge acido carbonico. Alla luce i vegetabili si colorano, si induriscono i loro tessuti, mentre nell'oscurità si scolorano, s'allungano, si fanno flosci. Una luce artificiale molto viva agisce, benchè più debolmente, come la luce solare. Non abbiamo che un solo fatto che possa rischiarare in qualche modo questa singolare azione della luce su i vegetabili. Si è visto in questi ultimi tempi, facendo immagini col daguerrotipo, che le parti verdi dei vegetabili, come in generale tutti i corpi verdi, non si ottengono, lo che non avviene degli altri oggetti che hanno altri colori. E poichè è ben provato che la cagione della formazione delle immagini col

noto processo di Daguerre risiede nell'azione dei raggi chimici della luce solare, conviene ammettere, che le parti verdi del vegetabile assorbono questi raggi completamente. È quindi naturale il supporre che la produzione della materia verde nei vegetabili e la straordinaria proprietà di questa sostanza a scomporre sotto l'azione della luce l'acido carbonico, fissando il carbonio ed esalando l'ossigene, sia dovuta all'azione chimica di alcuni dei raggi solari. Quanto all'ossigene assorbito e all'acido carbonico esalato nell'oscurità dobbiamo credere, che questi effetti sieno indipendenti dallo stato di vita. Vedete però dal poco che ho potuto dirvi sopra un soggetto così importante, quanto ancora rimane a sapersi. Qual è realmente il principio chimico immediato che così agisce nelle piante, che è capace di un'azione chimica, la di cui intensità non ha esempio nelle affinità chimiche ordinarie le più forti? Qual parte ha l'organismo in questa azione? Ho provato ad esporre alla luce in un pallone pieno d'acqua acidulata con acido carbonico alcune foglie assai triturate, e non ho ottenuto traccia alcuna d'ossigene, mentre in altro simil apparecchio, in cui le foglie erano intatte, l'ossigene non tardò a mostrarsi. Vorrei però veder variate ed estese queste ricerche per ben stabilire l'influenza dell'organizzazione sulla respirazione vegetabile. Converrebbe anche sapere in quale stato si riduce il carbonio che rimane dalla scomposizione dell'acido carbonico, e se l'ossigene che rimane da questa scomposizione è immediatamente esalato del tutto, o se non lo è che in parte. Sono queste

alcune fra le molte questioni delle quali i Chimici ed i Fisiologi dovrebbero seriamente occuparsi.

Si è parlato in questi ultimi tempi dell'influenza dei diversi raggi dello spettro solare sulla germogliazione. Si è detto da alcuni osservatori che i raggi violetti e chimici la favorivano, da altri si è detto il contrario. Questa contraddizione ci mostra la necessità di nuove e più esatte ricerche. Non avendo agito coi raggi semplici dello spettro solare, ma invece con raggi colorati ottenuti dal passaggio della luce solare attraverso a vetri di diverso colore, non è difficile lo scorgere la cagione delle differenze trovate dai diversi sperimentatori. In generale un raggio che traversa un vetro colorato ordinario è lungi dall'esser privo da raggi di altro colore, diverso da quello che mostra.

Vi parlerò infine dell'influenza del calore sui corpi organizzati viventi.

La temperatura è forse la prima condizione dello stato di vita. Questo stato è difatti compreso fra certi limiti di temperatura al di là dei quali non vi è esempio di sviluppo e di conservazione di vegetabili o di animali. Possiamo ammettere, quanto a questo modo generale d'agire del calore, che la sua azione si spiega nella produzione dei fenomeni fisico-chimici che avvengono nel seno di tutti i corpi viventi.

Sappiamo oggi che tutte le azioni di contatto non avvengono che ad una data temperatura. Abbiamo visto in queste Lezioni in quanti fenomeni dei corpi viventi intervengono le azioni di

contatto, ed il poco che sappiamo sopra questo soggetto ci fa intravedere tutto quello che ancora ci rimane a sapere.

La fecondazione dei vegetabili, la germogliazione non s'operano senza calore, e le azioni di contatto v'intervengono. Chi oserebbe negare che nella fecondazione degli animali, in cui la temperatura è pure un elemento essenziale, non v'intervenga un azione di contatto?

Lo sviluppo di uno e più spesso di un gran numero di esseri, operato dall'azione di un corpo ben distinto da quello che si sviluppa, che basta alla sua funzione con una piccolissima quantità della sua sostanza, è qualche cosa d'analogo alle fermentazioni.

Indipendentemente da questa maniera generale d'agire del calorico sui corpi viventi, e su cui vi ho accennato alcune viste ipotetiche, dobbiamo studiare più particolarmente la sua influenza sugli animali.

È dal classico libro *De l'influence des agents physiques sur la vie* che trarrò le cognizioni le più importanti sopra questo soggetto. Edwards ha provato a sommergere nell'acqua di fiume naturalmente aerata diverse rane ed ha veduto che se la temperatura dell'acqua era a 0° questi animali vivevano per lo spazio di otto ore; alla temperatura di +10° non vissero che sei ore; a +16° due ore; a +22° da 70 a 35 minuti; a +32° da 30 a 12 minuti; e a +42° la morte era subitanea.

La grande influenza che piccolissime differenze di temperatura presentano sulla vita della rana non possono attribuirsi alla

diversa quantità d'aria che alle diverse temperature è sciolta nell'acqua. Si sa infatti che questa quantità varia pochissimo nelle diverse stagioni dell'anno, mentre abbiám visto che le differenze di temperatura delle diverse stagioni producono effetti distintissimi sulla vita delle rane sommerse nell'acqua.

Quanto più la temperatura del mezzo in cui questi animali vivono è elevata, tanto è più grande la quantità di aria che respirano; e quella che è disciolta ordinariamente nell'acqua, benchè rinnovata, non è sufficiente. Le rane non vivono sommerse nell'acqua che a temperature molto basse, altrimenti vengono alla superficie e respirano l'aria atmosferica. Anche i pesci presentano fenomeni simili a quelli che abbiamo notato nelle rane. Nei pesci sommersi in una quantità d'acqua aerata che non sia in contatto dell'atmosfera, la durata della vita si prolunga tanto più, quanto più è bassa la temperatura dell'acqua stessa.

Abbiamo veduto in un'altra Lezione verificarsi questa legge sulla torpedine, la quale immersa nell'acqua calda presto vi moriva, dando fortissime scariche, mentre viveva lungamente, dando poche e deboli scariche, nell'acqua fredda. La relazione trovata fra la respirazione e la temperatura del mezzo in cui vivono gli animali, di cui si è parlato, non è che una nuova prova della natura chimica di questa funzione.

L'uomo, ed i mammiferi in generale, possono sopportare temperature molto più elevate. È famosa l'osservazione di Tillet e Duhamel i quali videro una giovane rimanere per 12 minuti in

un forno in cui la temperatura fu da essi trovata di 128°C . Delaroché e Berger hanno introdotto conigli, gatti e diversi altri animali vertebrati in una stufa riscaldata da $+56^{\circ}$ a $+65^{\circ}$. Questi animali vi perirono dopo pochi minuti. I detti osservatori hanno conchiuso da un gran numero di esperienze, che i vertebrati esposti ad un'aria secca e calda a $+45^{\circ}\text{C}$. sono prossimi al limite di temperatura in cui è ad essi dato di poter vivere. Sembrerebbe dunque che per l'uomo solo questo limite sia più elevato; difatti, oltre al caso già citato, vi sono altre osservazioni, sull'esattezza delle quali non può cader dubbio. Dobson racconta d'un giovine che stette in una stufa a $+98^{\circ},88$ per 20 minuti, mentre il suo polso da 75 pulsazioni che dava ordinariamente per minuto, giunse a 164. Berger rimase per 7 minuti nell'aria a $+109^{\circ}$, e Blagden in quella a $+127^{\circ}$.

Non è più così se l'aria è allo stesso tempo riscaldata e umida. Lo stesso Berger, già citato, non resse più di 12 minuti in un bagno di vapore, la di cui temperatura erasi innalzata da $47^{\circ},25$ a $53^{\circ},75$. La temperatura che può sostenere un uomo immerso nell'acqua liquida e riscaldata è anche minore di quella che sopporta in un bagno di vapore. Vedremo fra breve le cagioni di queste differenze.

Era importante di ricercare le variazioni della temperatura propria degli animali esposti a diversi gradi di calore. Limitandosi alle ordinarie variazioni di temperatura proprie delle stagioni e dei climi, il calore del corpo umano è sensibilmente costante.

Francklin osservò per il primo che la temperatura del suo corpo era $35^{\circ},55$, mentre quella dell'aria era $37^{\circ},77$. Se ne concluse da ciò, che gli animali a sangue caldo hanno la facoltà di mantenersi a un grado di temperatura inferiore a quella del mezzo in cui si trovano. Conveniva però vedere se in mezzo a temperature molto più elevate di quella dell'uomo, la temperatura del corpo subiva variazioni. Delaroche e Berger viddero accrescersi di 5° la temperatura in uno di essi per esser stato otto minuti in una stufa calda a 80° . Ripeterono essi tali sperienze sopra mammiferi ed uccelli, e si assicurarono che l'esposizione di tali animali in un'aria secca e riscaldata grandemente produceva una elevazione nella loro temperatura, la quale però non poteva oltrepassare, senza produrre la morte, i 7° o 8° C.

Bastano le cognizioni elementari della Fisica a spiegarci gli effetti della temperatura esteriore sul calore degli animali. La formazione del vapore acqueo, il quale esce costantemente per la cute d'un animale, è una continua cagione di raffreddamento dell'animale stesso. Ecco perchè nell'aria molto calda e secca la temperatura dell'animale non s'innalza tanto, come quando quest'aria è carica di vapore. V'è in ogni animale una produzione continua di calore e una cagione costante di raffreddamento, e la sua temperatura si conserva, non risente gli effetti delle temperature esteriori molto elevate al disopra della propria, perchè la cagione del suo raffreddamento è tanto più energica, quanto è più alta la temperatura esteriore, e inversamente.

Edwards ha fatto un grandissimo numero di esperienze, affine di stabilire se v'era differenza nel raffreddamento indotto in un animale immerso nell'aria più fredda di esso, secondo che era umida o secca, e ne ha conchiuso che il raffreddamento era lo stesso nei due casi. Se si considera che l'aria umida conduce il calore meglio dell'aria secca, può spiegarsi questo risultato di Edwards dicendo, che il raffreddamento prodotto dalla più grande evaporazione nell'aria secca ha potuto esser compensato dal freddo dovuto al contatto dell'aria umida. V'è invece una differenza considerevole nel raffreddamento d'un animale, secondo che l'aria è agitata o calma. Nell'aria tranquilla e a una temperatura inferiore a quella del nostro corpo, noi perdiamo calore, per l'evaporazione, per il contatto dell'aria e per l'irraggiamento. La perdita per irraggiamento non è influenzata dalla natura e dalla presenza del gas, per cui l'agitazione del gas istesso non modifica questa perdita. Non è così della perdita che si fa per l'evaporazione e per il contatto dell'aria, la quale aumenta colla velocità del vento. Questi risultati sono evidentemente una conseguenza delle leggi fisiche del raffreddamento dei corpi per l'evaporazione. Parry racconta d'avere spesso sostenuta senza incomodo una temperatura di $17^{\circ},77$ C. sotto lo zero ad aria calma, mentre una brezza di $-6^{\circ},66$ gli era molestissima. Il chirurgo della celebre spedizione del capitano Parry racconta che ad aria calma la sensazione prodotta da una temperatura di $-46^{\circ},11$ non era diversa da quella di $-17^{\circ},77$ nel tempo di brezza. Ne viene

da questa osservazione che l'agitazione dell'aria produce una sensazione di freddo equivalente all'effetto d'un raffreddamento dell'aria di 29 gradi.

LEZIONE XII.

Azione fisiologica della corrente elettrica.

Vi parlerò in questa Lezione dell'azione fisiologica dell'elettricità. Non mi fermerò lungamente a dirvi degli effetti dell'elettricità statica sugli animali e su i vegetabili. Nei libri antichi di Fisica troverete riportati prodigi, effetti grandi, stranissimi, operati dall'elettricità statica sugli animali e sulle piante. Oggi però sono banditi totalmente dalla Scienza, poichè non vennero essi comprovati da più esatte osservazioni. Un animale, una pianta, isolati ed elettrizzati colla macchina elettrica, non hanno offerto fin ora nulla di diverso da quello, che in simili circostanze presenterebbero i corpi inorganici. Non è così dell'azione della corrente elettrica sugl'animali. Questo studio è della più alta importanza, e non vorrei che ne ignoraste le più piccole particolarità.

In un quaderno trovato fra i manoscritti di Galvani su cui è scritto dal Galvani stesso *Esperienze sull'elettricità dei metalli* colla data dei 20 settembre 1786 è riportato un fatto che ha certamente influito nell'avanzamento delle Scienze, quanto le scoperte di Galileo e di Newton. Consiste questo fatto nelle contrazioni che si eccitano in una rana di recente uccisa e preparata alla nota maniera del Galvani, allorchè con un arco composto di due metalli diversi se ne toccano i nervi ed i muscoli.

Non starò qui a dirvi come il Galvani interpretasse questi fatti, ammettendo un'*elettricità animale* che l'arco metallico non faceva che scaricare. Dopo che il Volta ebbe provato coll'elettrometro che nel contatto di due metalli eterogenei le due elettricità si separavano, non vi fu più chi credesse all'elettricità animale del Galvani, e si ammise generalmente che le contrazioni osservate nella rana dal Galvani erano l'effetto semplice dell'elettricità svolta dai due metalli e stimolante il nervo che traversava. Nelle Lezioni passate avete visto in che consista realmente l'elettricità animale e vi siete persuasi che non a torto il Galvani l'ammetteva, poichè molti dei fatti da lui scoperti sono dovuti certamente ad elettricità generata negli animali.

Le contrazioni che si eccitano nella rana o in un animale qualunque vivo o recentemente ucciso, allorchè una porzione d'uno dei suoi nervi è percorsa dalla corrente elettrica sviluppata dalla coppia voltiana, sono senza dubbio indipendenti da qualunque elettricità animale. È questo caso semplice dell'azione dell'elettricità sugli animali che cominceremo a studiare.

Nei primi tempi che succedono alle scoperte del Galvani e del Volta, ogni giornale, ogni libro parlava di fatti relativi a codesta azione. Le contorsioni, i salti che presenta un animale recentemente ucciso, assoggettato ad una corrente elettrica abbastanza forte, fecero quasi sperare esser giunta la Fisica a ridonare la vita. Naturalmente non durò e non poteva durare a lungo que-

sta illusione; la Scienza rientrò nei suoi limiti. Valli, Lehot, Humboldt, Aldini, Bellingieri, Marianini e Nobili in questi ultimi tempi, studiarono l'azione fisiologica della corrente elettrica.

Non posso qui citarvi tutte le loro esperienze e devo limitarmi ad esporvi questo soggetto, quale si trova nello stato attuale della scienza.

Scuopro in questo coniglio, che vedete stabilmente fissato colle sue quattro gambe sopra una tavola, il nervo sciatico di ambe le coscie e lo separo, per quanto è possibile, dalle parti circostanti, l'asciugo con carta senza colla e fo passare al di sotto del medesimo una striscia di *taffetà* gommato, in modo da isolarlo perfettamente dai sottoposti tessuti. Osservate cosa avviene allorquando fo passare lungo il nervo la corrente di una pila di 10 coppie applicandovi i due reoferi alla distanza di pochi centimetri l'uno dall'altro, in modo che la direzione della corrente sia diretta dalla parte centrale alla periferica del nervo. Al chiudere del circuito tutti i muscoli della coscia si contraggono, l'animale stride, incurva fortemente il dorso, agita le sue orecchie.

Questi stessi fenomeni si riproducono, se cambiando la rispettiva posizione dei reofori, faccio in modo che la direzione della corrente vada inversamente alla prima, cioè dalla parte periferica alla parte centrale del nervo.

Ciò che vedete avvenire al chiudere del circuito si ripete all'aprire del medesimo, cioè togliendo la comunicazione dei reofori col nervo, sia nel caso della prima direzione della corrente,

ossia della corrente *diretta*, sia nel caso della opposta direzione, ovvero della corrente *inversa*.

Mentre il circuito sta chiuso, qualunque sia la direzione della corrente, l'animale non mostra alcuno di questi fenomeni. Vedremo più innanzi in che consiste l'azione della corrente nel tempo del suo passaggio pei nervi.

Se la corrente è applicata al nervo in maniera da traversarlo, invece che percorrerlo, non si hanno nè contrazioni nè segni di dolore.

Ripetendo le sperienze riferite sopra diversi individui si trova in generale che i segni del dolore manifestati dall'animale sono più forti al cominciare della corrente inversa, e che le contrazioni le più forti si fanno vedere al cominciare della corrente diretta.

La prima azione della corrente elettrica su i nervi d'un animale vivo, come l'interrompersi della medesima, danno luogo alli stessi fenomeni, qualunque sia la direzione della corrente nel nervo; se non che si osserva costantemente, che le contrazioni le più violente sono quelle che si eccitano al cominciare della corrente diretta. Se un uomo, come osservò il Marianini, chiude il circuito d'una pila d'un certo numero di elementi, toccando con una mano un polo, coll'altra l'altro polo, la scossa la più forte la risente sempre nel braccio sinistro, in cui la corrente è diretta.

Continuando ad sperimentare sullo stesso animale non tarderete ad accorgevi, che i descritti fenomeni non hanno più luogo, e che dopo un certo tempo, tanto più breve quanto più è

intensa la corrente, l'animale non vi darà più indizio del passaggio della corrente stessa. Ma lasciando l'animale per qualche tempo in riposo, o raddoppiando la forza della corrente, si vedono riprodursi i primi fenomeni.

Studiando intanto i fenomeni che avvengono a misura che l'azione delle corrente sull'animale si prolunga prima di cessare del tutto i segni del passaggio della corrente stessa, osserverete che allorchè la corrente diretta è interrotta, le contrazioni dei muscoli inferiori, ossia di quelli collocati al disotto del punto cui è applicata la corrente, divengono più deboli, mentre che sussistono ancora nei muscoli del dorso e che persiste l'agitarsi delle orecchie e sovente il grido dell'animale. Quando questa corrente comincia, gli effetti sono limitati alle contrazioni dei muscoli inferiori. Nel caso della corrente inversa le contrazioni dei muscoli del dorso, i movimenti delle orecchie, e quasi costantemente il grido, hanno luogo al chiudere il circuito, mentre le contrazioni nei muscoli inferiori, si mostrano appena sensibili; al contrario all'aprirsi del circuito sussistono le contrazioni dei muscoli inferiori e intanto quelle del dorso e i movimenti delle orecchie sono scomparsi e l'animale non stride più. Malgrado un grandissimo numero di esperienze che ho potuto fare, mi sarebbe impossibile poter precisare in qual ordine cominciano a scomparire questi fenomeni.

Conviene dunque ridurre a due periodi l'azione della corrente elettrica che eccita i nervi d'un animale vivente: nel primo periodo l'eccitazione del nervo è trasmessa in tutte le direzioni, tanto verso la sua parte centrale, come verso la sua parte periferica, e ciò tanto al momento della sua prima azione, come al suo cessare ed indipendentemente dalla direzione della corrente; nel secondo periodo l'eccitazione del nervo si propaga verso la sua estremità periferica al cominciare della corrente diretta, e all'interrompersi della corrente inversa: al contrario l'eccitazione del nervo è trasmessa verso il cervello, allorchè la corrente diretta è interrotta o quando la corrente inversa comincia.

Posso esprimere questi risultati in termini più semplici: la corrente agisce nel senso della sua direzione quando comincia a passare per il nervo e nel senso contrario della sua direzione quando cessa di passarvi.

Passiamo ora a studiare come la corrente elettrica può produrre le contrazioni nei muscoli del dorso e della testa agendo, come negli esperimenti che avete visto, sopra un nervo che non si ramifica in questi muscoli, e come ci sia possibile, in opposizione alle idee generalmente ammesse, di darci ragione della contrazione muscolare prodotta da una eccitazione che opera in senso retrogrado sul nervo.

Se tagliate in un coniglio la midolla spinale trasversalmente, e fate passare per il suo nervo crurale una corrente elettrica, osserverete che le contrazioni si riducono ai muscoli che si trovano al

di sotto del punto ove venne tagliata la midolla spinale; e se tagliate la midolla spinale verso la sua estremità inferiore non vi sarà più contrazione alcuna nei muscoli posti superiormente al nervo eccitato.

I movimenti dunque eccitati nei muscoli collocati superiormente al nervo eccitato da una corrente elettrica, sono *movimenti riflessi*. L'eccitazione del nervo viene trasmessa alla midolla spinale, la quale per un'azione riflessa determina la contrazione nei muscoli che ricevono i nervi dalla medesima. Diremo perciò che la eccitazione del nervo, sul principio centripeta, si trasforma poi in una eccitazione centrifuga.

Abbiamo fin qui esposto le leggi dell'azione della corrente elettrica sopra i nervi d'un animale vivente; passeremo ora a parlare di quest'azione della corrente sopra gli animali uccisi di recente.

Operando colla corrente d'una sola coppia sopra conigli recentemente uccisi e preparati come nelle sperienze precedenti, si ha la contrazione dei muscoli inferiori al cominciare della corrente diretta e all'interrompersi della corrente inversa. Adoperando una corrente più forte si ottengono le contrazioni nei muscoli suindicati tanto al cominciare, quanto all'interrompersi della corrente, qualunque sia la direzione della medesima. Continuando a far passare la corrente per un certo tempo si termina col ottenere contrazioni al cominciare della corrente diretta, e all'interruzione della corrente inversa.

Si riesce in qualche caso e nei primi istanti del passaggio della corrente, a ottenere le contrazioni nei muscoli superiori ai punti del nervo eccitato, le quali presto cessano, e non si ottengono mai che con correnti molto intense ed agendo sopra animali recentissimamente uccisi e nei quali fu conservata l'integrità del sistema nervoso.

Questi fenomeni si verificano anche negli altri animali, e si mostrano distinti principalmente nella rana.

Eccovi una rana preparata alla solita maniera del Galvani e alla quale di più si sono tolte le ossa del bacino e le vertebre lombari: la rana così spaccata è messa a cavalcioni sopra due capsule piene d'acqua a pescarvi colle sue gambe. Immergendo i due reofori d'una pila di poche coppie nelle due capsule, vedrete da prima la rana sbalzar fuori, e se si ritiene con forza in posizione si hanno le contrazioni nelle sue gambe, tanto all'aprire quanto al chiudere del circuito, e perciò tanto nel membro in cui la corrente è diretta, quanto in quello in cui è inversa. Ma se si continua ad agire, non si tarda a scorgere il cambiamento descritto, cioè al chiudere del circuito un solo membro si contrae ed è quello in cui la corrente è diretta, mentre all'interrompersi si contrae l'altro, quello cioè in cui la corrente è inversa. Questa successione di fenomeni può ritardare più o meno ad apparire, e ciò secondo la forza della corrente e la vivacità dall'animale, ma non manca mai. Eccovi così la rana non solo sensibilissimo galvanoscopio, ma di più l'istrumento che fa in parte l'ufficio del galvanometro

potendo com'esso indicarvi la direzione della corrente che scorre una porzione di un suo nervo.

Il Marianini ha mostrato che le contrazioni all'aprirsi del circuito, ossia all'interrompersi della corrente, persistono tanto più lungamente quanto più prolungato fu il passaggio della corrente stessa.

Allo stesso illustre Fisico si deve pure l'osservazione, che le contrazioni si ottengono all'interrompersi del circuito, senza averle ottenute al suo chiudersi. Per realizzare questo sperimento basta di disporre una rana nel circuito di una pila, e di chiudere poi il circuito, toccando con una mano il polo della pila, e tuffando le dita dell'altra mano nel liquido in cui pesca una delle estremità della rana. Nel primo modo l'intensità della corrente che circola è debolissima e va sempre crescendo a misura che il dito s'imbeve del liquido; la rana non si risente perciò alla prima introduzione di una corrente debolissima.

Fin qui abbiamo agito colla corrente sui soli nervi degli animali ed abbiamo stabilite le leggi di quest'azione. Abbiamo pure studiato il caso della corrente che scorre lungo l'intero animale, percorrendo ad un tempo nervi e muscoli. Ci rimane a dire dell'azione della corrente sulla sola fibra muscolare.

Egli è facile di concepire quanto questa ricerca sia difficile, giacchè quando anche si sono tolti ad un muscolo tutti i filamenti nervosi visibili, compresi quelli che si scorgono colla lente, non si può mai sperare che ogni traccia di sostanza nervosa gli sia

così tolta. Nulla di meno è sul muscolo spogliato di nervi come si può, che ci è dato di agire, ed eccone i risultati.

Facendo passare la corrente di una pila di 20 a 30 coppie per un muscolo pettorale di un piccione, per esempio, spogliato dei suoi nervi, come si è detto, si vede sempre contrarsi il muscolo al chiudere del circuito. Questa contrazione però non dura che un istante e sembra consistere in una specie di raccorciamento delle fibre.

Qualunque sia la direzione della corrente relativamente a quella delle fibre muscolari, il fenomeno è sempre lo stesso.

Tenendo chiuso il circuito e continuando l'azione della corrente, il muscolo non si contrae più; riaprendolo, ricompaiono le contrazioni, che sono però più deboli che al cominciare della corrente, ed ove il passaggio della corrente sia stato prolungato per un certo tempo, al cessare della medesima, le contrazioni mancano interamente.

In generale si può stabilire, che le contrazioni al chiudersi del circuito persistono più a lungo di quelle che si producono all'aprirsi del medesimo, e che, aumentando l'intensità della corrente, spesso si vedono queste ultime ricomparire per qualche tempo.

Si può dunque conchiudere che la corrente elettrica che agisce sopra una massa muscolare, alla quale furono tolti i filamenti nervosi visibili, vi eccita una specie di contrazione, tanto al chiu-

dersi, come all'aprirsi del circuito, qualunque sia d'altronde la direzione della corrente relativamente a quella delle fibre muscolari, e che la contrazione all'aprirsi del circuito è la prima a scomparire.

Ponendo mente alla conducibilità dei muscoli per l'elettricità, maggiore di quella dei nervi, si può dire anche *a priori*, che data una corrente di una determinata intensità, le contrazioni da essa eccitate agendo direttamente sopra una massa muscolare fornita dei suoi nervi debbano essere più forti che quelle eccitate sulla stessa massa spogliata di nervi.

Mi rimane a dirvi di alcune cagioni e circostanze le quali modificano l'azione della corrente elettrica sopra i nervi ed i muscoli degli animali viventi o recentemente uccisi.

Le *alternative voltiane* di cui passo a parlarvi, sono dovute al passaggio stesso della corrente nel nervo. Ed eccovi in che modo. Se si mette a cavalcioni di due bicchieri contenenti acqua salata, una rana preparata alla maniera sopra descritta e si chiude nel circuito di una pila si comprende di leggieri essere uno dei suoi membri percorso dalla corrente inversa e l'altro dalla corrente diretta. Sapete ciò che avviene in questa esperienza, la rana si contrae tanto al chiudersi come all'aprirsi del circuito, ma dopo un certo tempo le contrazioni non sono ugualmente intense in ambe le gambe. Il membro percorso dalla corrente diretta si contrae maggiormente al principiar della corrente, quello percorso

dalla corrente inversa si contrae più fortemente all'aprirsi il circuito.

Lasciando chiuso per qualche tempo il circuito ed indi riaprendolo, avete visto già come non si manifestino più le contrazioni, e come non si rinnovino nemmeno al chiudersi di nuovo.

Ora se ridotto il ranocchio a questo stato, s'inverte la posizione dei reofori relativamente all'estremità del medesimo, oppure s'inverte la posizione della rana in modo che il membro che pescava in un bicchiere peschi nell'altro e viceversa, e si chiude nuovamente il circuito, vedonsi ricomparire le contrazioni, come si veggono ricomparire aprendolo di nuovo.

Se cessato che abbia la rana di contrarsi per il prolungato passaggio della corrente, la rimettete nella sua prima posizione, oppure cambiate di nuovo la posizione dei reofori, le contrazioni si riproducono come prima.

Il passaggio stesso della corrente è dunque una cagione che modifica l'azione della corrente sui nervi e sui muscoli degli animali. La corrente elettrica modifica l'eccitabilità dei nervi talmente da renderli dopo qualche tempo insensibili al suo passaggio in una data direzione, senza però renderli inetti a risentirne la sua azione allorchè s'inverte la sua direzione.

Queste alternative si ripetono più volte di seguito sullo stesso animale, e gli intervalli di tempo necessari fra l'un passaggio e l'altro onde prodursi il fenomeno, dipendono dall'intensità della corrente e dalla vivacità del animale stesso.

V'ha un'altra cagione d'indebolimento dell'eccitabilità del nervo al passaggio della corrente e che è indipendente dalle alternative voltiane. Se si fa passare una corrente per il nervo d'una rana preparata alla maniera di Galvani e se ne prolunga l'azione per qualche tempo, si vedranno finalmente cessare le contrazioni, sia al chiudersi come all'aprirsi del circuito; ma se si applicano i reofori ad una porzione del nervo più lontana dal cervello di quello lo sia la prima porzione, su cui si ha agito da principio, si vedranno tosto ricomparire le contrazioni secondo le leggi superiormente esposte. Scuoprite una nuova porzione di nervo sempre più lontana dal cervello ed otterrete gli stessi effetti. Si direbbe dunque che l'eccitabilità del nervo a produrre la contrazione per la corrente elettrica, va ritirandosi verso la parte sua periferica mano a mano che la sua vitalità va perdendosi.

Allorchè si opera nel modo or ora indicato sopra un animale vivo si vede, che i segni del dolore manifestati dal medesimo quando su i suoi nervi agisce una corrente elettrica, si ottengono se si agisce sopra parti del medesimo sempre più vicine al cervello, quanto più la sua vitalità s'indebolisce.

Era importante esaminare l'azione della corrente sugli animali avvelenati. A questo fine ho fatto un gran numero di sperimenti dei quali vi dirò i principali risultamenti.

I metodi d'adoperarsi per conoscere l'effetto che i diversi veleni producono sull'eccitabilità dei nervi al passaggio della corrente elettrica possono ridursi a quello che consiste nel tener

conto del numero delle coppie voltaiche necessarie ad eccitare le contrazioni nelle rane avvelenate e nelle altre lasciate intatte, o meglio assai a quello che consiste nel paragonare il tempo necessario perchè il passaggio d'una data corrente distrugga totalmente l'eccitabilità dei nervi in un'animale avvelenato ed in un altro ucciso nel modo ordinario.

Gli animali avvelenati nell'idrogene, nell'azoto, nell'acido carbonico, nel cloro, ed anche nell'idrogene solforato non presentano diversità sensibile nel loro grado d'eccitabilità alla corrente elettrica, da quello degli altri animali che non provarono l'azione di questi gas. Non così può dirsi di quelli animali uccisi coll'acido idro-cianico o con un certo numero di scariche elettriche d'una grande batteria fatte passare attraverso la midolla spinale. In questi casi la corrente d'una coppia sola ed anche d'un certo numero di coppie applicate su i nervi dell'animale, o non eccita alcuna contrazione, o bastano pochi secondi di passaggio della corrente per il nervo, perchè venga distrutta affatto le sua eccitabilità. Intanto però la stessa corrente applicata ai soli muscoli vi sveglia contrazioni abbastanza sensibili, ciò che prova, come già vi dissi, doversi ammettere nella fibra muscolare la proprietà a contrarsi sotto il passaggio della corrente indipendentemente dal nervo.

Mi resterebbe a dire delli effetti della corrente elettrica sugli animali narcotizzati, ma di questi credo più opportuno parlarvene a proposito degli usi terapeutici della corrente elettrica.

Fra le cagioni che modificano l'azione della corrente elettrica v'è infine la legatura del nervo. Scuopro ed isolo sopra un coniglio il nervo crurale ed alla metà circa del nervo scoperto fo una legatura. Ho cura nello stringere il nodo d'arrestarmi al momento in cui veggo cominciare le contrazioni nella gamba; allora applicando al disopra della legatura cioè verso il cervello, i due reofori d'una pila ad una certa distanza fra loro, ottengo le contrazioni del dorso e i segni del dolore, tanto all'aprire che al chiudere del circuito, sia colla corrente diretta, sia coll'inversa. Poco dopo questi effetti si limitano al cominciare della corrente inversa e al cessare della corrente diretta. Se poi applico i due reofori al disotto della legatura, ho da prima le contrazioni della gamba all'aprire e al chiudere della corrente diretta e dell'inversa, e al solito dopo un certo tempo non si veggono più che le contrazioni al principio della corrente diretta e alla fine dell'inversa: sempre però le contrazioni sono maggiori per la corrente diretta. La legatura del nervo fin qui studiata non agisce dunque che isolando gli effetti della corrente, cioè producendo separatamente quelli della sua azione su i centri nervei da quelli che ha agendo sulle estremità dei nervi. È inutile il dire che se si opera sull'animale morto, i segni del dolore non possono aversi.

Onde non cadere in errore in queste sperienze conviene tenere il nervo ben isolato dalle parti umide che lo circondano e stringere convenientemente la legatura. Il meglio è di operare sulla rana preparata al modo solito, sospendendola per il suo

nervo. In questa maniera non può più cadere dubbio che le parti umide sottostanti al nervo servano a condurre una porzione della corrente al difuori dell'intervallo che separa i due reofori. Senza questa precauzione una porzione della corrente può passare o al disopra o al disotto della legatura, secondo che i poli sono applicati al disotto o al disopra della legatura stessa, e così si può venire indotti in errore.

Nel caso che i reofori siano applicati uno al disopra e l'altro al disotto della legatura, la corrente non essendo arrestata e solo venendo indebolita per il difetto di conducibilità che induce la legatura nel nervo, i fenomeni sono gli stessi, come se la legatura non vi fosse, o tutto al più non sono che indeboliti.

Per compiere questa Lezione non avrei più che a dirvi degli effetti che la corrente elettrica produce applicata sulle diverse parti del cervello, sui nervi dei sensi, sulle radici dei nervi spinali e sui nervi ganglionari. Duolmi però che un soggetto così importante non sia stato ancora convenientemente studiato.

Può dirsi che tutto rimane ancora a sapersi e ve lo proveranno le pochissime cose che potrò dirvene.

Ho provato ad applicare i reofori di una pila, anche di molte coppie, sopra gl'emisferi cerebrali e sul cervelletto di un animale vivo, ho provato a farli penetrare nella polpa di questi organi, ma non vidi mai nè scosse nè segni di dolore nell'animale.

Giungendo però coi reofori a far passare la corrente nei corpi quadrigemini, nelle radici del cervello, nella midolla allungata, allora si ottengono scosse forti per tutto il corpo e l'animale stride.

Questi effetti continuano, benchè indebolendosi, anche a circuito chiuso, e non ho mai visto che insorgessero all'aprirsi del circuito. Dopo ciò che abbiamo visto accadere agendo sui nervi, tali effetti sembrano singolari. Vorrei però che fossero meglio studiati, ciò che non può farsi senza una gran pratica nelle vivisezioni.

Si è fatta passare la corrente per il nervo ottico di un animale vivo e non si ebbero nè grandi contrazioni dei muscoli, nè segni di dolore. Toccando sopra sè stesso colle estremità di una pila anche elementare, l'orecchio e l'occhio, oppure l'orecchio e la lingua, e finalmente l'occhio e la lingua si hanno le sensazioni d'un suono, d'un bagliore, d'un sapore particolari. Queste sensazioni non sembrano dipendere che da un'azione esercitata dalla corrente elettrica sopra i nervi sensorii di quelli organi, e non da contrazioni svegliate nei muscoli attenenti ai medesimi, poichè una corrente debolissima, che non è capace di eccitare i più piccoli movimenti muscolari è sufficiente a produrle; nè il sapore in particolare può esser dovuto all'impressione esercitata sulla lingua dai prodotti dei sali della saliva scomposti dalla corrente, dappoichè una corrente debolissima, e perciò insufficiente a produrre quella decomposizione, è capace di eccitare la sensazione del sapore.

Una parola finalmente sull'azione della corrente sui nervi del sistema ganglionare. Le pochissime cose che sappiamo su questo proposito le dobbiamo all'Humboldt.

Allorchè si fa passare una corrente elettrica attraverso il cuore d'un animale ucciso di recente, pochi istanti dopo che hanno cessato le sue pulsazioni, si osserva ripigliare quest'organo i suoi ordinari movimenti, qualche tempo dopo che principiò a passare la corrente, e questi movimenti continuare anche per qualche tempo dopo cessato il passaggio della medesima.

Se invece di aspettare che i movimenti naturali del cuore sieno totalmente estinti, si fa passare la corrente allorchè questi sono sufficientemente indeboliti, si vedono allora farsi più frequenti dopo che la corrente ha agito per qualche istante e continuare così per un certo tempo, tolta anche l'azione della corrente.

Questi medesimi effetti si osservano nel moto vermicolare delle intestina nelle quali si faccia passare la corrente.

Se rifletterete all'importanza che ha il sistema ganglionare nell'esercizio delle *funzioni organiche* degli animali, comprenderete di leggieri quanto su questo soggetto ci resti a sapere.

La differenza d'azione che spiega la corrente su i nervi della vita di *relazione* e su quelli della vita organica è già molto notevole.

Nei primi i suoi effetti si mostrano nei soli istanti in cui essa comincia ed in cui cessa di agire; mentre nei secondi gli effetti

tardano a comparire, continuano durante il suo passaggio, e persistono anche dopo che dessa ha cessato di agire.

Fin qui abbiamo studiata l'influenza esercitata sull'eccitabilità dei nervi dal passaggio della corrente elettrica continua. Ne resta ora a vedere quali effetti produce una corrente interrotta più volte di seguito, in modo da rinnovarsi il suo passaggio per il nervo a piccolissimi intervalli di tempo.

Fisso a questo fine una rana preparata al modo solito sopra una tavola per mezzo di piccoli chiodi; lego ad uno dei chiodi uno dei reofori della pila, e coll'altro reoforo tocco un altro chiodo più volte di seguito chiudendo così ed aprendo successivamente il circuito.

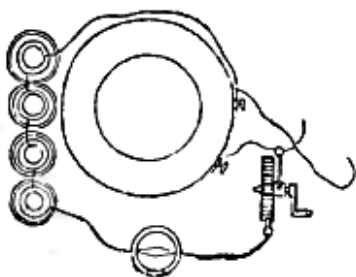
La rana tende i suoi membri e sembra presa da convulsioni tetaniche, sia diretta oppure inversa la corrente che così interrottamente s'introduce in essa.

In una rana tetanizzata per i ripetuti passaggi della corrente elettrica, l'eccitabilità dei nervi resta molto indebolita, relativamente ad un'altra nella quale sia stata fatta passare una corrente continua. Ho fatto più volte questo esperimento comparativo sottomettendo due rane ugualmente preparate, una al passaggio d'una corrente continua di quarantacinque coppie, e l'altra alla corrente d'una pila simile la di cui azione però veniva rinnovata a cortissimi intervalli. L'esperienza durava da dieci o quindici minuti in ambe le rane. Sottomettendo quindi separatamente le due rane al passaggio d'una corrente che introduceva per i loro nervi

lombari, osservava esser d'uopo d'un maggior numero di coppie per far contrarre la rana che era stata precedentemente sottoposta alla corrente interrotta. Mi assicurai anche della differenza dell'eccitabilità delle due rane, sottomettendole contemporaneamente al passaggio d'una corrente continua; la perdita era sempre maggiore nella rana che aveva di già subita l'azione della corrente interrotta.

Marianini si è anche assicurato confrontando due rane, l'una delle quali è percorsa da una corrente continua sempre nel medesimo senso, e l'altra da una simile corrente, diretta ora in un senso, ora nell'altro, che nella prima l'eccitabilità dei nervi rimaneva esaurita per il passaggio della corrente, più che nell'altra.

Questo grande esaurimento dell'eccitabilità dei nervi per il passaggio della corrente rinnovata a cortissimi intervalli di tempo viene più particolarmente dimostrato dalle sperienze di Masson. Ecco l'apparecchio col mezzo del quale questo Fisico è



giunto ad eccitare un gran numero di scosse elettriche in un tempo brevissimo. Consiste in una ruota metallica, fissa a un asse parimente metallico la quale si fa girare per mezzo d'un manubrio e sopra due cuscinetti amalgamati. Uno di questi cuscinetti è in comunicazione con uno dei poli della

pila, e l'altro polo è in contatto con un filo il quale, dopo essersi avvolto spiralmente su di un cilindro di ferro dolce comunica con una lastra metallica fissa, la quale viene urtata successivamente dai denti della ruota.

Girando la ruota si chiude il circuito a ciascun contatto della lastra metallica con un dente, e si interrompe nell'intervallo che divide due contatti successivi. Toccando colle mani bagnate le due estremità del conduttore situate ai lati del punto ove si chiude e si apre il circuito, si prova una successione di scosse molto forti. Quando la velocità di rotazione è molto grande, queste scosse producono nelle braccia una sensazione di tensione dolorosa, la quale fa sì che lo sperimentatore non possa lasciare i conduttori che ha nelle mani e lo costringono anzi a stringerli fortemente.

Masson ha potuto con questo apparecchio e con una pila d'un piccolo numero di elementi, uccidere un gatto in cinque o sei minuti.

È importante il fatto scoperto dallo stesso Masson, che la sensazione e le scosse scompaiono quando la velocità con cui gira la ruota è molto grande. Pouillet ha trovato che allorquando la durata dell'intervallo tra una scossa e l'altra era di circa $\frac{1}{500}$ di secondo non si giungeva più a distinguere l'interruzione della corrente, per cui l'effetto era lo stesso di quello d'una corrente continua.

Eccovi un coniglio che assoggetto al passaggio d'una corrente interrotta, adoprando la ruota di Masson. Le due estremità della corrente gli sono applicate nella bocca e su i muscoli del dorso. Benchè la pila non sia che di dieci coppie il coniglio muore dopo pochi secondi del passaggio così interrotto della corrente.

Non terminerò questa Lezione senza parlarvi dell'applicazione terapeutica della corrente elettrica, poichè dessa si fonda sui principii scientifici che vi ho esposto.

Indipendentemente da qualunque idea teoretica e da ogni ipotesi sulla forza nervosa, dobbiamo ammettere, che in certi casi almeno di paralisi i nervi siano alterati in un modo analogo a quello che sarebbe in essi accaduto per il passaggio continuo della corrente elettrica. Abbiamo veduto che per ridonare a un nervo l'eccitabilità al passaggio della corrente, dopochè l'ha perduta per il passaggio prolungato della stessa corrente, bisogna servirsi d'una corrente diretta in senso inverso a questa. Parimenti, per far cessare la paralisi, si dovrà fare passare una corrente in senso contrario a quella che l'avrebbe potuta produrre. Si vede da ciò che noi supponghiamo che la paralisi che si deve sottomettere al trattamento elettrico sia o del solo movimento, o della sola sensibilità. Così per una paralisi di movimento converrebbe applicare la corrente inversa, mentre per una paralisi della sensibilità si dovrebbe usare la corrente diretta. Nel caso di una paralisi completa non v'ha più ragione alcuna per decidersi piuttosto per la corrente diretta che per l'inversa; se pure non si

voglia calcolare quale delle due indicate funzioni è stata la prima ad alterarsi.

Non vi lascerò ignorare alcune regole che credo importanti nell'applicazione della corrente elettrica nella cura della paralisi. Cominciate in ogni caso da una corrente molto debole. Questa regola mi sembra oggi più importante di quello che non la credeva prima d'aver veduto un paralitico cadere in convulsioni decisamente tetaniche per l'azione d'una corrente d'una sola coppia.

Abbiate cura di non prolungare mai troppo il passaggio della corrente, e ciò tanto più quanto è più intensa la corrente che adoperate. Applicate la corrente interrotta, piuttosto che la corrente continua, ma dopo 20 o 30 scosse al più, lasciate il malato per alcuni istanti in riposo.

Gli apparecchi che potrete adoprare nella cura elettrica sono vari. La pila a corona di tazze è in generale il migliore, o almeno il più comodo degli istrumenti: giacchè con essa è assai facile il toglier delle coppie, di variare la conducibilità del liquido. Se vorrete usare la corrente interrotta con una certa regolarità, potrete ricorrere, alla ruota di Masson che v'ho mostrato. Magendie si serve della macchina elettro-magnetica di Clark, i di cui effetti possono moderarsi con un ancora di ferro dolce, applicata su i due poli della calamita. Potete adoprare per reofori due strisce di lamina di piombo o di rame, e cuoprirete con un pannolino imbevuto d'acqua salata le estremità che vanno applicate sulla cute.

In qualche caso potrete servirvi degli aghi che si adoperano per l'ago-puntura come estremità dei reofori.

Le storie delle guarigioni di paralisi col trattamento elettrico degne di fiducia, sono già in numero sufficientemente grande per incoraggiare i medici e gli ammalati nella perseveranza che è necessaria nell'applicazione della corrente elettrica, senza di che non v'è speranza di buon risultato.

Un'altra malattia per la quale si è proposta l'applicazione della corrente elettrica è il tetano. Credo essere stato il primo a tentare questa applicazione nell'uomo.

Eccovi su quali principi è fondato l'uso della corrente elettrica nella cura del tetano. Una corrente che passi interrottamente per qualche tempo nei nervi d'un animale produce le contrazioni tetaniche; una corrente continua produce al contrario la paralisi dopo qualche tempo del suo passaggio. Era dunque naturale il dedurre che il passaggio continuo d'una corrente per un membro tetanizzato avrebbe distrutto questo stato, riducendolo a quello di paralisi. La verità di questa deduzione è dimostrata dall'esperienza. Agendo sopra rane tetanizzate con narcotici o con acido idrocianico si vede, sotto il passaggio continuato d'una debole corrente elettrica, lo stato tetanico cessare. Le rane muoiono senza quelle convulsioni che mostrano quando non vengono assoggettate all'azione della corrente.

L'applicazione della corrente elettrica in un caso di tetano, da me pubblicato nel maggio del 1838 nella *Bibliothèque Universelle*,

sembrami provare la giustezza delle indicate conclusioni teoretiche. Durante il tempo del passaggio della corrente elettrica, l'ammalato non presentava le solite violente scosse, poteva aprire e chiudere la bocca, la circolazione e la traspirazione sembravano ristabilirsi. Sgraziatamente il miglioramento non durò a lungo; la malattia era cagionata e mantenuta dalla presenza di corpi estranei nei muscoli della gamba. Forse nei tetani non traumatici la cura elettrica potrà avere migliori risultati, e in ogni caso non è poco l'alleviare i patimenti in una malattia così dolorosa.

Vi dirò infine che in questi ultimi tempi si è proposta la corrente elettrica nella cura dei calcoli e della cataratta. Basta però il riflettere all'insolubilità nell'acqua delle sostanze che contengono i calcoli per persuadersi, non esser punto fondata una simile applicazione. Quanto alla cataratta vi farò notare, che invertendo la posizione dei poli d'una corrente fatta passare per una massa d'albumina, non ho mai veduto ridisciogliersi attorno al polo negativo l'albumina che era stata coagulata al polo positivo. È dunque possibile colla corrente di produrre una cataratta, ma non già di distruggerla.

LEZIONE XIII.

Forza nervosa.

In un Corso su i fenomeni fisico-chimici dei corpi viventi può parervi strano, e quasi arrogante dal lato mio, l'intrattenervi con una Lezione sulla forza o agente nervoso. Mi lusingo però di dimostrarvi per le cose che vado a dirvi, che non è fuori di luogo questo soggetto, e che nella stessa maniera che nei trattati di Fisica il capitolo delle analogie generali tra il calore, la luce, l'elettricità è il più importante, il più filosofico in qualche modo; anche questa nostra Lezione godrà sulle altre di tali vantaggi, almeno per la sua importanza.

Comincerò dal dirvi, più brevemente che mi sarà possibile, dei caratteri principali della forza nervosa e delle sue leggi.

Vi sono nel corpo di tutti gli animali, in un grado più o meno grande di sviluppo, degli organi per mezzo dei quali gli animali stessi si muovono e sentono. Questi organi costituiscono il sistema nervoso cerebro-spinale. Si compone principalmente questo sistema d'un numero infinito di ramificazioni sparse per tutto il corpo dell'animale, le quali si riuniscono in una massa centrale costituita dal cervello e dalla midolla spinale. Se si lega, oppure si taglia una di codeste ramificazioni in un animale vivente e poscia si tocca con un ferro caldo, con un pezzo di potassa, se si ferisce con un ago, se si stringe con una pinzetta quella porzione

che è rimasta unita colla massa centrale, l'animale darà manifesti segni di dolore. Ripetendo queste istesse *irritazioni* al disotto del taglio o della legatura del nervo mancano i segni del dolore, e non si veggono che le contrazioni nei muscoli sui quali si ramifica il nervo irritato. Portando le stesse irritazioni sul nervo intatto, il dolore e le contrazioni si ottengono nello stesso tempo. Se infine si taglia o si lega il nervo in due punti e s'irrita quel tratto compreso tra i due tagli o fra le due legature, non si hanno più segni nè di contrazioni muscolari nè di dolore. Il nervo dunque non fa altro *ufficio che quello di condurre, di propagare l'azione degli stimoli* su di esso applicati; quest'azione è sensazione portata al cervello, è contrazione muscolare e movimento pervenuta ai muscoli.

I Fisiologi Bell, Magendie, Muller ed altri hanno scoperto che vi sono nel corpo dei nervi che irritati svegliano unicamente dolore, ed altri che per le stesse irritazioni non svegliano che contrazioni. È il caso delle radici anteriori e posteriori dei nervi spinali, e di qualche altro ramo nervoso. Flourens ed altri Fisiologi hanno pur distinte nelle masse centrali delle parti unicamente destinate alle sensazioni e delle parti destinate ai soli movimenti.

Oltre il sistema nervoso cerebro-spinale v'è negli animali un altro sistema nervoso il quale, quantunque in un certo legame coll'altro, non mostra allorchè è irritato di svegliare movimenti e sensazioni. È questo il sistema nervoso-ganglionare, composto di ramificazioni distribuite principalmente agli apparecchi della

vita organica, ramificazioni che tratto tratto si riuniscono, s'interlasciano fra loro, avendo interposta fra i loro interstizi una sostanza globulare, la quale sembra trovarsi anche nelle masse centrali. Per questo sistema le irritazioni che si mostrano per certi particolari movimenti eccitati principalmente nelle intestina, si propagano lentamente e persistono anche cessate le irritazioni medesime. Un muscolo che sia da un certo tempo senza comunicazione coi centri o gangli di questo sistema perde la proprietà di contrarsi sotto l'irritazione dei suoi nervi cerebro-spinali.

Queste poche cose che io potevo dirvi sull'azione nervosa basteranno, lo spero, a farvi meglio comprendere l'importanza dei risultati ai quali siamo giunti nella Lezione sull'azione fisiologica della corrente elettrica.

Credo importante di riassumere qui le differenze principali trovate coll'esperienza fra gli effetti che eccita l'irritazione elettrica su i nervi e quella che producono gli altri agenti stimolanti, calore, azioni meccaniche, azioni chimiche, ec. Eccovi queste differenze.

1.° Fra tutti gli stimoli la sola corrente elettrica eccita ora la sensazione, ora la contrazione muscolare, secondo la direzione diversa nella quale percorre un nervo.

2.° La sola corrente elettrica percorrendo un nervo trasversalmente non produce alcuno dei fenomeni dovuti all'eccitabilità del nervo.

3.° La sola corrente elettrica non produce alcun effetto su i nervi, non eccita cioè nè contrazioni nè sensazioni, allorchè continua ad agire su di un nervo.

4.° La sola corrente elettrica eccita un nervo al cessare d'agire sul medesimo.

5.° La sola corrente elettrica ristabilisce l'eccitabilità del nervo, allorchè viene trasmessa in una direzione contraria a quella della corrente che aveva distrutta o indebolita questa eccitabilità.

6.° La sola corrente elettrica finalmente è fra tutti gli agenti stimolanti quella che può per più lungo tempo risvegliare l'eccitabilità del nervo, allorchè anche è debolissima per riguardo agli altri agenti suddetti.

Queste differenze fra l'azione che ha la corrente elettrica sui nervi e quella propria degli altri agenti, provano evidentemente essere la prima molto più semplice dell'altra. Da ciò ne venne l'analogia fra la forza nervosa e la corrente elettrica che si vide sin dai primi scuopritori del galvanismo.

Ma potremo da ciò giungere sino ad ammettere che la forza nervosa non è altro che la corrente elettrica? Guardiamoci bene da questa conseguenza, che pur troppo si vede spesso abbracciata come una delle verità sperimentali le meglio dimostrate.

Dimandiamoci prima: si trova cogli strumenti che possiede la Fisica la corrente elettrica nei nervi d'un animale vivente? può

esservi questa corrente, e può esservi in quelle condizioni che si richiederebbero, affinchè avesse i caratteri della forza nervosa?

La corrente elettrica muscolare, di cui ci siamo lungamente occupati in una di queste Lezioni, è un fenomeno, che come provammo coll'esperienza, deve la sua origine alle azioni chimiche che avvengono del muscolo: abbiamo visto che questa corrente esiste nelle parti ultime del muscolo, come fra le molecole di due corpi che si combinano, e che vi circola senza alcuna regolarità come nei corpi magnetizzabili, e che è solo per una disposizione sperimentale, che può discoprirsì la sua presenza. Abbiamo pure mostrato che i nervi non hanno alcuna influenza diretta sulla produzione di questa corrente, e che il loro ufficio si limita a quello d'un corpo poco conduttore che comunica con certe parti del muscolo.

Conveniva cercare la corrente elettrica nei nervi d'un animale vivente. Mi guarderei bene dal riferirvi qui tutte le sperienze che si sono fatte per questa ricerca, e per le quali ora fu detto che la corrente esisteva, ora che no. La conclusione più coscienziosa, meglio stabilita si è che, *nello stato attuale della Scienza, coi mezzi sperimentali che possediamo, non si trovano segni di corrente elettrica nei nervi degli animali viventi.*

È stato detto che introdotti degli aghi d'acciajo nei muscoli perpendicolarmente alla direzione delle loro fibre, questi aghi apparivano magnetizzati, sopra tutto nel momento in cui i muscoli si contraevano. Si era perciò concluso esservi nei nervi una

corrente elettrica, e che il circuito era stabilito come in una spirale o cilindro elettro-dinamico. Ho ripetuto questi sperimenti, introducendo degli aghi d'acciajo o di ferro nei muscoli d'animali viventi, e in tutte le direzioni relativamente alle fibre muscolari. Per assicurarmi della magnetizzazione di questi aghi immersi nei muscoli ho impiegato uno degli aghi d'un buonissimo sistema astatico ed anche l'ago del sideroscopio del Lebaillif, ma non ho giammai potuto ottenere alcun risultato positivo. Ho collocato una mezza ranocchia recentemente preparata, nell'interno d'una spirale di fil di rame coperta di vernice; le estremità della spirale erano unite alle estremità d'un'altra spirale più piccola, entro la quale collocava un filo di ferro dolce. Fatto ciò ho irritato il nervo della rana, osservando allo stesso tempo se una corrente d'induzione percorreva la spirale e magnetizzava il filo di ferro. Tutte le mie ricerche riescirono inutili.

Ho pure tentato, d'introdurre l'estremità d'un galvanometro sensibilissimo in due punti, lontani tra loro più che fu possibile, d'un nervo scoperto sopra un animale vivente; ho operato in animali sopra-eccitati da certi veleni narcotici; ho eccitato in essi delle forti contrazioni muscolari nel momento che fissava nel nervo i due fili del galvanometro. Ma mi è duopo confessare che sempre che le sperienze furono ben fatte non ebbi giammai segni determinati e costanti di corrente elettrica.

Aggiungerò ancora che stando a quanto conosciamo relativamente alle proprietà dell'elettricità, e alle leggi della sua propagazione, ci sarebbe impossibile concepire l'esistenza d'una corrente elettrica condotta dai nervi. Perchè una corrente elettrica potesse scorrere da un'estremità all'altra del sistema nervoso e mantenersi entro il medesimo, converrebbe poter paragonare il nervo ad un filo metallico coperto di vernice o di qualunque altra sostanza coibente, ciò che è molto lontano dalla verità. Una corrente elettrica la quale per l'atto della volontà partisse dal cervello per giungere ai muscoli, scorrendo per i nervi non potrebbe venire arrestata nel suo corso dalla legatura o dal taglio del nervo come vediamo accadere in questi casi per la propagazione dell'ignota forza nervosa. Alla circolazione finalmente d'una corrente elettrica nei nervi si richiederebbe una disposizione tale nel sistema nervoso da formare un circuito chiuso. E i lavori anatomici sono ben lungi da darci per provata una tale disposizione del sistema nervoso, soprattutto nelle sue ultime ramificazioni nelle masse muscolari, dove maggiormente sarebbe mestieri di una tale disposizione.

Ho spesso tentato un'esperienza, la quale ove mi avesse dato un risultato positivo, avrebbe potuto provare in modo indiretto che il sistema nervoso forma un circuito chiuso per la corrente elettrica. Ho scoperto in un animale vivente il nervo ischiatico in due punti lontani della sua lunghezza, nell'alto della coscia cioè, e nell'estremità della gamba, ho introdotto la gamba dell'animale

in una spirale simile a quella che v'ho descritto poco fa, in comunicazione con un'altra spirale più piccola contenente un cilindro di ferro dolce nel suo interno, ho fatto passare per il nervo preparato una corrente elettrica: non mi fu dato giammai di vedere segni ben manifesti e costanti d'una corrente d'induzione nella spirale. Ciò che sarebbe dovuto avvenire di certo, se la corrente avesse percorso quella specie di spirale che si è supposta formata dalle ramificazioni nervose che si distribuiscono nei muscoli.

Concludiamo dunque. La corrente elettrica non esiste naturalmente nei nervi d'un animale vivente: le leggi della sua propagazione esigono delle condizioni che non si trovano nel sistema nervoso: la propagazione della forza del sistema nervoso è arrestata da cagioni le quali non possono produrre simile effetto, quando si tratti di correnti elettriche.

Questa forza incognita del sistema nervoso non è dunque la corrente elettrica. Ma qual rapporto v'è fra la forza nervosa e l'elettricità ridotta a corrente?

Riassumerò in poche parole la sola conseguenza positiva che sembrami dato poter dedurre dai miei lunghi studj sopra i fenomeni elettro-fisiologici degli animali.

Esiste fra la corrente elettrica e la forza nervosa una analogia, la quale se non è del medesimo grado di evidenza, è pur tuttavia del medesimo genere, di quella che passa tra il calorico, la luce, l'elettricità. Abbiamo veduto parlando dei fenomeni dei pesci

elettrici, che la facoltà che essi hanno di produrre elettricità è sotto la dipendenza diretta del sistema nervoso. V'ha dunque in questi animali una struttura organica particolare, una disposizione di parti tale, che per l'atto della forza nervosa può sviluppare elettricità. Ricordatevi dell'identità delle cagioni che eccitano la contrazione muscolare e la funzione elettrica dei pesci; altrove avete veduto che la proprietà di produrre la funzione elettrica dipende immediatamente dalle funzioni del sistema nervoso, come ne dipende la facoltà di contrarre i muscoli.

Un cristallo di *tormalina* il quale scaldato sviluppa elettricità ci dimostra una relazione, più o meno intima tra il calore e l'elettricità: i fenomeni che abbiamo studiato nei pesci elettrici ci provano una simile relazione fra la forza nervosa e l'elettricità. L'elettricità non è la forza nervosa, nel modo stesso che non è elettricità il calorico. Questo si cambia in quella per la forma delle molecole integranti della tormalina; la forza nervosa si trasforma in elettricità per la struttura particolare degli organi elettrici di quei pesci.

La Fisica attuale tende con tutti i suoi sforzi a ridurre le sue ipotesi alla più grande semplicità possibile, e, più esattamente tende verso una ipotesi sola, per spiegare tutti i fenomeni del calore, della luce, dell'elettricità. È questa l'ipotesi dell'*etere*. I caratteri più essenziali di questo etere, cioè l'immensa rapidità colla quale si propagano i suoi movimenti, la trasformazione dei suoi

movimenti l'uno nell'altro, appartengono alla forza nervosa, come appartengono all'elettricità, alla luce, al calorico.

Ma abbiamo noi questa reciprocità tra la forza incognita del sistema nervoso e la corrente elettrica? In una parola la corrente elettrica si trasforma essa nella forza nervosa, come il calorico si trasforma in luce, la luce in calorico, ec.?

L'esperienza ne insegna che acciò una corrente elettrica ecciti, percorrendo un nervo, la contrazione o la sensazione, è necessario che dessa lo percorra secondo la sua lunghezza. Non basta. È necessario che il nervo non sia separato già da lungo tempo dalla sua comunicazione colle parti centrali del sistema: è necessario che il passaggio della corrente, o l'azione anche di certi agenti stimolanti non siano stati protratti molto a lungo.

Il calore, un'azione meccanica o chimica, possono nel modo stesso della corrente elettrica svegliare l'eccitabilità dei nervi, e produrre sensazione e movimenti muscolari. Concluderemo da ciò che queste azioni meccaniche, chimiche, calorifiche, agiscono su i nervi trasformate in correnti elettriche? Niente v'ha che ce lo provi. E se si volesse ciò nonostante supporre una simile trasformazione, qualche probabilità potrebbe esservi rispetto al calorico e all'azione degli alcali, ma nessuna per rapporto alle azioni meccaniche. Non v'ha caso infatti in cui per il solo taglio d'un corpo si abbia la produzione d'una corrente elettrica; non v'ha modo di paragonare il nervo ad un corpo termo-elettrico.

Concludiamo dunque che la corrente elettrica che scorre per i nervi non agisce in altro modo, che mettendo in azione la forza del sistema nervoso.

Sembra intanto naturale l'ammettere che il cangiamento indotto negli organi elementari d'un nervo, sia per l'atto della volontà, sia per una corrente elettrica, sia per l'azione degli agenti stimolanti è in tutti i casi accompagnato da una specie di corrente della forza del sistema nervoso. Questa forza che io paragono all'*etere* per potervi spiegare per mezzo d'una sola ipotesi tutti i fenomeni dei corpi imponderabili e l'analogia che con questi presenta la forza nervosa, questa forza dico, consisterebbe in un movimento particolare dell'*etere* stesso.

Tutti i Fisici sono d'accordo sull'impossibilità di spiegare l'immensa velocità della propagazione della luce, del calorico raggiante, dell'elettricità, senza ricorrere a un movimento vibratorio; la forza nervosa non si propaga meno rapidamente degli imponderabili.

L'*etere* sparso in tutti i punti del sistema nervoso, come in tutti i punti dell'universo, prende i caratteri della forza nervosa, è modificata dalla particolare organizzazione di quel sistema. La diversa struttura delle varie parti del sistema nervoso, come l'anatomia microscopica comincia a farci vedere, può spiegarci un giorno perchè il cambiamento molecolare che costituisce lo

stato d'eccitabilità dei nervi sia meno rapido nel sistema gangliolare, che nel restante del sistema nervoso, e perchè vi siano dei nervi nei quali l'eccitamento non si propaga che in un solo senso.

In questa ipotesi il fluido nerveo, nella guisa stessa del calorico, dell'elettricità, della luce, non è che un movimento vibratorio particolare dell'etere.

Riassumiamo in poche parole queste vedute ipotetiche. Evvi etere sparso in tutti i punti del sistema nervoso, come in tutti i corpi dell'universo. Quest'etere può trovarsi disposto in un modo particolare nel sistema nervoso, come si ammette per certi corpi cristallizzati. Allorchè le particelle organiche d'un nervo vengono, per una cagione qualunque, smosse dalla loro posizione, l'etere o più propriamente il fluido nerveo, è messo in un certo movimento dal quale la sensazione o la contrazione procedon secondo che si propaga fino al cervello oppure al muscolo. La corrente elettrica, gli agenti stimolanti, il calore, le azioni chimiche e meccaniche, l'atto della volontà inducono quel movimento nelle particelle dell'etere. Un'alterazione qualunque nella struttura dei nervi impedirà la propagazione di quel movimento. La propagazione della corrente del fluido nerveo, comunque generata, si farà con diverse leggi, secondo la diversa organizzazione dei nervi.

Procuriamo ora di darci ragione delle leggi dell'azione della corrente elettrica su i nervi.

Ammettiamo che la corrente la quale percorre un nervo nella sua lunghezza determini uno spostamento nelle particelle del corpo per cui scorre, nel senso della sua direzione, come ce lo provano le sperienze di Porret e di Bequerel; ammettiamo che questo spostamento sia accompagnato da movimenti vibratorii del fluido nerveo, che si propaghino fino alle estremità del nervo, e nella direzione dello spostamento delle particelle del nervo stesso. Questa corrente del fluido nerveo produce la sensazione se è diretta dalle estremità del nervo verso il cervello, produce al contrario la contrazione se è diretta dal cervello alle estremità dei nervi.

Siegue da ciò che una corrente elettrica che traversa un nervo normalmente alla sua lunghezza non potrà produrre alcun fenomeno. La corrente diretta produce una contrazione, allorchè entra nel nervo, produce al contrario una sensazione, allorchè cessa, e ciò perchè le particelle organiche del nervo smosse dalla posizione loro nella direzione della corrente, dovranno onde rimettersi nel loro stato primitivo, muoversi al cessare della corrente in una direzione contraria a quella della corrente stessa. Avverrà il contrario trattandosi della corrente inversa.

I fenomeni del primo dei periodi altrove indicati ci provano che avviene lo spostamento in tutti i sensi delle particelle organiche del nervo, allorchè è questo eccitato da uno stimolo qualunque, e che questo però avviene maggiormente nel senso della

corrente che nel senso opposto, allorchè ci serviamo della corrente elettrica. Ciò però finchè la struttura organica del nervo si mantiene nel suo stato d'integrità: ma a misura che dessa si altera, i fenomeni prodotti dalla corrente si restringono a quelli che hanno luogo nella direzione nella quale la corrente agisce con più intensità. Gli altri agenti stimolanti producono uno spostamento permanente nella disposizione organica del nervo, spostamento che come quello prodotto dalla corrente non cesserà al cessare dell'azione di quelli agenti. Una corrente elettrica, la quale percorre un nervo per un certo tempo, finirà per produrre uno spostamento permanente nella disposizione organica del nervo stesso. Da ciò proviene lo sparire dei soliti effetti della corrente, quando la sua azione sia stata prolungata. Una corrente diretta in senso inverso rimetterà le particelle del nervo nella loro prima posizione, e lo renderà nuovamente eccitabile all'azione di una corrente diretta in senso contrario. Il passaggio della corrente elettrica per un nervo in contrarie direzioni, la successiva interruzione di questa corrente, la sua maggiore intensità, sono le cagioni più atte a produrre uno spostamento permanente e quindi un'alterazione nella struttura dei nervi.

Mi rimarrebbe a parlarvi dell'origine, delle sorgenti della forza nervosa. Dopo quello che vi ho detto sull'analogia fra questa forza e gl'imponderabili, la ricerca dell'origine della forza nervosa non è nè fuori di luogo, nè impossibile a tentarsi.

Tutte le volte che una forza qualunque si rende manifesta noi vediamo cangiarsi la materia. Questo cangiamento è dovuto all'azione di un'altra forza o di quella stessa che si produce. Parliamo con un esempio. Un alcali e un acido in certe condizioni si combinano: l'affinità è la forza che determina la combinazione e la formazione di un sale. Intanto il calore e l'elettricità si manifestano, e cessata la trasformazione delle due materie in una nuova, le forze che si sono prodotte hanno finito esse pure di mostrarsi cogli effetti che loro sono propri. Prendo un bastone di ceralacca, lo confrico e il bastone si carica di elettricità. In questo caso per la forza nervosa impiegata a muovere la mano che tiene la cera lacca, produco nelle particelle di questa un movimento molecolare durante il quale l'elettricità si palesa e con essa il calore. Il ferro nell'ossigeno brucia, si fa ossido, e calore e luce si producono.

Non vi è esempio che non conduca alle stesse conseguenze: in ogni caso di manifestazione di una forza v'è sempre trasformazione di materia, in conseguenza di una forza che ha agito precedentemente sulla materia stessa.

È questa trasformazione, che deve avvenire in tutte le parti del nostro corpo nell'atto della nutrizione, che può considerarsi la sorgente della forza nervosa.

Chi non sa che cessando la circolazione sanguigna in una parte qualunque di un animale, o più precisamente arrestandosi il passaggio del sangue arterioso o dei globuli *ossigenati*, cessa

sempre più o meno presto qualunque movimento in quella parte? chi non sa il rapporto che esiste fra l'attività dell'atto nutritivo e la quantità di forza nervosa che si produce? in qual altro modo se non con una maggior nutrizione, si ottiene una maggior produzione di forza nervosa?

Il sistema nervoso diviene in tale ipotesi quell'apparecchio in cui si raccoglie, si sparge la forza nervosa: la volontà per un legame, che ci sarà sempre misterioso, mette, come gli stimoli, in vibrazione l'etere che per *l'atto della nutrizione ha preso nella sostanza nervosa una particolare distribuzione, da cui dipende quel particolare movimento vibratorio che è la forza nervosa stessa.*

Ogni azione di questo sistema nervoso, ogni eccitazione di un nervo distrugge in parte quella distribuzione particolare dell'etere, la quale viene ristabilita dal riposo e dalla nuova nutrizione.

Dumas, attribuendo alla combinazione dell'ossigene dell'aria col carbonio e l'idrogene non solo il calore ma anche la forza muscolare degli animali, paragonò l'animale ad una macchina a vapore. Espose questo illustre Chimico con un esempio brillante questo confronto. Un uomo che sale il Monte Bianco e che trasporta così il peso del suo corpo in un dato tempo a quell'altezza, consuma una quantità di carbonio molto minore di quella che si sarebbe impiegata sotto una caldaia per convertir l'acqua in vapore, in modo da generare un'effetto dinamico uguale a quello dell'ascensione su quel monte. Ne conclude il Dumas essere la

macchina animale la più economica, la più produttiva di quante ne conosciamo. Evvi però nella scelta di questo esempio e nella conclusione che se ne vuol trarre, più poesia che verità: il calore che si svolge nelle azioni chimiche della nutrizione non cagiona, ma accompagna lo sviluppo della forza nervosa, ed il legame fra queste azioni chimiche e la quantità di forza nervosa che esse svolgono è tuttavia a noi ignoto.

Limitiamoci per ora a considerare la forza nervosa come un movimento particolare dell'etere, e ad ammettere che per la nutrizione l'etere che sparso per tutto l'universo come negli animali prende nel sistema nervoso una particolare disposizione. Questa ipotesi non mi sembra opporsi ai fatti che possediamo; anzi, come tutte quelle che ci è dato di fare nelle scienze fisiche, collega provvisoriamente i fatti conosciuti.

INDICE

LEZIONE I.

LEZIONE II. *Attrazione molecolare – Capillarità – Imbibizione*

LEZIONE III. *Endosmosi*

LEZIONE IV. *Assorbimento negli animali e nei vegetabili*

LEZIONE V. *Digestione*

LEZIONE VI. *Respirazione – Endosmosi gasoso*

LEZIONE VII. *Ematosi – Nutrizione – Calore animale*

LEZIONE VIII. *Fosforescenza dei corpi organici*

LEZIONE IX. *Corrente elettrica muscolare*

LEZIONE X. *Pesci elettrici – Corrente propria della rana*

LEZIONE XI. *Azione fisiologica della forza di gravità, della luce, del calorico*

LEZIONE XII. *Azione fisiologica della corrente elettrica*

LEZIONE XIII. *Forza nervosa*