

Capitolo 5

Cariche positive e negative

5.1 Esiste un solo tipo di carica?

Eseguiamo alcuni esperimenti analoghi all'Esperimento 4.7. Utilizziamo i seguenti strumenti: due pendoli elettrici, definiti *I* e *II*, e un versorium di metallo. Inoltre, impiegheremo anche i seguenti materiali: due cannucce di plastica, due righelli acrilici, due bicchieri di vetro, due calze di seta e due pezzi di stoffa fatta di fili acrilici. I materiali e le loro forme, presenti nei seguenti esperimenti, sono descritti in Figura 5.1. Invece di due calze di seta possiamo anche utilizzare due tessuti in poliammide sintetico.



Figura 5.1. Materiali utilizzati nei prossimi esperimenti.

I rocchetti di “lana” normalmente venduti nei negozi al giorno d’oggi sono realizzati al 100% con fili acrilici sintetici. Supporremo di usare un panno o una camicetta realizzata con questi fili acrilici. Per quanto riguarda le calze, bisogna fare attenzione ad utilizzare solo quelle in seta o di un tessuto in poliammide sintetico. Nelle figure seguenti si farà riferimento ad una di queste calze o ad uno di questi tessuti in poliammide sintetica come “calza di seta”.

Lo scopo di questi esperimenti è di mostrare che diversi materiali sfregati presentano differenti cariche elettriche. Prima di iniziare ogni esperimento dobbiamo toccare il versorium e i dischi di carta dei pendoli elettrici con il nostro dito per scaricarli. Questo deve essere ripetuto prima di avvicinare ai pendoli ciascuno degli oggetti sfregati. Il versorium sarà utilizzato per testare se i corpi sono neutri o carichi. Una cannuccia, un bicchiere, una calza e un righello devono essere neutri, cioè non devono influire sul versorium, perciò essi non saranno strofinati durante l’esperimento.

Per elettrizzare il vetro, di norma esso deve essere asciutto. Inoltre, è necessario che il vetro sia riscaldato prima di essere strofinato, altrimenti si scaricherà attraverso la nostra mano. La manipolazione lascia del sudore sul vetro e questo dovrebbe essere evitato. Esso può essere riscaldato dal fuoco o in un forno a microonde prima di ogni sfregamento. Se non si riesce a caricare un dato vetro, potrebbe essere necessario provare vetri di altra composizione, o altri tipi di vetro, fino a trovare un adeguato vetro caricabile.

I tessuti acrilici saranno utilizzati per strofinare tutti questi materiali. Possiamo mantenere la cannuccia di plastica (o il righello acrilico, o la calza seta) con il panno acrilico e tirarla rapidamente con l'altra mano. Possiamo anche strofinare il panno rapidamente sulla superficie del vetro. Quando strofiniamo un oggetto con la calza di seta, porremo la lettera S sul corpo. Quando questo oggetto viene strofinato con un panno acrilico, useremo la lettera A. Porremo due lettere sui dischi di carta che hanno prima toccato i corpi sfregati e, successivamente, ne sono stati respinti. La prima rappresenta la sostanza dell'oggetto toccato dal disco di carta. La seconda lettera rappresenta il materiale con cui è stato strofinato l'oggetto. I materiali che costituiscono gli oggetti saranno indicati con le lettere P, G, A, ed S. Essi indicano rispettivamente plastica, vetro (la lettera G proviene dalla parola "glass" in inglese), acrilico e seta. Per esempio, le lettere PA su un disco di carta indicano che esso ha toccato un pezzo di plastica che era stato strofinato con un panno acrilico e il disco di carta è stato poi respinto dalla plastica strofinata.

Per prima cosa tocchiamo il versorium ed i due dischi di carta dei pendoli con il nostro dito. Avviciniamo al versorium la cannuccia non strofinata (o il bicchiere, la calza, il righello, o il panno), osservando che tutti questi corpi sono elettricamente neutri, in quanto non dovrebbero orientare il versorium. Quando uno qualsiasi di questi materiali non strofinati orienta il versorium, esso deve essere sostituito da un altro materiale non strofinato che non orienta il versorium e sia quindi davvero elettricamente neutro. Durante l'esperimento strofineremo una cannuccia, un bicchiere, una calza e un righello. I seguenti esperimenti funzionano solo quando questi oggetti sono caricati per strofinio con successo. Per essere sicuri che questo meccanismo di carica abbia funzionato, avvicineremo al versorium ciascuno di questi oggetti prima di portarli in prossimità dei pendoli. Possiamo continuare con l'esperimento solo quando il versorium si orienta verso questi corpi. Questa precauzione è particolarmente rilevante nel caso del vetro. Come accennato prima, non è sempre facile mantenere elettrizzato un vetro strofinato. A causa del contatto con la nostra mano esso può essere facilmente scaricato. Da ora in poi supporremo che tutti gli oggetti strofinati siano stati caricati con successo.

Esperimento 5.1

Una cannuccia di plastica che è stata strofinata con un panno acrilico si muove vicino al primo pendolo neutro. Il pendolo è attratto, tocca la cannuccia, ed è poi respinto da essa (Figura 5.2 (a)). Togliamo la cannuccia e il pendolo torna verticale. Strofiniamo una calza di seta con un altro panno acrilico. Portiamo questa calza strofinata vicino al secondo pendolo neutro. Esso è attratto dalla calza, la tocca, e viene quindi respinto da essa (Figura 5.2 (b)). Togliamo la calza e il pendolo torna verticale.

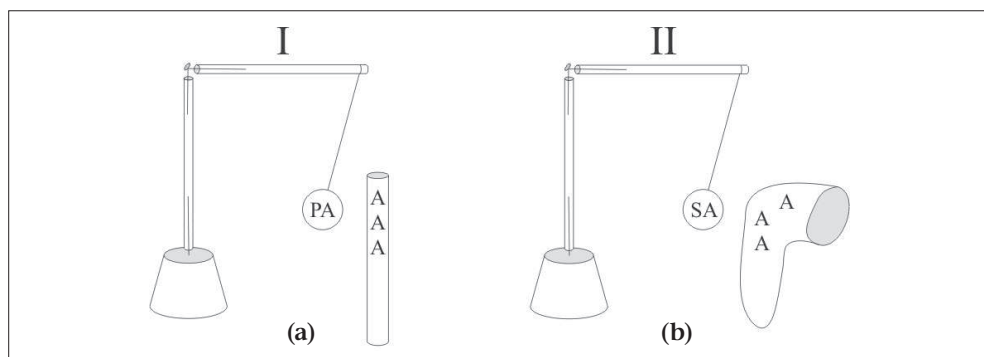


Figura 5.2. Dopo il contatto, i pendoli sono respinti dagli oggetti che li hanno toccati. La lettera A sulla cannuccia indica "strofinato con della stoffa acrilica". Sul disco di carta, le lettere PA indicano "toccato da plastica strofinata con della stoffa acrilica" mentre le lettere SA indicano "toccato da calza di seta strofinata con della stoffa acrilica".

Passiamo ora lentamente la seta strofinata vicino al primo pendolo, non permettendo loro un contatto reciproco. Si osserva una forte attrazione tra loro (Figura 5.3 (a))! Quando noi portiamo lentamente la cannuccia strofinata vicino al secondo pendolo, sempre evitandone il contatto, si osserva un'altra forte attrazione (Figura 5.3 (b)).

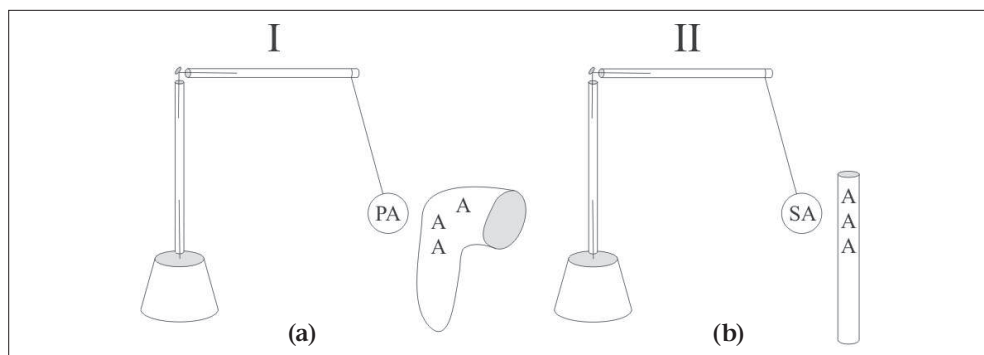


Figura 5.3. (a) Il primo pendolo, caricato per contatto con una plastica strofinata con della stoffa acrilica, è attratto da una calza di seta strofinata con della stoffa acrilica. (b) Il secondo pendolo, caricato per contatto con una calza strofinata con una stoffa acrilica, è attratto da una cannuccia di plastica strofinata con una stoffa acrilica.

Esperimento 5.2

Il bicchiere di vetro è riscaldato e strofinato con un panno acrilico. La porzione di vetro strofinata viene portata lentamente vicino al primo pendolo, che era stato caricato per contatto con la cannuccia nell'Esperimento 5.1, evitando che il vetro ed il disco di carta del pendolo entrino in contatto. Si osserva una forte attrazione tra il vetro strofinato ed il pendolo carico (Figura 5.4 (a)). D'altra parte, quando la porzione strofinata del vetro è lentamente portata vicino al secondo pendolo, che era stato caricato dal contatto con la calza di seta nell'Esperimento 5.1 (nessun contatto tra il vetro e il disco di carta del pendolo), osserviamo che si respingono l'un l'altro (Figura 5.4 (b)). Quindi possiamo concludere che il vetro caricato si comporta come la calza carica e non come la cannuccia carica.

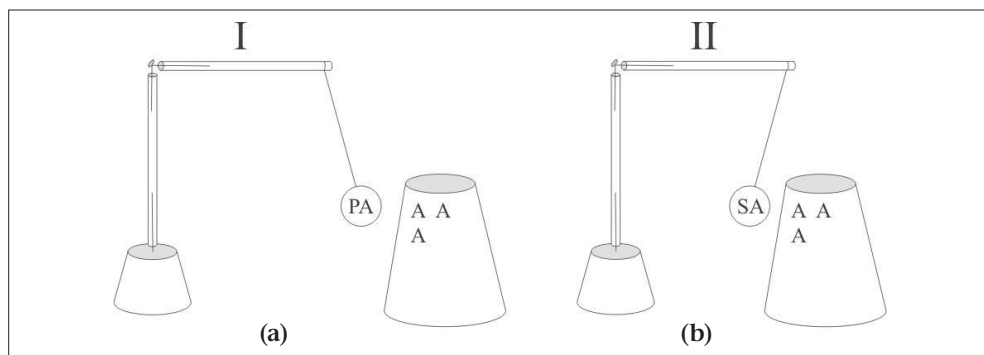


Figura 5.4. (a) Il primo pendolo, caricato per contatto con una plastica strofinata con un panno acrilico, è attratto da un bicchiere strofinato con un panno acrilico. (b) Il secondo pendolo, caricato dal contatto con una calza di seta strofinata con un panno acrilico, viene respinto da un bicchiere di vetro strofinato con un panno acrilico.

Esperimento 5.3

Strofiniamo il righello acrilico nel tessuto acrilico, dopodiché il righello viene avvicinato lentamente al primo pendolo, che era stato caricato dal contatto con la cannuccia strofinata con un panno acrilico, impedendo il contatto tra il righello e il pendolo. Osserviamo che si respingono l'un l'altro (Figura 5.5 (a)). D'altra parte, quando il righello strofinato viene portato lentamente in prossimità del secondo pendolo, che era stato caricato dal contatto con la calza di seta strofinata con un panno acrilico, essi sono fortemente attratti (Figura 5.5 (b)). Così possiamo concludere che il righello carico agisce come la cannuccia carica e non come la calza carica o come il bicchiere carico.

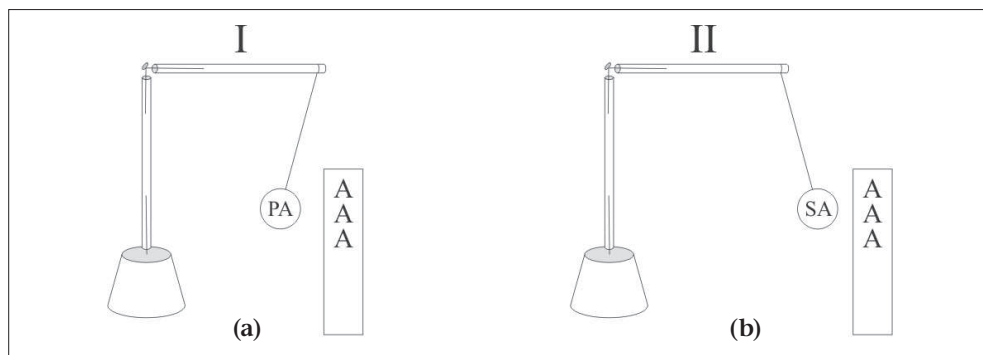


Figura 5.5. (a) Il primo pendolo caricato per contatto con una plastica strofinata con un panno acrilico, viene respinto da un righello acrilico strofinato con un panno acrilico. (b) Al contrario, il secondo pendolo caricato per contatto con una calza di seta strofinata con un panno acrilico, è attratto da un righello acrilico strofinato con un panno acrilico.

L'ordine di questo esperimento può essere invertito e il risultato resta lo stesso. Per esempio, scarichiamo i pendoli, strofiniamo il righello acrilico in una stoffa acrilica e questo righello carichi il primo pendolo per contatto. Il bicchiere di vetro sia riscaldato, poi strofinato con un panno acrilico e carichi il secondo pendolo per contatto. Quando il righello (o la cannuccia) strofinato con un panno acrilico è lentamente portato vicino al primo pendolo, senza contatto, si verifica una repulsione. Quando questo righello (o cannuccia) è lentamente portato in prossimità del secondo pendolo, ancora una volta senza contatto, si verifica un'attrazione. Al contrario, quando portiamo lentamente il vetro (o la seta) strofinata con un panno acrilico vicino al primo pendolo carico, senza contatto, si verifica una forte attrazione. Portando lentamente il vetro (o la seta) strofinato con il panno acrilico in prossimità del secondo pendolo carico, senza contatto, si produce una repulsione.

Questi esperimenti possono essere ripetuti con altri materiali producendo risultati simili. Ci sono sempre attrazioni o repulsioni tra corpi caricati per strofinio e pendoli caricati per contatto. E i corpi carichi possono essere divisi in due gruppi distinti. Nel nostro esempio, il primo gruppo è costituito dalla cannuccia di plastica strofinata con un panno acrilico, il righello acrilico strofinato con panno acrilico, il pendolo elettrico caricato per contatto con una cannuccia strofinata con un panno acrilico o con un righello strofinato con un panno acrilico. Il secondo gruppo è composto dal vetro strofinato con un panno acrilico, dalla calza di seta strofinata con panno acrilico, dal pendolo elettrico caricato per contatto con il vetro strofinato con un panno acrilico o con la calza di seta strofinata con un panno acrilico.

Osservazioni sperimentali: Si rileva quanto segue: gli oggetti nel primo gruppo si respingono a vicenda; gli oggetti nel secondo gruppo si respingono ugualmente, mentre quelli di diversi gruppi si attraggono l'un l'altro.

Definizioni: Gli oggetti del primo gruppo sono detti *carichi negativamente, negativi*, o diciamo che hanno acquisito una *carica negativa*. Oggetti del secondo gruppo sono detti *carichi positivamente, positivi*, o diciamo che hanno acquisito una *carica positiva*. Nelle figure che seguiranno rappresenteremo questa convenzione con i simboli “-” e “+”, rispettivamente.

Ci sono repulsioni tra corpi che hanno cariche dello stesso segno nelle Figure 5.2 (a) e (b), 5.4 (b), e 5.5 (a). Ci sono attrazioni tra corpi carichi con cariche opposte nelle Figure 5.3 (a) e (b), 5.4 (a), e 5.5 (b).

Esperimento 5.4

Le attrazioni descritte nell’Esperimento 5.1 sono diverse dalle attrazioni che avvengono tra un pendolo carico e un corpo neutro. Allo scopo di verificare ciò, ripetiamo la parte iniziale dell’esperimento, caricando il pendolo *I* negativamente per contatto con una cannuccia negativa (strofinata con panno acrilico) e caricando il pendolo *II* positivamente per contatto con una calza di seta positiva (strofinata con un panno acrilico). Quando noi portiamo lentamente la cannuccia strofinata vicino al pendolo *II*, senza permettere loro di entrare in contatto, osserviamo un’attrazione molto maggiore rispetto all’attrazione che si verifica tra questo pendolo e una cannuccia neutra.

L’intensità della forza può essere misurata mediante tre grandezze, vale a dire: (a) distanza minima, (b) angolo d’inclinazione per una distanza assegnata tra la cannuccia e la verticale passante attraverso il punto di appoggio del filo del pendolo e (c) angolo di inclinazione per una distanza assegnata tra la cannuccia e il disco del pendolo.

(a) La prima quantità è la distanza minima per cui l’attrazione comincia ad essere rilevata, ed essa è mostrata dal movimento iniziale del pendolo dovuto all’avvicinamento della cannuccia. Questa distanza minima è maggiore tra corpi di carica opposta rispetto a quella tra un corpo carico e un corpo neutro. (b) La seconda quantità è l’angolo di inclinazione di un pendolo rispetto alla verticale, fissata la distanza tra il corpo e la verticale passante per il punto di sostegno del filo del pendolo. Ancora una volta osserviamo che questo angolo è maggiore per l’attrazione tra corpi di carica opposta rispetto all’angolo per l’attrazione tra un corpo carico ed uno neutro. (c) La terza grandezza è l’angolo di inclinazione del pendolo rispetto alla verticale, a parità di distanza tra il disco e la cannuccia. Questo angolo è maggiore per l’attrazione tra i corpi di carica opposta rispetto all’angolo per l’attrazione tra un corpo carico ed un corpo neutro (Figura 5.6). Queste tre grandezze mostrano che detta forza di attrazione è chiaramente molto più grande tra corpi di carica opposta, rispetto a quella tra un corpo carico e un corpo neutro. Possiamo così concludere che l’intensità varia a seconda se l’oggetto portato vicino al pendolo è neutro o carico.

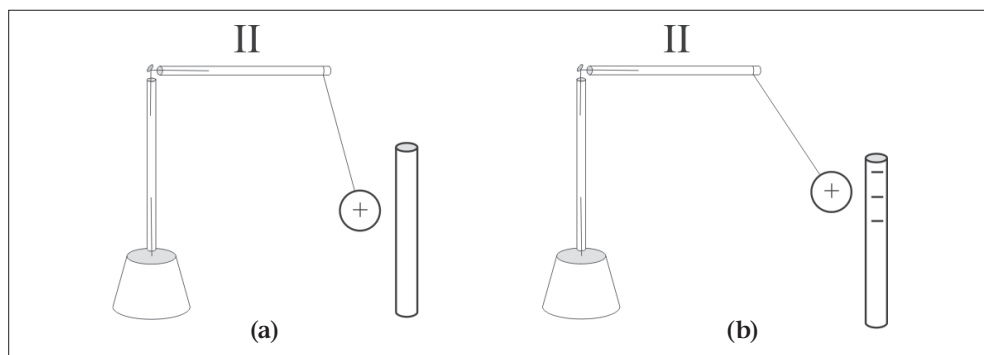


Figura 5.6. (a) L’attrazione tra un pendolo positivo e una cannuccia neutra è minore dell’attrazione tra un pendolo positivo e una cannuccia negativa, (b).

Allo stesso modo, quando portiamo lentamente la calza strofinata vicino al pendolo *I* caricato negativamente, senza consentire loro di toccarsi, si osserva una maggiore attrazione tra loro rispetto all'attrazione tra una calza neutra ed il pendolo *I* caricato negativamente (Figura 5.7).

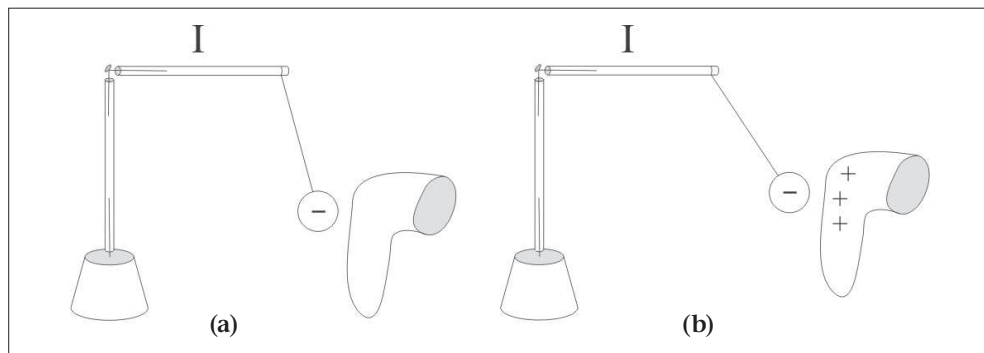


Figura 5.7. (a) L'attrazione tra una calza neutra e un pendolo negativo è minore dell'attrazione tra pendolo negativo e calza positiva, (b).

Esperimento 5.5

È anche possibile osservare un'altra distinzione tra corpi neutri e corpi carichi. Supponiamo che il pendolo *I* sia carico negativamente e il pendolo *II* sia carico positivamente, come nell'Esperimento 5.1. C'è repulsione quando un corpo carico negati-

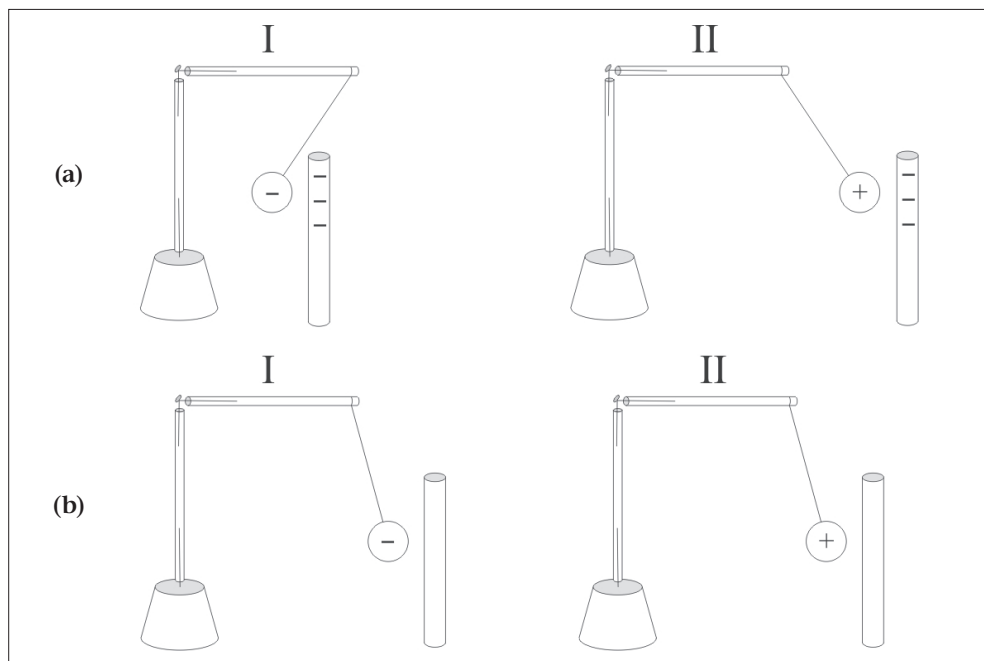


Figura 5.8 (a) Un corpo negativo (la cannuccia strofinata) respinge un altro corpo negativo (il disco di carta del pendolo *I*) ed attrae fortemente un corpo positivo (il disco di carta del pendolo *II*). (b) Un corpo neutro (la cannuccia non strofinata) attrae corpi negativi e positivi (i dischi di carta dei pendoli *I* e *II*). Inoltre, le intensità di queste forze nei casi (a) sono superiori a quelle che si manifestano nei casi (b).

vamente è lentamente avvicinato al pendolo *I*, mentre vi è attrazione quando questo corpo è lentamente portato vicino al pendolo *II*, si veda la Figura 5.8 (a). Il contrario accade quando un corpo caricato positivamente è lentamente avvicinato a questi pendoli. D'altra parte, vi è attrazione quando si passa un corpo neutro vicino sia al pendolo *I* che al pendolo *II*. Si veda la Figura 5.8 (b). A volte tale attrazione è così piccola che è difficile rilevarla.

Esperimento 5.6

Ora eseguiamo alcuni esperimenti analoghi all'Esperimento 4.4. Essi sono più facili da eseguire se due persone lavorano insieme. Essi richiedono due cannuccie di plastica, due panni in acrilico (vedi l'Esperimento 5.1) e due fiocchi di cotone, ad esempio di ovatta. Ogni piccola quantità di ovatta dovrebbe impiegare circa 10 secondi per cadere in aria da 2 metri d'altezza. Si possono anche usare semi di dente di leone al posto dei fiocchi di ovatta. Le due cannuccie devono essere strofinate per bene con un panno acrilico, in modo che diventino negativamente cariche. Ogni persona mantiene una cannuccia in orizzontale da una delle sue estremità. Con l'altra mano ogni persona rilascia l'ovatta poco al di sopra della sua cannuccia. L'ovatta è attratta dalla cannuccia e si attacca ad essa. I filamenti però sono spinti all'esterno, essendo respinti dalla cannuccia. Talvolta l'ovatta salta verso l'alto e comincia a cadere in aria. Quando ciò non accade, dobbiamo soffiare lentamente sull'ovatta finché non viene rilasciata dalla cannuccia. Possiamo quindi farla fluttuare in aria spostando continuamente la cannuccia che la respinge dal basso. In questa situazione l'ovatta e la cannuccia sono negativamente cariche.

Il nuovo esperimento può ora cominciare. Entrambe le persone stanno mantenendo i loro fiocchi fluttuanti in aria sopra le loro cannuccie sfregate. Ora dovrebbero cercare di dirigerli l'uno verso l'altro, cercando di metterli in contatto in aria. Tuttavia, essi non si toccano mai, per quanto ci sforziamo. Essi non si avvicinano mai abbastanza da entrare in contatto. È facile capire questo fatto utilizzando principio ACR di Du Fay. Ogni pezzo fluttuante di cotone è respinto dalla rispettiva cannuccia in quanto entrambi hanno cariche dello stesso segno (negativo in questo caso). Poiché entrambi sono anch'essi carichi negativamente, si respingono l'un l'altro. In conclusione, non possiamo farli toccare, per quanto ci sforziamo (Figura 5.9).

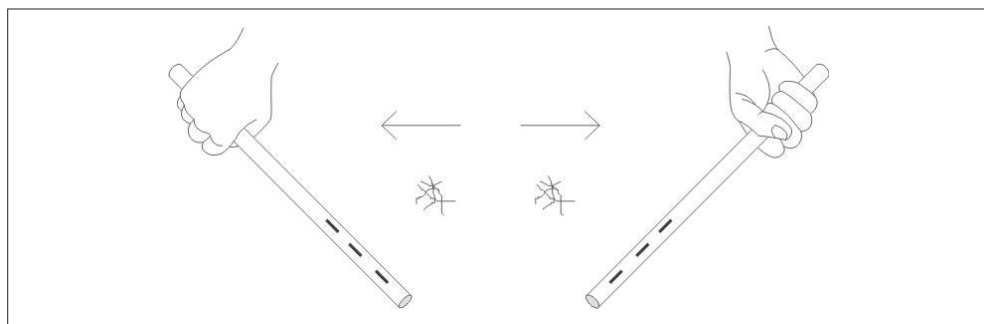


Figura 5.9. Non è possibile far collidere due pezzi di cotone carichi negativamente.

Esperimento 5.7

In questo esperimento utilizziamo di nuovo due cannuccie di plastica che sono state caricate negativamente strofinandole con un panno acrilico, come nell'Esperimento 5.6. Ma ora adoperiamo un solo fiocco d'ovatta. Inizialmente facciamo fluttuare sopra la cannuccia che è stata strofinata con un panno acrilico, in virtù del meccanismo ACR,

come nell'Esperimento 4.4. A questo punto portiamo la seconda cannuccia negativa orizzontalmente nei pressi del cotone fluttuante. Osserviamo che questo si allontana da detta cannuccia, dato che è anche respinto da essa (Figura 5.10).

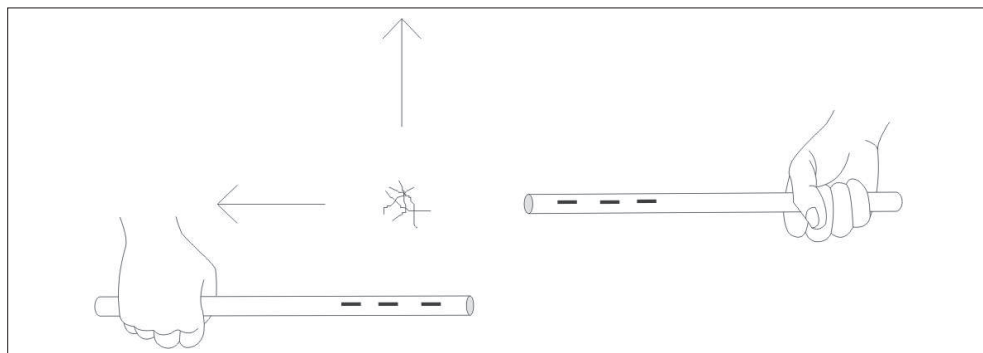


Figura 5.10. Le forze elettriche che agiscono su un pezzo di cotone negativamente carico.

Esperimento 5.8

Ripetiamo l'Esperimento 5.7, facendo inizialmente fluttuare il fiocco negativo sopra una cannuccia di plastica caricata negativamente. Questa volta portiamo un bicchiere di vetro carico positivamente (cioè, precedentemente riscaldato e strofinato con un panno acrilico) a fianco del pezzo di ovatta. L'ovatta ora è attratta dal vetro e si muove verso di esso (Figura 5.11). È meglio effettuare un avvicinamento lento, evitando il contatto tra l'ovatta e il vetro, in modo da impedire all'ovatta di caricarsi mediante il meccanismo ACR, questa volta positivamente.

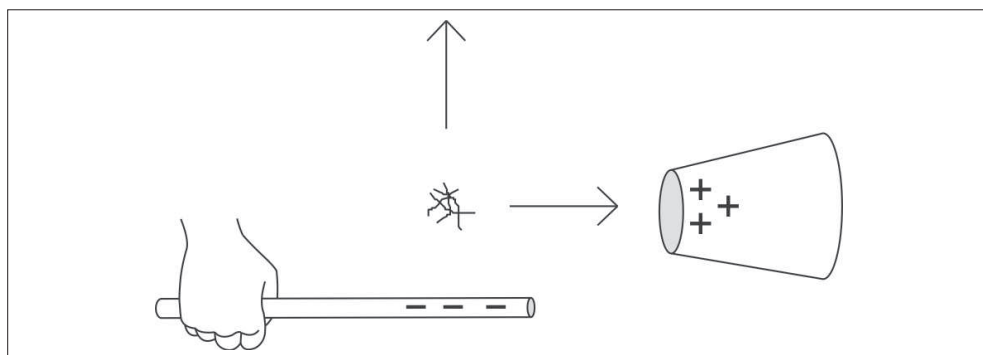


Figura 5.11. Un pezzo di cotone carico negativamente è attratto da un vetro carico positivamente.

Esperimento 5.9

Ora usiamo un fiocco di ovatta, due panni in acrilico, una cannuccia di plastica e un bicchiere di vetro. Questo esperimento dovrebbe essere eseguito da due persone. Tuttavia, con un po' di pratica anche da una sola persona. La cannuccia e il bicchiere di vetro saranno strofinati con un panno acrilico.

Sappiamo che in questo caso la cannuccia diventerà negativa e il bicchiere positivo. Per creare una forte carica sul vetro è importante riscaldarlo prima dello sfregamento, come accennato in precedenza.

L'inizio di questa attività è identica all'Esperimento 4.4. Cioè, strofiniamo il bicchiere contro il tessuto acrilico e teniamo il bicchiere dal lato non strofinato. Rilasciato il fiocco sopra di esso, l'ovatta è attratta dalla porzione strofinata del bicchiere, la tocca, e le sue fibre poi si drizzano verso l'esterno. Talvolta l'ovatta salta via dal bicchiere dopo pochi secondi. Se questo non accade, possiamo ancora soffiare sull'ovatta leggermente fino a quando non viene lasciata libera dal bicchiere. Se poniamo il bicchiere al di sotto dell'ovatta, possiamo farla fluttuare sopra ad esso. A volte questo non avviene immediatamente, cosicché esso viene attratto una o più volte dal bicchiere fino a quando non acquisisce una carica sufficiente per essere fatto aleggiare sopra di esso. Più il vetro è elettrizzato, prima riuscirà a tenere in aria il fiocco di ovatta al di sopra di esso. Ciò ottenuto, supporremo che questa porzione di esperimento sia completata. In questo caso il bicchiere e l'ovatta aleggiante sopra di esso sono entrambi carichi positivamente (Figura 5.12 (a)).

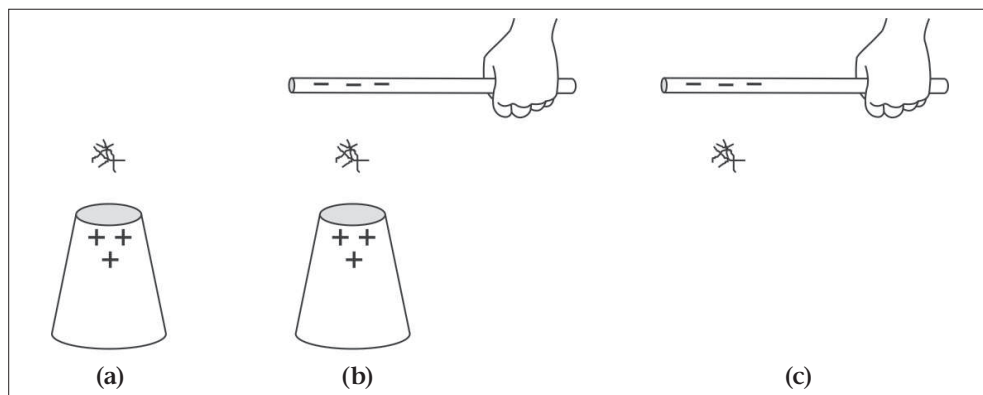


Figura 5.12. (a) Un fiocco di ovatta positiva può essere fatto fluttuare sopra un bicchiere positivo. (b) Esso può anche aleggiare tra un bicchiere positivo sotto e una cannuccia negativa sopra. (c) Possiamo togliere il vetro e tenere il fiocco in aria, sotto la cannuccia negativa.

Mentre l'ovatta fluttua sopra il bicchiere strofinato, piano piano portiamo una cannuccia di plastica carica negativamente in prossimità del cotone, avvicinandoci dall'alto. In questo caso si osserva che il cotone viene attratto dalla cannuccia, a differenza di quello che è successo nell'Esperimento 5.7. Idealmente l'ovatta non dovrebbe toccare la cannuccia di plastica. Cioè, ogni volta che il cotone si muove verso la cannuccia, la cannuccia dovrebbe esserne allontanata. Acquisendo pratica possiamo mantenere il cotone fluttuante tra il bicchiere sotto e la cannuccia sopra (Figura 5.12 (b)).

In questo caso è persino possibile rimuovere il vetro, cosicché il fiocco rimane fluttuante a causa solo dell'attrazione della cannuccia carica che sta sopra di esso! In questa situazione si ha l'opposto dell'Esperimento 4.4. Nell'Esperimento 4.4 il cotone negativo era fatto fluttuare dalla repulsione della cannuccia sottostante. Ora, invece, il cotone positivo continua ad aleggiare a causa dell'attrazione della cannuccia sopra di esso (Figura 5.12 (c)). Per far sì che il fiocco continui a fluttuare sotto la cannuccia è importante spostare la cannuccia costantemente; essa non può rimanere ferma rispetto alla Terra, in quanto questo è un equilibrio instabile. Quando la cannuccia è molto vicina all'ovatta, questa si muove velocemente verso di essa e le si attacca, facendo finire così l'esperimento. D'altra parte, se la cannuccia fosse a grande distanza al di sopra dell'ovatta, questa comincerebbe a precipitare verso terra. Inoltre, il fiocco tende a spostarsi da una parte o dall'altra del piano verticale passante per la cannuccia. Di conseguenza, è necessario mantenere la cannuccia in costante movimento, in modo tale che il fiocco possa seguire il suo movimento, ma senza toccarla.

Quando l'ovatta tocca la cannuccia che sta sopra di essa, si attacca a questa. A volte essa cade dopo pochi secondi. Possiamo a questo punto tenerla in aria sopra la cannuccia, poiché ha di nuovo acquistato una carica con lo stesso segno della cannuccia. In altri casi essa si staccherà dalla cannuccia solo quando vi soffiemo sopra. Ad ogni modo, quando essa fluttua di nuovo sopra la cannuccia, possiamo invertire la situazione. Avvicinando dall'alto un bicchiere positivo verso il cotone negativo, il fiocco sarà fatto fluttuare tra i due corpi: la cannuccia negativa al di sotto e il bicchiere positivo sopra.

Nell'Esperimento 5.16 verrà mostrato come eseguire questo esperimento più facilmente utilizzando due cannucce di plastica elettrizzate.

Esperimento 5.10

In questo esperimento abbiamo bisogno di due persone, una cannuccia di plastica, un bicchiere di vetro, due panni acrilici, due piccoli fiocchi di ovatta. Una persona strofina il bicchiere di vetro con un panno acrilico e quindi fa fluttuare un fiocco sopra di esso. In questo caso entrambi i corpi sono carichi positivamente (Figura 5.13 (a)). L'altra persona strofina la cannuccia con un panno acrilico e quindi tiene in fluttuazione l'altro fiocco sopra di essa. In questo caso, entrambi gli oggetti sono caricati negativamente (Figura 5.13 (b)).

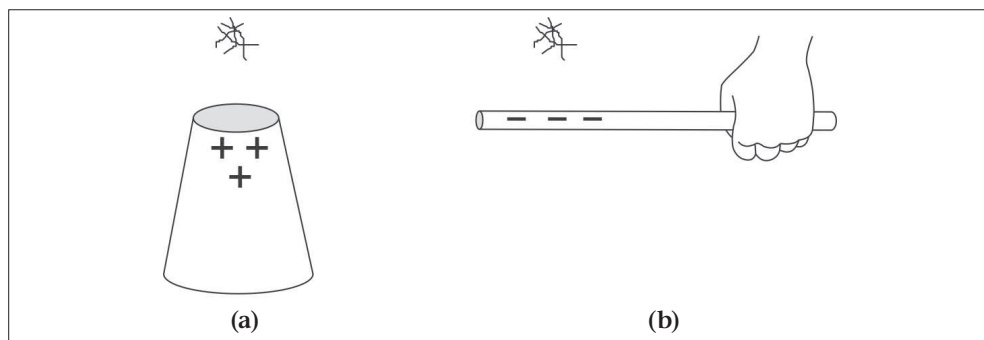


Figura 5.13. (a) Un fiocco di ovatta positivo fluttua sopra un bicchiere positivo. (b) Un fiocco di ovatta negativo fluttua sopra una plastica caricata negativamente.

Dopo di ciò, ogni persona cerca di dirigere il suo pezzo di cotone verso l'altro pezzo di cotone. E allora entrambi i pezzi di cotone si attraggono, si attaccano, e cadono a terra (Figura 5.14). Questo è il contrario di quanto accaduto nell'Esperimento 5.6.

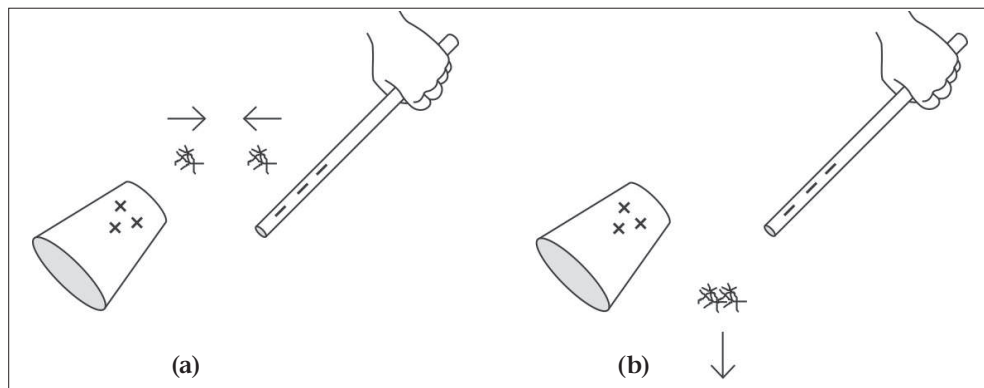


Figura 5.14 (a) Un fiocco positivo di ovatta è attratto da uno negativo. (b) Dopo essersi toccati, cadono insieme a terra.

5.2 Du Fay scopre due tipi di elettricità

Il primo a proporre l'esistenza di due tipi di elettricità fu Du Fay nel 1733, quando eseguì esperimenti simili a quelli appena presentati. Fino a quel tempo era noto che corpi elettrizzati attraevano corpi leggeri ed erano attratti da essi. Du Fay si era reso conto di un'altra regolarità, vale a dire la repulsione tra due corpi carichi. Questa era un'altra proprietà dei corpi carichi, come descritto nella Sezione 4.1. Egli aveva anche scoperto il meccanismo ACR, cioè, attrazione-contatto-repulsione. La sua scoperta di due tipi di elettricità fu completamente inaspettata. Questa gli si manifestò come conseguenza di un curioso risultato sperimentale che era totalmente contrario alle sue aspettative. Cominciò riproducendo gli esperimenti con una piuma fluttuante svolti da Guericke, Gray, e Hauksbee. Si veda l'Esperimento 4.4. Inizialmente elettrizzò un tubo di vetro per strofinio. Poi rilasciò foglioline d'oro piccole e sottili al di sopra del tubo strofinato. Esse furono attratte dal tubo, si attaccarono ad esso, e ne furono poi respinte. In questo modo cominciarono a fluttuare in aria sopra di esso. Ora citiamo le sue parole che descrivono il momento cruciale della sua grande scoperta (nostra enfasi in corsivo):

[...] È quindi certo che i corpi che sono diventati elettrici mediante comunicazione [cioè attraverso il meccanismo ACR], vengono respinti da quelli che li hanno resi elettrici. Ma sono essi respinti allo stesso modo da ogni altro tipo di corpo elettrizzato? E i corpi elettrizzati non differiscono affatto l'uno dall'altro, salvo che per la loro intensità di elettrizzazione? *L'esame di questa materia mi ha portato ad una scoperta che non avrei mai potuto prevedere* e di cui credo che nessuno fino ad ora abbia avuto la più pallida idea.

Ho iniziato a far volteggiare in aria con lo stesso tubo [di vetro elettrizzato] due foglie d'oro [elettizzate attraverso il meccanismo ACR], ed esse sono sempre rimaste distanti l'una dall'altra, per quanti sforzi io abbia fatto per farle avvicinare, e ciò avrebbe dovuto verificarsi a causa del fatto che entrambe erano elettrizzate; ma non appena una delle due [foglie] ha toccato la mano o qualsiasi altro corpo, entrambe le foglie si sono attaccate l'una all'altra immediatamente, a causa del fatto che avendo perso la foglia [che aveva toccato la mano] la sua elettricità, l'altra [foglia elettrizzata] l'ha attratta e si è mossa verso di essa. [Appare un esempio di questo esperimento nella Figura 5.15.] Tutto que-

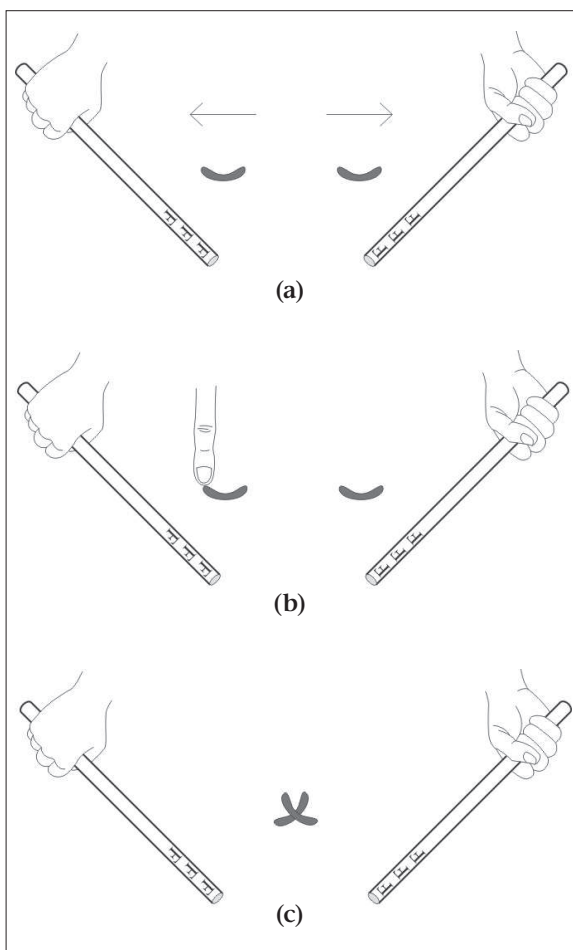


Figura 5.15. (a) Due foglie d'oro elettrizzate si respingono l'un l'altra e sono respinte dai tubi di vetro elettrizzati. (b) La mano tocca una delle foglie fluttuanti. (c) Dopo il contatto con la mano, le foglie si avvicinano reciprocamente.

sto era d'accordo con la mia ipotesi, *ma ciò che mi ha sconcertato in modo prodigioso*, è stato il seguente esperimento.

Dopo aver fatto aleggiare in aria una foglia d'oro mediante il tubo [di vetro elettrizzato], ho avvicinato la foglia con un pezzo di resina copale² strofinato ed elettrizzato e la foglia stessa si è attaccata immediatamente ad essa [cioè, la foglia d'oro è stata attratta dalla resina copale strofinata], e vi è rimasta. [Un esempio di questo esperimento appare in Figura 5.16.] *Confesso che mi aspettavo l'effetto completamente opposto*, dal momento che, secondo il mio ragionamento, il copale e la foglia d'oro, che sono entrambi elettrizzati, si sarebbero respinti a vicenda. [Cioè, Du Fay prevedeva una repulsione tra i due corpi elettrizzati, come aveva sempre osservato.] Ho ripetuto l'esperimento molte volte, ritenendo che non avessi rivolto la parte strofinata della barra [di copale] verso la foglia, la quale, di conseguenza, si avvicinava al copale come si sarebbe avvicinata al mio dito o a qualunque altro corpo [non elettrizzato]; ma, avendo fatto più prove per essere sicuro del risultato, mi sono del tutto convinto che era il copale ad attirare la foglia che il tubo [elettrizzato] respingeva. La stessa cosa è accaduta avvicinando alla foglia d'oro un pezzo di ambra [strofinato] o un pezzo di ceralacca strofinato.

Dopo varie prove che non mi hanno per niente soddisfatto, ho avvicinato la foglia d'oro che era stata respinta dal tubo, con una sfera di cristallo di rocca strofinata ed elettrizzata ed essa [la sfera] ha respinto questa foglia come il tubo. Un altro tubo [di vetro elettrizzato] accostato alla foglia lo ha respinto allo stesso modo, finalmente, non potevo dubitare che il vetro e il cristallo di rocca avevano effetti contrari alla resina copale, l'ambra e la ceralacca, di modo che la foglia era respinta dal primo [gruppo strofinato], a causa della elettricità che aveva acquisito, ed attratta dal secondo [gruppo strofinato]; *questo mi ha fatto pensare che ci sono stati due diversi tipi di elettricità* ed ho avuto conferma di questa idea tramite i seguenti esperimenti.

Heilbron fornì un'altra traduzione inglese del paragrafo cruciale del lavoro di Du Fay citato prima, il paragrafo che contiene la parola *confessare*³:

Confesso che mi aspettavo un effetto completamente diverso, perché secondo il mio ragionamento il copale, essendo elettrico, avrebbe dovuto respingere la foglia, che era anche elettrica. Ho ripetuto l'esperimento molte volte, credendo che non avevo rivolto la parte strofinata della barra (verso la) alla foglia, che di conseguenza si è avvicinata al copale come sarebbe a qualsiasi corpo [non elettrizzato]; ma, dopo aver soddisfatto

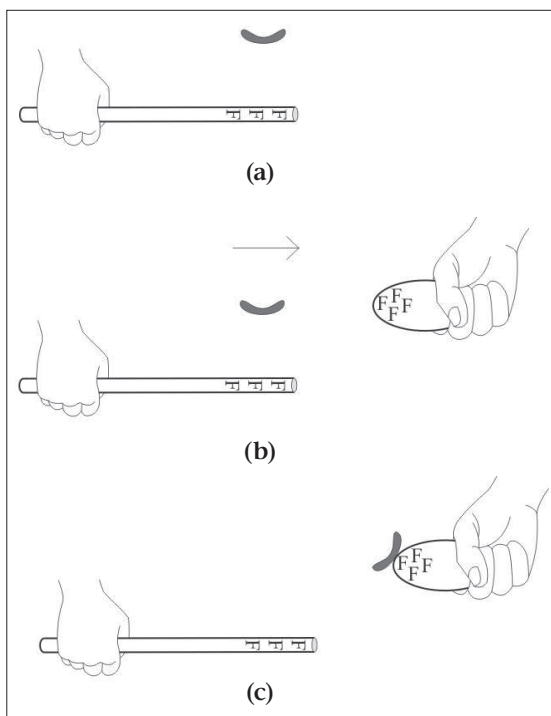


Figura 5.16. (a) Una foglia d'oro elettrizzata fluttua sopra un vetro strofinato. (b) Un pezzo di resina copale strofinato si muove vicino alla foglia che aleggia. La foglia è attratta dal copale strofinato, con la freccia che indica questa nuova forza che agisce su di essa. (c) La foglia si muove verso il copale strofinato!

me stesso completamente su quel risultato, ero del tutto convinto che il copale avrebbe attirato la foglia che il tubo respingeva.

Poiché la maggior parte dei materiali del primo gruppo che egli adoperò erano solidi e trasparenti come il vetro, egli chiamò il primo tipo di elettricità *elettricità vetrosa*. E a causa del fatto che la maggior parte dei materiali del secondo gruppo di cui si servì erano bituminose o resinose, chiamò questo secondo tipo di elettricità *elettricità resinosa*⁴:

Abbiamo quindi due elettricità di natura completamente diversa, vale a dire, l'elettricità di corpi trasparenti e solidi, come il vetro, cristallo, ecc. e l'elettricità di corpi bituminosi e resinosi, come l'ambra, la resina copale, la ceralacca, ecc.. Entrambi i tipi respingono i corpi che acquisiscono elettricità della stessa natura della propria e, al contrario, attraggono i corpi aventi un'elettricità di una natura diversa dalla loro.

[...]

Pertanto, ci sono qui due elettricità ben dimostrate, e io non posso evitare di dare loro nomi diversi per evitare la confusione dei termini o il problema di definire in ogni momento l'elettricità che desidero menzionare. Per questo motivo, io chiamerò dunque l'una elettricità vetrosa, l'altra elettricità resinosa, non che io pensi che ci siano solo i corpi della natura del vetro ad essere dotati dell'una [specie di elettricità], e le materie resinose dell'altro [tipo di elettricità], poiché ho già molte prove del contrario [punto di vista], ma [scelgo queste denominazioni] perché il vetro e il copale sono state le due sostanze che mi hanno dato i collegamenti per scoprire le due elettricità differenti.

Du Fay non specificò quale materiale egli usò per strofinare il tubo di vetro e le altre sostanze. Probabilmente strofinò queste sostanze con un panno fatto di lana, seta o cotone. In un lavoro di poco posteriore descrisse questa scoperta casuale con le seguenti parole⁵:

La fortuna ha messo sulla mia strada un altro principio, più universale e notevole del precedente [il meccanismo ACR, si veda la Sezione 4.8], e che getta una nuova luce sul tema dell'elettricità. Questo principio è che ci sono due elettricità distinte, molto diverse l'una dall'altra; una delle quali io chiamo *elettricità vetrosa*, e l'altra *elettricità resinosa*. La prima [elettricità] è quella del vetro, cristallo di rocca, pietre preziose, peli degli animali, lana, e molti altri corpi [strofinati]. La seconda è quella dell'ambra, copale, ceralacca, seta, filo, carta, e un gran numero di altre sostanze [strofinate]. La caratteristica di queste due elettricità è che un corpo dall'*elettricità vetrosa*, per esempio, respinge tutti quelli che sono della stessa elettricità; e, al contrario, attrae tutti quelli dall'*elettricità resinosa*; tanto che il tubo [di vetro], reso elettrico [per sfregamento], respingerà vetro, cristallo, peli degli animali, ecc. quando resi elettrici [per sfregamento o attraverso il meccanismo ACR entrando in contatto con il tubo di vetro strofinato] e attirerà la seta, filo, carta, ecc. anche se resi elettrici allo stesso modo [per sfregamento o attraverso il meccanismo ACR entrando in contatto con una copale strofinata]. L'ambra [strofinata] al contrario attirerà il vetro elettrico, e le altre sostanze [elettrizzate] della stessa classe, e respingerà la gommalacca, copale, seta, filo, ecc. [strofinati]. Due nastri di seta resi elettrici [per sfregamento], si respingono l'un l'altro; due fili di lana [elettrizzati] faranno lo stesso; ma un filo di lana [strofinato] e un filo di seta [strofinato] saranno reciprocamente attratti l'uno dall'altro. Questo principio spiega in modo molto naturale, perché le estremità dei fili, di seta o di lana, si allontanano le une dalle altre nella forma di una matita o di una scopa, quando hanno acquisito una qualità elettrica. Da questa linea di principio si può con la stessa facilità dedurre la spiegazione di un gran numero di altri *fenomeni*. Ed è probabile, che questa verità ci porterà all'ulteriore scoperta di molte altre cose.

Come vedremo in seguito, non usiamo più la terminologia di Du Fay. Anziché dei termini *elettricità vetrosa* e *resinosa* utilizziamo rispettivamente *elettricità positive* e *ne-*

gative. Altre espressioni simili utilizzate al giorno d'oggi sono *cariche elettriche positive e negative*, o *corpi caricati positivamente e negativamente*. Nonostante questa diversa terminologia, il presupposto fondamentale di Du Fay circa l'esistenza di due tipi di elettricità è ancora accettato. Nella pratica moderna è anche ancora accettato che cariche dello stesso tipo si respingono, mentre cariche di diversi tipi si attraggono reciprocamente.

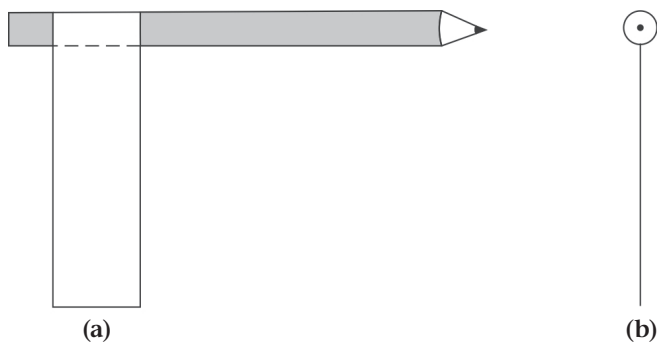
Un video molto interessante che mostra una riproduzione moderna dell'esperimento cruciale di Du Fay è stato realizzato da Blondel e Wolff⁶, "La danse des feuilles d'or".

5.3 Quale tipo di carica un corpo acquisisce per strofinio?

Negli esperimenti del Capitolo 2 abbiamo analizzato quali materiali fossero o non fossero attratti da un oggetto strofinato. Abbiamo anche trovato materiali che, sfregati, avevano il potere di attrarre corpi leggeri. Qui varieremo in modo più sistematico i corpi con cui gli oggetti vengono strofinati.

Useremo uno strumento molto pratico fatto di una striscia di plastica sottile e flessibile attaccata ad un supporto orizzontale (una matita, una penna, uno spiedino, o una cannuccia). La striscia può essere, ad esempio, larga 5 cm e lunga 15 cm. Una sua estremità è attaccata ad una matita con nastro adesivo. La matita sia tenuta in orizzontale e la striscia in verticale. Nella Figura 5.17 vediamo uno strumento come questo, di profilo e di fronte. Per analogia con il filo pendulo di Gray della sezione 4.9, possiamo chiamare questo strumento *filo di plastica pendulo* o *striscia di plastica pendula*.

Figura 5.17. Una striscia di plastica sottile e flessibile attaccata ad una matita. (a) Vista laterale. (b) Vista frontale.



Si può costruire una serie di questi strumenti con della plastica presa dallo stesso materiale (per esempio, con tutte le strisce tagliate dal medesimo sacchetto di plastica). Dovremmo evitare di manipolare le strisce per impedire loro di caricarsi per strofinio. Prima di iniziare gli esperimenti con questi strumenti dovremmo controllare che essi siano veramente neutri. Per prima cosa scarichiamo un versorium di metallo toccandolo con il dito. Portiamo poi lentamente ogni striscia di plastica pendula nei pressi del versorium, senza lasciarli toccare. Se il versorium non si orienta verso la striscia, possiamo considerare neutra la plastica. Quando il versorium viene orientato dalla striscia, questa deve essere scartata e dovremmo costruire un altro strumento in sostituzione.

Esperimento 5.11

Strofiniamo due di questi pezzi di plastica neutri con le dita, premendo la striscia tra indice e medio e poi spostando rapidamente le dita verso il basso lungo la plastica. Dopo di ciò, accostiamo una matita all'altra, in orizzontale. Le matite possono anche toccarsi. Osserviamo che le strisce si respingono a causa della reciproca repulsione. Se non ci fosse la repulsione rimarrebbero in verticale fianco a fianco. Questo è analogo all'Esperimento 4.1.

Ora prendiamo altre due strisce di plastica pendule neutre. Strofiniamole premendo ogni striscia tra due tubi neutri in PVC, ad esempio tubi di scarico dell'acqua. Per fare questo, per prima cosa controlliamo se questi tubi sono davvero neutri. Questo può essere fatto portando ogni tubo in prossimità di un versorium di metallo e facendo attenzione a che il versorium non sia orientato dal tubo in PVC. La sezione superiore della striscia di plastica sia ben compressa tra due di questi tubi in PVC neutri. Tiriamo poi la matita, con la sua striscia, rapidamente verso l'alto. Siamo in grado di verificare che la striscia è carica dopo questa procedura, portandola in prossimità di un versorium, che si orienta quindi verso la plastica strofinata. Questa procedura di sfregamento deve essere ripetuta con la seconda striscia di plastica pendula originariamente neutra. Ora avviciniamo queste due strisce che sono state strofinate coi tubi in PVC. Ancora una volta, esse si respingono.

C'è repulsione anche tra due strisce di plastica, inizialmente neutre, che sono state strofinate tra i capelli. Lo stesso accade per due strisce neutre dopo che sono state strofinate tra due tubi di gomma dura.

Questi quattro casi di repulsione sono rappresentati nella Figura 5.18.

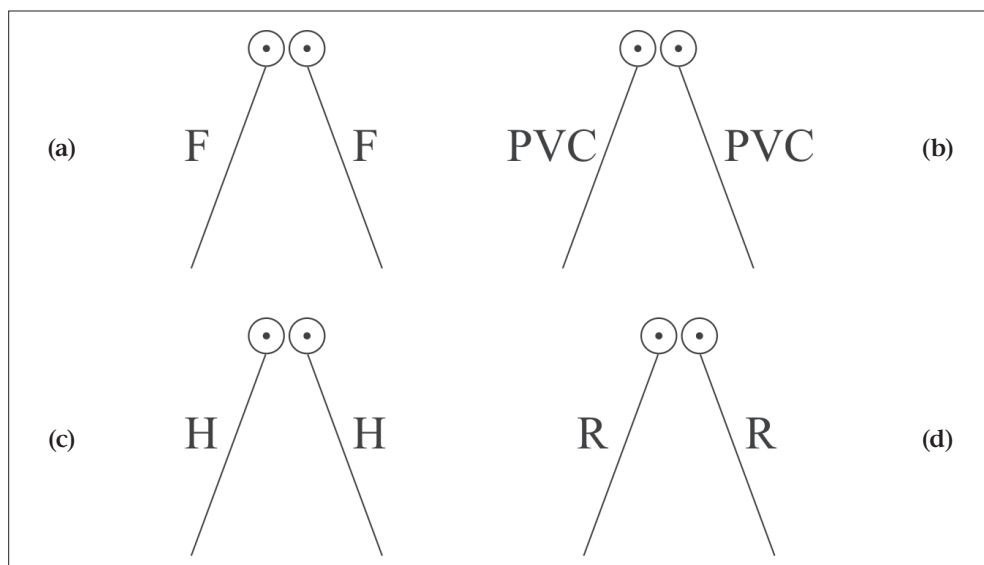


Figura 5.18. Repulsioni tra due strisce di plastica strofinate tra le dita (F), tra due tubi in PVC, nei capelli (H), o tra due tubi di gomma (R). Le lettere F, H e R vengono rispettivamente dalle parole inglesi "fingers", "hair" e "rubber hoses".

Esperimento 5.12

Ora prendiamo una delle strisce di plastica che sono state strofinate tra le dita. Portiamola vicina ad un'altra striscia di plastica che è stata strofinata coi tubi in PVC. Osserviamo che esse, tra loro, si attraggono.

Si osserva di nuovo un'attrazione quando portiamo una striscia di plastica strofinata tra le dita vicino ad un'altra striscia di plastica che è stata strofinata tra tubi di gomma. Lo stesso accade tra una plastica strofinata tra i capelli e una plastica che è stata strofinata tra i tubi in PVC; o tra una plastica che è stata strofinata tra i capelli e una plastica strofinata tra i tubi di gomma.

Questi quattro casi di attrazione sono rappresentati nella Figura 5.19.

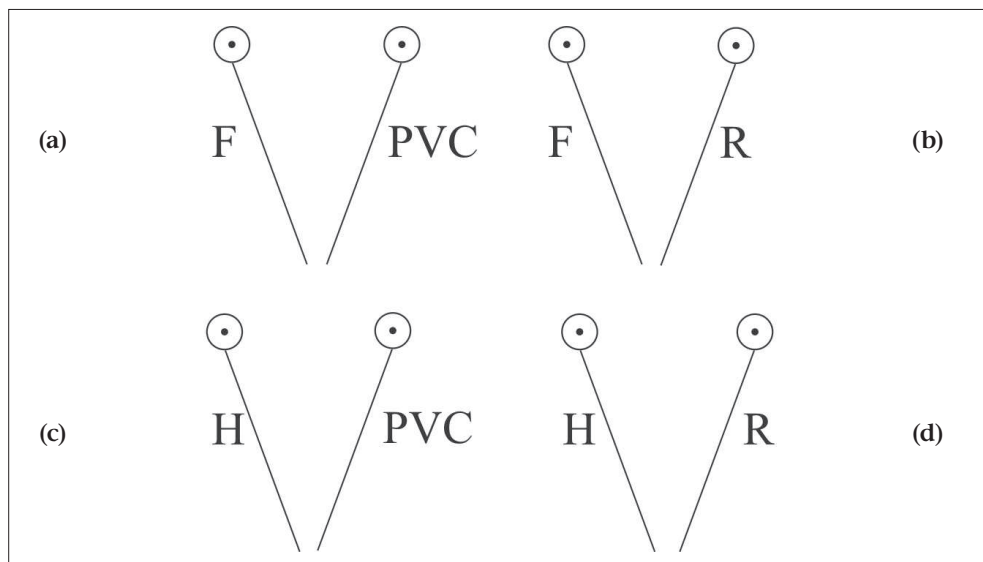


Figura 5.19. Quattro casi di attrazione tra due strisce di plastica strofinate con materiali diversi. (a) Dito e PVC. (b) Dito e gomma. (c) Capelli e PVC. (d) Capelli e gomma.

Esperimento 5.13

D'altra parte, vi è repulsione tra una plastica che è stata strofinata tra le nostre dita e un'altra plastica strofinata tra i capelli. Lo stesso accade tra una plastica strofinata tra i tubi in PVC e un'altra strofinata tra tubi di gomma (Figura 5.20).

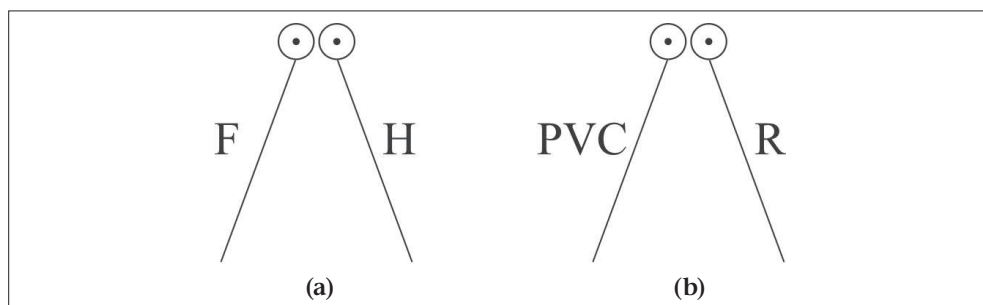


Figura 5.20. Repulsione tra due strisce di plastica sfregate con diverse sostanze. (a) Dita e capelli. (b) PVC e gomma.

Questi esperimenti dimostrano che un singolo materiale, nel nostro caso una striscia di plastica, può essere caricato sia negativamente che positivamente, a seconda del materiale con cui viene sfregato. Ciò sembra validare l'ipotesi di Du Fay sui due tipi di elettricità. D'altra parte, la sua supposizione che ciascun tipo di elettricità sia associata ad un gruppo specifico di materiali non è valida. Invece di parlare di elettricità vetrose e resinose, come suggerito da Du Fay, noi adottiamo la terminologia di *cariche positive e negative*. Nell'Esperimento 5.1 avevamo separato i corpi carichi in due gruppi distinti. Nel nostro esempio, il primo gruppo era composto da una cannucchia di plastica sfregata con un panno acrilico, un righello acrilico strofinato con un panno acrilico, un pendolo

caricato per contatto con la cannuccia di plastica strofinata e un pendolo caricato per contatto con il righello acrilico strofinato. Nel nostro esempio, il secondo gruppo era composto da un bicchiere di vetro strofinato con panno acrilico, una calza di seta sfregata con un panno acrilico, un pendolo caricato per contatto con questo vetro strofinato e un pendolo caricato per contatto con questa seta strofinata. Abbiamo visto che gli oggetti nel primo gruppo si respingevano tra loro, ugualmente facevano gli oggetti del secondo gruppo e un oggetto nel primo gruppo attraeva un oggetto nel secondo gruppo.

Convenzione: La convenzione ora è che gli oggetti del primo gruppo sono diventati *negativamente carichi*, o hanno acquisito *carica negativa*. Si dice inoltre che gli oggetti nel secondo gruppo sono diventati *positivamente carichi* o hanno acquisito *carica positiva*.

Lo stesso Du Fay cercò di determinare se il tipo di elettricità acquisita da un oggetto potesse dipendere dal materiale con cui veniva strofinato⁷. Per testare questa influenza egli strofinò un panno di seta riscaldato prima con le sue mani e poi con un altro panno di seta riscaldato. Egli verificò che la seta strofinata acquisiva la stessa elettricità resinosa in entrambi i casi. Inoltre strofinò lana e piume con le mani e con la seta. In entrambi i casi trovò che la lana e le piume acquisivano la stessa elettricità vetrosa. Dopo queste poche prove concluse che il materiale con cui strofiniamo un corpo poteva cambiare la quantità di elettrizzazione acquisita dal corpo, ma non il tipo di elettricità acquisita. In seguito questa conclusione ha dovuto essere modificata quando si è constatato che lo stesso corpo può acquisire entrambi i tipi di carica elettrica, a seconda del materiale con cui è stato strofinato. E quindi non ha più senso parlare di *elettricità vetrosa* o *elettricità resinosa*, poiché il vetro stesso, per esempio, può acquisire entrambi i tipi di elettricità, a seconda della sostanza con cui è strofinato.

Definizioni: Al giorno d'oggi si parla di *elettricità positiva e negativa* o di *cariche positive e negative*. Inoltre, è convenzionale chiamare la carica acquisita da una cannuccia di plastica strofinata tra i capelli, con la pelle, il cotone o la seta *negativa*. Allo stesso modo, la carica acquisita da una cannuccia di plastica sfregata con della gomma dura, un tubo in acrilico o PVC è chiamata *positiva*.

Esperimento 5.14

Al fine di determinare quali cariche sono state acquisite dalla plastica strofinata nell'Esperimento 5.11, facciamo un esperimento che inizia in modo molto simile all'Esperimento 5.1. Un pendolo elettrico *I* è caricato negativamente attraverso il contatto con una cannuccia di plastica caricata per strofinio con un panno acrilico. Un pendolo elettrico *II* è caricato positivamente per contatto con una calza di seta caricata per strofinio con un panno acrilico. Poniamo questi due pendoli ad una buona distanza l'uno dall'altro. La cannuccia strofinata e la calza strofinata vengono tolte dal tavolo. I fili dei due pendoli carichi pendono verticalmente. Strofiniamo una striscia di plastica pendula con le nostre dita. Portiamo lentamente questa plastica strofinata vicino al pendolo *I*, non permettendo loro di toccarsi. Osserviamo che il pendolo è respinto dalla plastica (Figura 5.21 (a)). Dopo questa procedura, portiamo lentamente la stessa plastica strofinata vicino al pendolo *II*, non permettendo loro di toccarsi. Osserviamo ora un'attrazione (Figura 5.21 (b)). Concludiamo pertanto che la plastica da noi sfregata con le dita è diventata carica negativamente.

Ripetendo l'esperimento con altre strisce di plastica ciascuna strofinata con un diverso materiale, si osserva il seguente caricamento: tra le dita (negativamente), tra i tubi in PVC (positivamente), tra i capelli (negativamente), tra tubi di gomma dura (positivamente).

Questa è la procedura per determinare quale tipo di carica ha acquisito un corpo strofinato con un certo materiale. Essenzialmente, abbiamo bisogno di sapere in anticipo che un corpo *I* è carico negativamente e che un corpo *II* è carico positivamente. Por-

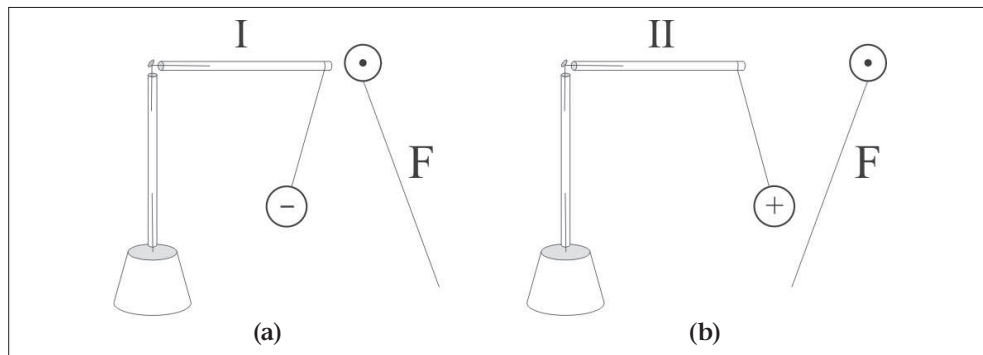


Figura 5.21. Procedura di Du Fay per scoprire il segno della carica di un corpo elettrizzato. In questo esempio la plastica strofinata viene respinta da un pendolo con carica negativa, (a), e viene attratta da un pendolo carico positivamente, (b). Quindi, possiamo concludere che la plastica è carica negativamente.

tiamo poi il corpo carico di prova vicino al corpo *I* e anche vicino al corpo *II*. Quando il corpo di prova viene respinto da *I* e attratto da *II*, si dice che ha una carica negativa. Quando è attratto da *I* e respinto da *II*, si dice che ha una carica positiva. Questa procedura è dovuta a Du Fay, anche se egli utilizzò i concetti di elettricità vetrose e resinose, invece dei nostri termini positivo e negativo⁸:

Per valutare il tipo di elettricità di un corpo, è necessario soltanto elettrizzarlo e presentarlo ad un pezzo di vetro [elettrizzato] e poi ad un pezzo di ambra [elettrizzato]; [il corpo] sarà costantemente attratto da uno [dei pezzi] e respinto dall'altro [pezzo]; [...]

Eseguiamo questa procedura in modo più sistematico nella Sezione 5.4.

Esperimento 5.15

Ora sappiamo che qualsiasi sostanza può essere caricata positivamente o negativamente, a seconda del materiale impiegato per strofinarla. Possiamo quindi ripetere l'Esperimento 5.1 in modo più pratico, ottenendo risultati più visibili.

Una cannuccia di plastica acquisisce una buona quantità di carica negativa se strofinata tra i capelli, sulla pelle o con cotone. Per tentativi ed errori si è constatato che essa acquisisce una buona quantità di carica positiva strofinandola tra due tubi di gomma dura. Per caricare la cannuccia, tagliamo due pezzi di questo tipo di tubo. Poniamo un'estremità della cannuccia tra questi ultimi, facciamo sì che essi risultino ben compressi e tiriamola rapidamente fuori. Una cannuccia di plastica acquisisce anche una buona quantità di carica positiva strofinandola in questo modo tra due tubi in PVC.

Carichiamo il disco di carta del pendolo *I* tramite il meccanismo ACR attraverso il contatto con una cannuccia di plastica strofinata con i capelli. Dopo il contatto, questo pendolo è respinto dalla cannuccia. Carichiamo il disco di carta del pendolo *II* per contatto con una cannuccia di plastica strofinata contro due tubi in gomma dura. Dopo il contatto, questo pendolo è respinto dalla cannuccia.

Comunque sia, quando portiamo lentamente quest'ultima cannuccia strofinata vicino al pendolo *I*, senza consentire il contatto, tra di loro ci sarà un'attrazione. Allo stesso modo, sempre senza permettere il contatto, ci sarà attrazione quando portiamo lentamente la prima cannuccia strofinata vicino a pendolo *II*.

Il vantaggio di questa procedura rispetto a quella adottata nell'Esperimento 5.1 è che è più facile e più pratico acquisire una buona quantità di carica positiva con una cannuccia di plastica strofinata tra due tubi in gomma dura, che con un bicchiere di vetro (o un panno di seta) strofinato contro un panno acrilico. In particolare, è difficile elettrizzare per strofinio i vetri moderni mentre li si tiene con la mano.

Esperimento 5.16

L'Esperimento 5.9 può essere ripetuto più facilmente utilizzando due cannucce di plastica strofinate con materiali diversi (siccome lo stesso oggetto strofinato con materiali diversi acquisirà cariche diverse), invece di utilizzare una cannuccia e un bicchiere di vetro strofinati con lo stesso materiale. Usiamo anche un seme di dente di leone, o un fiocco d'ovatta che richieda circa 10 secondi per cadere da un'altezza di 2 metri. Strofiniamo una cannuccia tra i capelli per caricarla negativamente. Strofiniamo un'altra cannuccia contro due tubi di gomma dura per caricarla positivamente, come nell'Esperimento 5.15. Si tengano queste due cannucce orizzontalmente ma separate l'una dall'altra.

Il seme di dente di leone viene rilasciato sopra la cannuccia negativa. Esso è attratto dalla cannuccia, la tocca, ed è quindi respinto da essa (se non salta direttamente lontano dalla cannuccia, possiamo soffiare delicatamente su di esso). Il seme di dente di leone acquisisce una carica negativa attraverso il meccanismo ACR. Esso può quindi essere fatto fluttuare sopra la cannuccia, come nell'Esperimento 4.4 (Figura 5.22 (a)).

Ora portiamo lentamente la cannuccia positiva sopra il seme di dente di leone. La seconda cannuccia deve sempre rimanere al di sopra del seme, senza toccarlo.

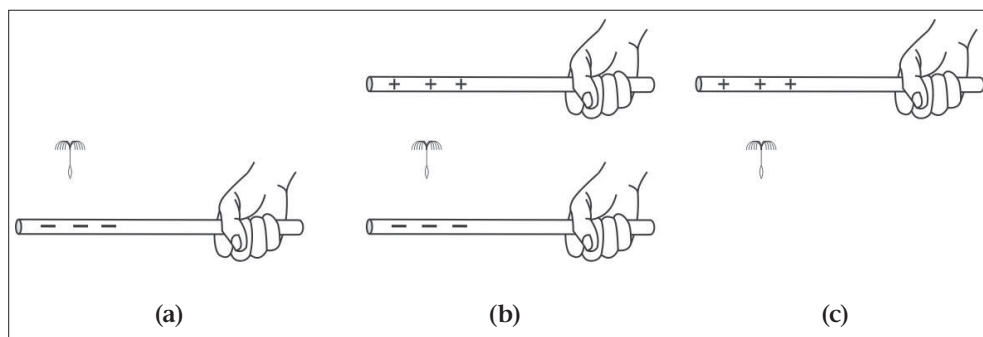


Figura 5.22. (a) Un seme di dente di leone negativo che fluttua sopra una cannuccia negativa. (b) Il seme di dente di leone negativo sospeso tra una cannuccia negativa ed una positiva. (c) Il seme di dente di leone negativo che fluttua sotto una cannuccia positiva.

In questo caso ci sarà un'attrazione tra il seme di dente di leone negativo e la seconda cannuccia positiva. Si può far levitare il seme di dente di leone negativo tra la cannuccia negativa inferiore e la cannuccia positiva superiore, come in Figura 5.22 (b). Questo può essere ottenuto solo evitando il contatto tra il seme di dente di leone negativo e la cannuccia positiva sopra di esso.

È possibile rimuovere la cannuccia inferiore negativa e mantenere il seme di dente di leone negativo fluttuante in aria al di sotto della cannuccia positiva, a condizione che non si tocchino (Figura 5.22 (c)). Con la pratica si acquisisce un buon controllo di questo esperimento. Ogni volta che il seme di dente di leone negativo si muove verso la cannuccia positiva superiore, si deve allontanare la cannuccia in fretta, ma mantenendola sempre sopra il seme di dente di leone. In questo modo il seme di dente di leone può essere sospeso in aria sotto la cannuccia, mentre oscilla su e giù.

Esperimento 5.17

L'Esperimento 5.15 può anche essere eseguito utilizzando il versorium di Du Fay, visto in Sezione 4.7. Costruiamo due di questi versorium, li chiameremo *I* e *II*, sempre controllando se sono veramente scarichi dopo averli costruiti. Ricordiamo di avvolgere un piccolo pezzo di alluminio, ritagliato da un comune foglio di alluminio per alimenti, alla fine di una gamba di ogni versorium di Du Fay.

Inizialmente strofiniamo una cannuccia di plastica nei capelli per caricarla negativamente. Carichiamo poi il versorium *I* attraverso il meccanismo ACR, come descritto nell'Esperimento 4.12. Dopo che l'alluminio viene rilasciato dalla cannuccia negativa, esso ne viene respinto. Strofiniamo un'altra cannuccia tra due tubi in gomma dura per caricarla positivamente. Carichiamo ora il versorium *II* positivamente, tramite il contatto con questa cannuccia. Dopo che l'alluminio ha rilasciato la cannuccia positiva, esso ne viene respinto.

Ora portiamo lentamente la cannuccia negativa nei pressi del versorium *II*, non permettendo loro di toccarsi. Osserviamo che l'alluminio è attratto dalla cannuccia. Portiamo lentamente la cannuccia positiva nei pressi del versorium *I*, non permettendo loro di toccarsi. Osserviamo che il foglio di alluminio è attratto da questa cannuccia anche nel secondo caso.

Esperimento 5.18

L'Esperimento 5.14 può essere eseguito anche con due versorium di Du Fay. Il foglio di alluminio del versorium *I* è caricato negativamente attraverso il meccanismo ACR, come nell'Esperimento 5.17. Con la stessa procedura, il foglio di alluminio del versorium *II* è caricato positivamente. Un'altra cannuccia di plastica viene strofinata contro un certo materiale. Dopo questa procedura, portiamo la parte strofinata di questa cannuccia vicino al versorium negativo *I*, non permettendo ai due di toccarsi. Supponiamo che essi si respingano, come in Figura 5.23.

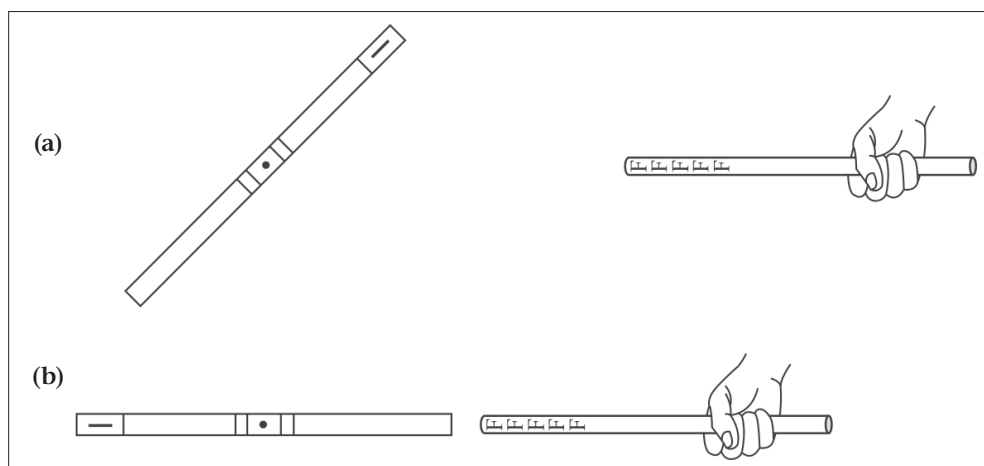


Figura 5.23. Foglio di alluminio di un versorium di Du Fay caricato negativamente, respinto da un corpo elettrizzato che si avvicina ad esso.

Passiamo ora la parte strofinata di questa cannuccia vicino al versorium positivo *II*, non permettendo loro di toccarsi. Supponiamo che si attraggano, come in Figura 5.24. Siccome cariche uguali si respingono a vicenda, e cariche opposte si attraggono, in questo caso si può concludere che, nel precedente strofinio, la cannuccia è diventata negativa. La stessa procedura può essere utilizzata per determinare il segno della carica su altri materiali elettrizzati per strofinio con materiali diversi.

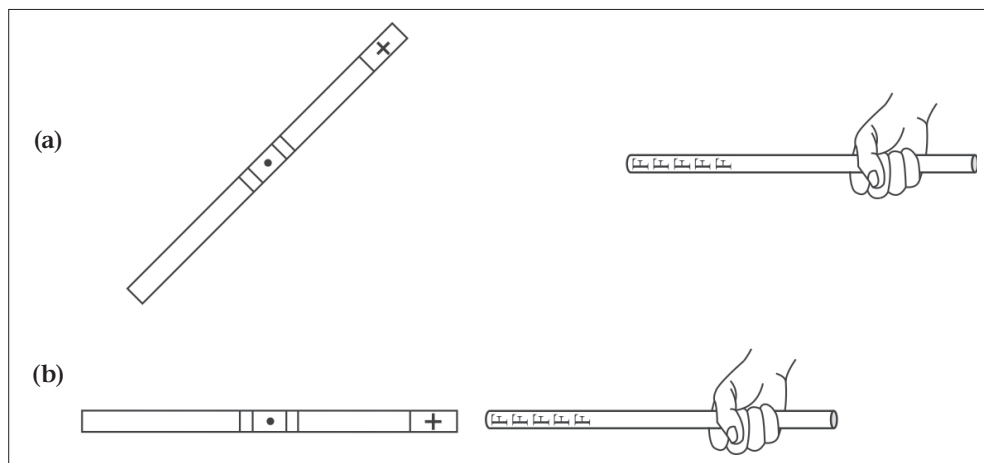


Figura 5.24. L'alluminio di un versorium di Du Fay caricato positivamente, attratto da un corpo elettrizzato che è stato avvicinato ad esso.

Du Fay creò questo tipo di versorium come strumento pratico e sensibile per determinare il tipo di elettricità acquisita dagli oggetti che assumono pochissima elettricità. Inizialmente costruì un versorium di metallo, ma più tardi si accorse che, per i suoi scopi, sarebbe stato meglio avere versorium di vetro o cera. Allora lui descrisse un esperimento analogo all'Esperimento 5.18^o:

C'è ancora un altro modo molto semplice per conoscere il tipo di elettricità di un corpo per il quale questa virtù è molto debole [...] Per il momento eviterò [di presentare] al lettore i faticosi e scoraggianti dettagli degli esperimenti difettosi o imperfetti e dirò solo che per avere successo, è necessario utilizzare un ago di vetro [un versorium fatto di vetro] posto sopra un lungo perno di vetro, questo ago deve avere in una delle sue estremità una sfera metallica cava, e nell'altra [estremità] un contrappeso di vetro, è necessario asciugare tutte le sue parti e quindi è necessario comunicare l'elettricità alla sfera di metallo con un tubo [di vetro strofinato], o di qualsiasi analoga materia, la sfera [carica] sarà poi attratta da corpi che hanno un'elettricità resinosa e sarà respinta dai corpi che hanno un'elettricità vetrosa.

5.4 La serie triboelettrica

In questo esperimento illustriamo come la procedura pratica dell'Esperimento 5.14 possa essere utilizzata con una vasta gamma di sostanze strofinate contro diversi materiali. Sarà utilizzato un versorium di metallo per verificare se il corpo è neutro o carico. Inizialmente tocchiamo il versorium con il nostro dito, in modo da scaricarlo. Avviciniamo poi lentamente il corpo al versorium, senza toccarlo. Quando il versorium rimane in quiete, senza essere orientato verso il corpo, diciamo che il corpo è neutro. Quando il versorium viene orientato verso il corpo, diciamo che il corpo è carico.

Al fine di testare la carica acquisita da corpi strofinati, utilizziamo due pendoli elettrici caricati con elettricità opposte. Questi due pendoli sono tenuti sul tavolo, ad una buona distanza l'uno dall'altro. Prima di caricare i pendoli tocchiamo il disco di carta di ognuno di loro con il nostro dito. Carichiamoli poi per contatto. Una procedura semplice ed efficace è quella di strofinare una cannuccia di plastica ed avvicinarla ad uno dei pendoli. Il disco di carta è attratto dalla cannuccia strofinata, la tocca, e ne è quindi respinto, perché acquisisce una carica dello stesso segno.

Dalla nostra esperienza con questo tipo di esperimento, sappiamo che è facile caricare un pendolo negativamente. Dopotutto, una cannucchia di plastica acquisisce una grande quantità di carica negativa quando è strofinata contro diversi materiali: capelli, cotone, carta, ecc. Ci sono anche altri corpi che acquistano una buona quantità di elettricità negativa (il materiale con cui vengono strofinati è quello che di seguito viene indicato tra parentesi): tubo acrilico (foglio di carta, cotone, tessuto acrilico, capelli, poliammide sintetico), tubo in gomma dura (sacchetto di plastica, stoffa acrilica, poliammide sintetico, capelli, vetro), tubo in PVC (pelle umana, stoffa acrilica, poliammide sintetico, vetro), polistirolo (capelli), sacchetto di plastica (capelli), e seta (capelli).

È più difficile trovare materiali appropriati che acquisiscano una grande quantità di elettricità positiva per strofinio. Per poter caricare una cannucchia di plastica con una grande quantità di carica positiva abbiamo dovuto strofinarla contro due tubi in gomma dura (o contro due tubi in PVC), tirandola velocemente tra i tubi compressi. Vi sono altri oggetti che acquisiscono una buona quantità di carica positiva (il materiale con cui vengono strofinati è quello che di seguito viene indicato tra parentesi): vetro (panno acrilico), poliammide sintetico (tessuto acrilico), e seta (tessuto acrilico, tubi in gomma dura, tubi acrilici, e tubi in PVC).

Per caricare alcuni materiali aventi la forma di filo o di cavo (capelli, filo di cotone, filo di poliammide sintetico e filo di poliestere) abbiamo utilizzato la seguente procedura. Inizialmente, essi sono stati legati a una cannucchia di plastica per evitare di essere scaricati attraverso la nostra mano dopo lo sfregamento (Figura 5.25 (a)). Per verificare la carica acquisita da questi fili strofinati non abbiamo impiegato i pendoli carichi descritti in precedenza. Abbiamo usato, invece, adeguati supporti per sostenere una cannucchia carica negativamente (strofinata tra i capelli lungo la sua intera lunghezza) e una cannucchia carica positivamente (strofinata tra due tubi in gomma dura lungo tutta la sua lunghezza). Il supporto può essere identico a quello del pendolo di Figura 5.25 (b).

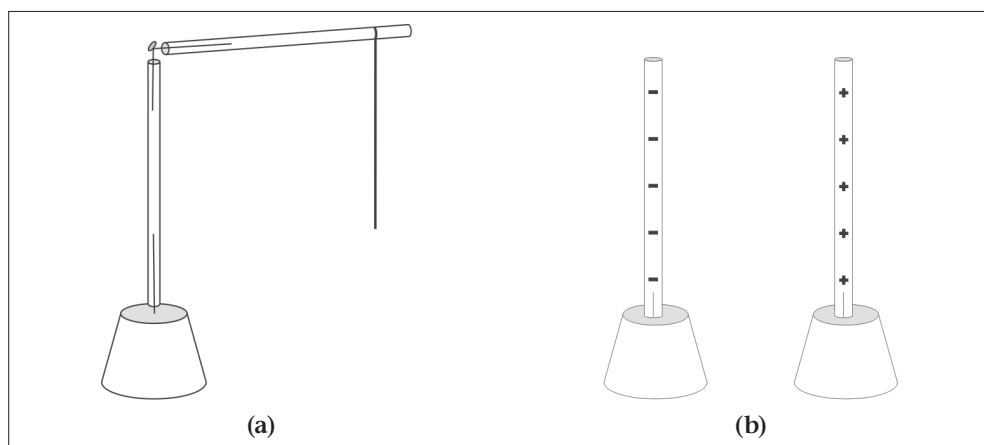


Figura 5.25. (a) Filo legato ad una cannucchia di plastica. (b) Cannucce di plastica elettrizzate in modo opposto.

Il filo strofinato, legato ad una cannucchia orizzontale, è stato poi spostato lentamente vicino alla cannucchia verticale caricata negativamente, senza toccarla. Successivamente esso è stato lentamente spostato vicino alla cannucchia verticale carica positivamente, senza toccarla. Osservando l'attrazione e la repulsione di questo filo in relazione a tali cannucce cariche, possiamo determinarne la carica acquisita per strofinio.

Gli oggetti testati sono stati i seguenti: pelle umana secca, sacchetto di plastica, carta velina, polistirolo, foglio di alluminio, cotone, panno di acrilico (vedi Esperimento 5.1),

poliammide sintetica, capelli, cuoio, lana d'acciaio, sughero, vetro liscio, tubo di gomma dura, cannuccia di plastica per bere, ceramica, tubo acrilico, tubo in PVC, cartoncino, legno, e seta. Abbiamo strofinato alcuni materiali con cotone idrofilo (ovatta), o strofinato un filo di cotone contro altri corpi. La poliammide sintetica di una calza da donna è stata utilizzata per strofinare alcuni materiali. Alcune calze cosiddette "di seta" sono in effetti fatte di poliammide sintetica. La poliammide sintetica è anche facilmente reperibile nei costumi da bagno. Abbiamo strofinato diversi oggetti contro i nostri capelli, ma abbiamo anche utilizzato un singolo capello umano legato ad una cannuccia di plastica e lo abbiamo strofinato contro altri materiali. Il legno utilizzato nei nostri esperimenti è stato ottenuto da spiedini per barbecue venduti nei negozi. Non conosciamo da quale tipo di albero questo legno sia stato ottenuto. Abbiamo usato un panno di seta per strofinare alcuni materiali. Abbiamo anche utilizzato un filo di seta, che è stato strofinato contro altri oggetti. Il vetro utilizzato per questi esperimenti era molto liscio.

La procedura adottata nella maggior parte dei casi è stata la seguente. Un pendolo veniva caricato negativamente toccandolo con una cannuccia strofinata tra i capelli. Un altro pendolo veniva caricato positivamente tramite il contatto con una cannuccia strofinata contro due tubi di gomma dura. Questi pendoli carichi erano messi lontani l'uno dall'altro, quanto basta perché i loro fili pendessero verticalmente. Anche le cannucce strofinate erano separate spazialmente e poste verticalmente su appositi supporti, per testare la carica acquisita da alcuni fili strofinati.

Per prima cosa abbiamo voluto verificare se alcuni oggetti, diciamoli *I* e *II*, fossero inizialmente scarichi spostando ciascuno di essi in prossimità di un versorium. Ciò visto, l'oggetto *I* sarebbe poi stato strofinato contro oggetto *II*. L'idea era che si potesse variare sia l'oggetto *I* che il *II* per determinare quale carica veniva prodotta.

Dopo aver fatto questo, abbiamo controllato se l'oggetto *I* aveva ricevuto abbastanza carica. A tal fine, l'abbiamo lentamente portato in prossimità del versorium, per vedere se il versorium ne veniva orientato. In caso affermativo, l'oggetto carico *I* sarebbe stato avvicinato lentamente al pendolo caricato negativamente, senza contatto, per constatare se quest'ultimo ne era attratto o respinto. L'oggetto *I* era poi piano piano spostato vicino al pendolo caricato positivamente, senza contatto. Si osservava se questo secondo pendolo era attratto o respinto dall'oggetto *I*. Se c'era attrazione (repulsione) del pendolo con carica negativa e anche repulsione (attrazione) del pendolo con carica positiva, avremmo concluso che l'oggetto *I* era diventato positivamente (negativamente) carico essendo stato strofinato contro l'oggetto *II*.

Ci sembra rilevante verificare se uno dei pendoli sia attratto o respinto dall'oggetto carico e se ciò accada ugualmente con l'altro pendolo, sempre con lo stesso oggetto. Tale accorgimento è necessario per evitare qualsiasi dubbio circa la carica acquisita dall'oggetto strofinato. La ragione di tale precauzione è che la carica acquisita per strofinio può essere spesso molto piccola. Ciò crea attrazioni e repulsioni di piccole intensità fra l'oggetto strofinato e i pendoli carichi, facendo sì che sia difficile eseguire precise osservazioni.

Di tanto in tanto si dovrebbe toccare il versorium con un dito, per scaricare l'elettricità residua che esso potrebbe aver acquisito. Inoltre, di tanto in tanto si dovrebbe anche caricare di nuovo ogni pendolo, poiché la loro elettricità diminuisce con il passare del tempo. Per quanto riguarda gli oggetti plastici o resinosi, non dobbiamo strofinare lo stesso oggetto con più di una sostanza. La ragione di questa precauzione è che a volte la carica acquisita durante la prima frizione permane nella plastica o nel corpo resinoso. Questo rende difficile sapere con chiarezza quale tipo di elettricità è stata acquisita per strofinio con la seconda sostanza. Al fine di testare la carica acquisita da una cannuccia di plastica, per esempio, si dovrebbe far ricorso ad una nuova cannuccia ogni volta che si cambia la sostanza che le si strofina contro. Inoltre, prima di strofinare la cannuccia, è sempre opportuno verificare se è veramente neutra.

Quando si è trattato di strofinare la cannuccia di plastica con materiali duri, abbiamo infilato in precedenza una delle sue estremità tra due pezzi di ciascuno di tali materiali (cioè tra due pezzi di polistirolo, tra due tappi e così via). Ciò fatto, abbiamo poi estratto via la cannuccia, in fretta, attenti a farla passare completamente attraverso questi due oggetti, sì che essa venisse sfregata per tutta la sua lunghezza.

Nel caso del vetro, cuoio, porcellana, legno e carta abbiamo bisogno di attenzioni particolari prima di manipolarli. Essi possono acquisire e mantenere una buona quantità di carica solo se, prima dello sfregamento, sono stati essiccati e, preferibilmente, riscaldati. Noi li abbiamo riscaldati in un forno a microonde, ma è anche possibile riscaldarli con un fiammifero.

In genere abbiamo strofinato il corpo *I* contro il corpo *II*. Quando è stato possibile abbiamo testato entrambe le cariche, la carica sul corpo *I* e la carica sul corpo *II*. Ma ciò non sempre è stato possibile. In alcuni casi, uno di questi corpi non ha mantenuto alcuna carica dopo lo strofinio. Normalmente questo corpo perde la sua carica a causa del contatto con la nostra mano, come nel caso della lana d'acciaio, del cotone o di un foglio di carta. Quando ciò è capitato, abbiamo testato solo la carica mantenuta dall'altro corpo.

Dopo aver seguito queste procedure ed effettuato gli esperimenti, abbiamo compilato una classifica dell'elettrizzazione riscontrata, disponendo i risultati in ordine dal positivo al negativo, come è mostrata nella Tabella 5.1.

+
capelli
vetro liscio
pelle umana
poliammide sintetica
cotone
seta
carta o cartoncino
cuoio
porcellana
foglio di alluminio
legno
sughero
panno acrilico
polistirolo
sacchetto di plastica
cannuccia di plastica per bere
acrilico rigido
tubo in PVC
gomma dura
-

Tabella 5.1. Serie triboelettrica.

Definizione: una lista come la Tabella 5.1 si chiama *serie triboelettrica*. Il prefisso “tribo” deriva dal greco. Il suo significato è lo strofinio o l’atto dello sfregamento. Una serie triboelettrica indica i tipi di elettrizzazione ottenuti per strofinio.

Questa Tabella deve essere letta come segue: quando strofiniamo il corpo *I* contro il corpo *II*, il corpo che si carica positivamente è posto più in alto dell’altro. Cioè, il corpo che è più vicino al simbolo + diventerà carico positivamente, mentre l’altro diventerà carico negativamente. Per esempio, quando la cannuccia viene strofinata nella seta, la seta diventerà positiva e la plastica negativa.

In questa Tabella non abbiamo incluso la lana d’acciaio perché qualsiasi corpo difficilmente acquisiva una forte carica elettrica mediante lo strofinio con essa. I corpi diventati negativi sono stati la cannuccia di plastica, il tubo acrilico, la gomma dura, il tubo di PVC, il polistirolo e il sacchetto di plastica. Un singolo capello umano, al contrario, è diventato positivo, strofinandolo con la lana d’acciaio. Il vetro, il legno, la porcellana, il panno acrilico, la poliammide sintetica e la seta non hanno acquistato una quantità di carica percepibile.

Questa serie triboelettrica non coincide con altre serie triboelettriche trovate in letteratura. È anche comune trovare due o più serie triboelettriche che sono diverse tra loro, anche includendo gli stessi corpi in ordine diverso. Ci sono buone ragioni per questa divergenza di risultati.

Ci sono molti tipi di vetro differenti l’uno dall’altro, realizzati con materiali diversi e frutto di varie procedure di fabbricazione. Questi aspetti certamente influenzano la loro capacità di acquisire cariche positive o negative per strofinio. Per esempio, alcuni tipi di vetro diventano carichi positivamente dopo essere strofinati nella nostra mano, mentre altri tipi di vetro diventano carichi negativamente. La stessa varietà di materiali e le procedure di fabbricazione si riscontra con altre sostanze (plastica, carta, gomma, ecc.). Il colorante usato per la seta e per altri tessuti o fili può a sua volta influenzare le loro proprietà. Il legno di alberi diversi può avere differenti proprietà. I capelli e la pelle umana possono essere più o meno grassi, possono anche essere impregnati di shampoo, creme e altre sostanze.

Chiunque esegua questi esperimenti dovrebbe cercare di costruire una propria serie triboelettrica, utilizzando i materiali a sua disposizione.

Nella Sezione 5.3 abbiamo visto che, nel 1733, Du Fay aveva strofinato seta, piume, e lana con la seta e con la sua mano. Egli trovò che ciascuno di questi corpi si caricava sempre di elettricità dello stesso tipo, indipendentemente dal materiale con il quale veniva strofinato. Da allora sono state rilevate alcune anomalie. John Canton (1712-1772), in particolare, scoprì che il vetro ruvido (non lucidato) può essere caricato positivamente strofinandolo con la flanella o negativamente strofinandolo con la seta oleata¹⁰. Queste ricerche sono state continuate da Johan Carl Wilcke (1732-1796), che nel 1757 pubblicò la prima serie triboelettrica, vale a dire¹¹: vetro liscio, lana, penne, legno, carta, ceramica, cera bianca, vetro grezzo, piombo, zolfo, e metalli diversi dal piombo. Nel 1759 Benjamin Wilson (1721-1788) pubblicò un’altra serie, forse ottenuta indipendentemente da Wilcke, cioè¹²: diamante, tormalina, vetro, ambra. Queste sono state le prime serie triboelettriche mai pubblicate.

5.5 Le attrazioni e le repulsioni sono ugualmente frequenti?

Esperimento 5.19

Nella Sezione 5.4 abbiamo visto come caricare una cannuccia di plastica positivamente e negativamente. Carichiamo una di queste cannucce negativamente per strofinio e ripetiamo l’Esperimento 4.10. Cioè, inizialmente tocchiamo il disco di carta del pendolo con il nostro dito. Quindi spostiamo la cannuccia negativa vicino al pendolo. Il disco di carta è attratto dalla cannuccia, la tocca, e poi viene respinto da essa. Quando tocchiamo il disco di carta con il nostro dito, esso si scarica. Possiamo quindi ripetere l’intera procedura.

Lo stesso esperimento deve essere fatto con una cannuccia carica positivamente. All'inizio scarichiamo il pendolo quando tocchiamo il disco di carta con il nostro dito. Quando avviciniamo la cannuccia positiva al disco, quest'ultimo è attratto dalla cannuccia, la tocca, e viene quindi respinto. Quando tocchiamo il disco di carta, esso si scarica. L'intera procedura può essere ripetuta.

Esperimento 5.20

Ora eseguiamo esperimenti analoghi agli Esperimenti 5.1 e 5.15. Carichiamo il pendolo *I* negativamente con il metodo ACR, come negli Esperimenti 4.7 e 5.19. Carichiamo il pendolo *II* positivamente con il metodo ACR, come nell'Esperimento 5.20. Portiamo lentamente la cannuccia negativa vicino al pendolo con carica negativa *I* e osserviamo la repulsione del pendolo. Passiamo ora la cannuccia negativa vicino al pendolo *II* carico positivamente, senza farli toccare. Osserviamo l'attrazione del pendolo. Portiamo lentamente la cannuccia positiva vicino al pendolo *II* positivamente carico e osserviamo che il pendolo è respinto. Passiamo ora la cannuccia positiva nei pressi del pendolo *I* carico negativamente, senza farli toccare. Il pendolo ne viene attratto.

Esperimento 5.21

Ora eseguiamo esperimenti analoghi all'Esperimento 4.8. Un pendolo viene caricato negativamente con il metodo ACR. Per far ciò, viene avvicinata al pendolo una cannuccia strofinata tra i capelli, come negli Esperimenti 5.1 e 5.15. Dopo che il disco di carta ne è respinto, togliamo la cannuccia. Ora portiamo lentamente il nostro dito vicino al disco di carta, senza farli toccare. Il pendolo è attratto dal dito.

La stessa procedura viene ripetuta con un pendolo carico positivamente. Una carica positiva può essere ottenuta quando portiamo una cannuccia strofinata tra due tubi in gomma dura vicino a un pendolo neutro. Dopo che il disco di carta viene respinto da questa cannuccia strofinata, togliamo la cannuccia. Ora portiamo lentamente il nostro dito vicino al pendolo, senza farli toccare. Ancora una volta il pendolo è attratto dal dito.

L'Esperimento 5.20 mostra ancora che un corpo *I* caricato negativamente respinge un altro corpo *II* caricato negativamente. Lo stesso accade per due corpi caricati positivamente. D'altra parte, se il corpo *I* è caricato negativamente e il corpo *II* è caricato positivamente, essi si attraggono. Lo stesso accade se *I* è positivo e *II* negativo.

Vediamo così due attrazioni e due repulsioni. Ciò potrebbe indicare che questi due fenomeni sono ugualmente frequenti. Tuttavia, come visto negli Esperimenti 5.19 e 5.21, un corpo carico attira normalmente un corpo neutro, sia se il corpo carico è positivo, sia se è negativo. E un corpo neutro come il nostro dito attrae non solo un corpo positivo, ma anche uno negativo. Questo mostra che le attrazioni sono molto più frequenti e comuni delle repulsioni, a causa del fatto che la maggior parte dei corpi sono macroscopicamente neutri. Quando carichiamo un certo corpo, esso tenderà ad attrarre quasi tutti i corpi attorno ad esso, sebbene possa accadere che questa attrazione sia di intensità molto bassa, difficile da rilevare o da osservare. Questo corpo caricato tenderà di respingere solo gli altri corpi che hanno una carica totale dello stesso segno. Se il secondo corpo ha una carica di segno opposto al primo, o se il secondo corpo è neutro, fra loro ci sarà attrazione.

In conclusione si può affermare che questi esperimenti illustrano il fatto che le attrazioni elettriche sono molto più comuni di quanto lo siano le repulsioni elettriche, in quanto si verificano molto più frequentemente.

Nella sezione 7.10 si discuterà la forza dell'interazione tra due corpi elettrizzati con cariche dello stesso segno.

5.6 Variazione della forza elettrica in funzione della distanza

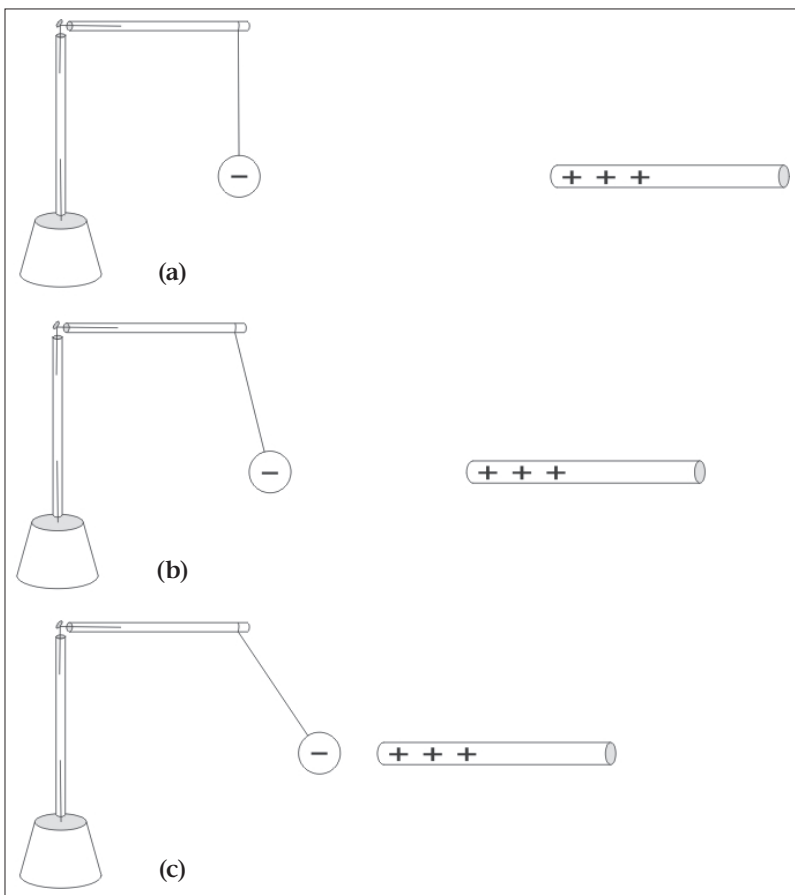
Fin dal più antico esperimento di elettrostatica, l'Esperimento 2.1, è noto che l'attrazione esercitata da un corpo carico su di un piccolo corpo leggero dipende dalla loro distanza. Infatti, corpi leggeri sono attratti visibilmente da un corpo strofinato solo quando la distanza tra loro è piccola. Quando la distanza tra questi due corpi è molto grande, tale attrazione non è facile da rilevare. Lo stesso accade con gli esperimenti col versorium, come l'Esperimento 3.1. Infatti, solo quando è portata vicino al versorium, la plastica strofinata fa orientare il versorium verso di essa. Lo stesso accade con tutti gli altri esperimenti descritti finora, visto che gli effetti avvengono solo quando vi è una piccola distanza tra i corpi interagenti.

Questi effetti possono essere osservati anche nelle attrazioni e repulsioni tra corpi carichi. Illustriamo questo fatto con un pendolo elettrico.

Esperimento 5.22

Un pendolo elettrico *I* è caricato negativamente col metodo ACR, come negli Esperimenti 5.1 e 5.15. Dopo questa procedura, mettiamo via la cannuccia negativa che l'ha caricato per contatto. In questa situazione il filo del pendolo torna in verticale. Carichiamo un'altra cannuccia positivamente strofinandola tra due tubi di gomma dura. Portiamo lentamente la cannuccia positiva vicino al pendolo negativo, senza contatto, fino a

Figura 5.26. Diminuendo la distanza tra il disco di carta negativo e la punta positiva della cannuccia strofinata, aumentiamo la forza di attrazione tra di loro.

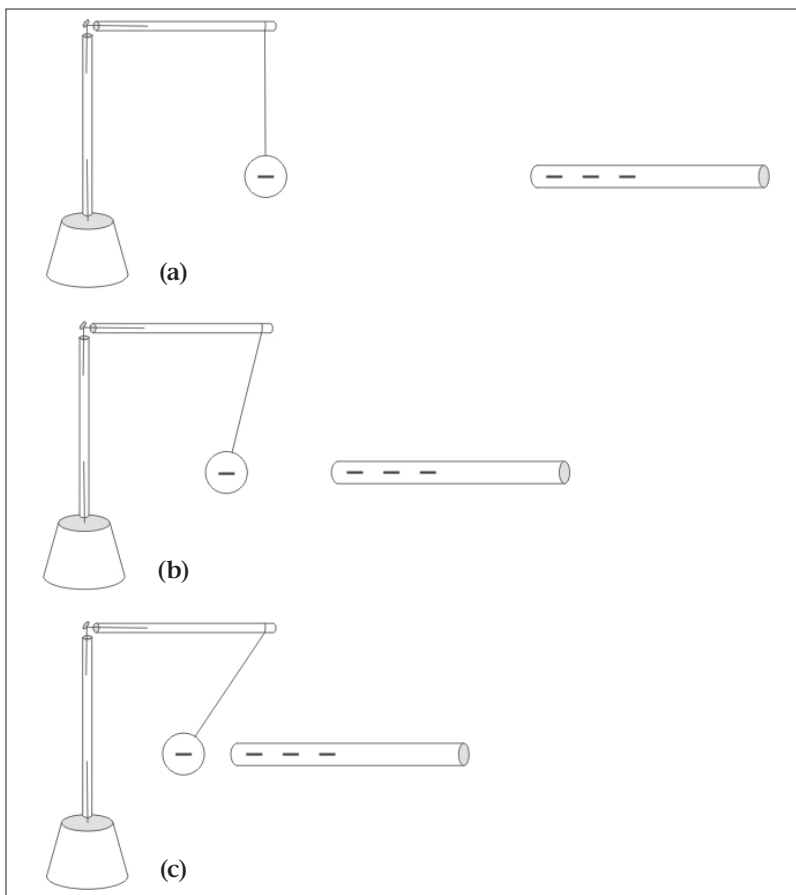


quando siamo in grado di rilevare la loro attrazione, che sarà resa evidente dall'inclinazione del filo rispetto alla verticale. La cannuccia orizzontale deve essere alla stessa altezza del disco di carta, avvicinandosi ad esso di lato. Diminuiamo lentamente la distanza tra il disco di carta e la punta della cannuccia strofinata. Osserviamo che diminuendo questa distanza, aumenta l'angolo di inclinazione del filo rispetto alla verticale (Figura 5.26). Questo dimostra che la forza di attrazione tra i corpi elettrizzati di carica opposta aumenta quando la distanza tra i corpi interagenti diminuisce. La forza è indicata in questo esperimento dall'angolo d'inclinazione del pendolo rispetto alla verticale.

Esperimento 5.23

Un pendolo elettrico I è caricato negativamente col metodo ACR, come negli Esperimenti 5.1 e 5.15. Dopo questa procedura, mettiamo via la cannuccia negativa che l'ha caricato per contatto. In questa situazione il filo del pendolo ritorna alla verticale. Ora riportiamo lentamente la cannuccia negativa nei pressi del pendolo carico fino alla distanza alla quale la repulsione inizia ad essere visibile, cosa che è indicata dalla deviazione del pendolo rispetto alla verticale. La cannuccia deve essere tenuta in orizzontale, alla stessa altezza del disco di carta e portata verso di esso dal lato. Diminuiamo poi lentamente la distanza tra il disco di carta e la punta strofinata della cannuccia. Osserviamo che quando questa distanza diminuisce, l'angolo d'inclinazione del filo rispetto alla verticale aumenta, come mostrato nella figura 5.27. E questo indica una forza di repulsione che aumenta al diminuire della distanza tra i corpi interagenti.

Figura 5.27. Diminuendo la distanza tra il disco di carta negativo e la punta negativa della cannuccia strofinata, aumentiamo la forza repulsiva tra loro.



In questo esperimento la cannuccia strofinata non dovrebbe avvicinarsi troppo al pendolo elettrizzato. Il motivo è che in alcune situazioni si possono attrarre l'un l'altro quando la distanza reciproca fra loro è troppo piccola. Questo sarà discusso nella sezione 7.10.

5.7 Variazione della forza elettrica con la quantità di carica

Finora non ci siamo presi la briga di misurare la quantità di elettricità (o la grandezza della carica elettrica). Generalmente questo viene fatto utilizzando la nozione di forza elettrica.

Siano A , B e C tre corpi le cui dimensioni sono piccole rispetto alla distanza tra loro. Considereremo i corpi A e B elettrizzati (per strofinio o tramite il meccanismo ACR). Chiamiamo F_{AC} la forza tra A e C quando sono separati dalla distanza d , con il corpo B lontano da questi due corpi. Chiamiamo F_{BC} la forza tra B e C , quando questi due corpi sono separati da una distanza d , con A lontano da questi due corpi.

Definizioni: Diciamo che la grandezza della carica A è uguale alla grandezza della carica B quando $F_{AC} = F_{BC}$. Se F_{AC} è più grande di F_{BC} , allora diciamo che la grandezza della carica A è maggiore della grandezza della carica B . Se F_{AC} è più piccola di F_{BC} , allora diciamo che la grandezza della carica A è più piccola della grandezza della carica B .

L'intensità della forza può essere misurata in diversi modi. Qui consideriamo situazioni in cui le distanze sono sempre uguali. Nell'Esperimento 2.1, per esempio, più sono i pezzi di carta raccolti dalla cannuccia, maggiore è la forza che essa esercita su di loro. Nell'Esperimento 2.8 l'intensità della forza è indicata dalla curvatura del flusso di liquido che cade. Nell'Esperimento 4.1 l'intensità di forza è indicata dall'angolo di apertura tra le strisce di plastica elettrizzate. Negli esperimenti con il pendolo elettrico, come nell'Esperimento 4.5, l'intensità di forza è indicata dall'angolo tra il pendolo e la verticale. Negli esperimenti con il filo di plastica pendulo l'intensità della forza è indicata dall'angolo di apertura tra le strisce di plastica, come nell'Esperimento 5.11.

Per esempio, date due cannucce di plastica elettrizzate A e B , abbiamo definito che la cannuccia più elettrizzata è quella che, alla stessa distanza dal tavolo o dal flusso del liquido in caduta, attira più pezzi di carta o causa una maggiore curvatura del liquido fluente (Figura 5.28). Il corpo C in questo caso è un pezzo di carta o il flusso di acqua. La cannuccia più elettrizzata sarà anche quella che, alla stessa distanza da un pendolo elettrico, provoca una maggiore inclinazione del pendolo rispetto alla verticale. La stessa definizione può essere applicata agli altri esperimenti descritti in questo libro.

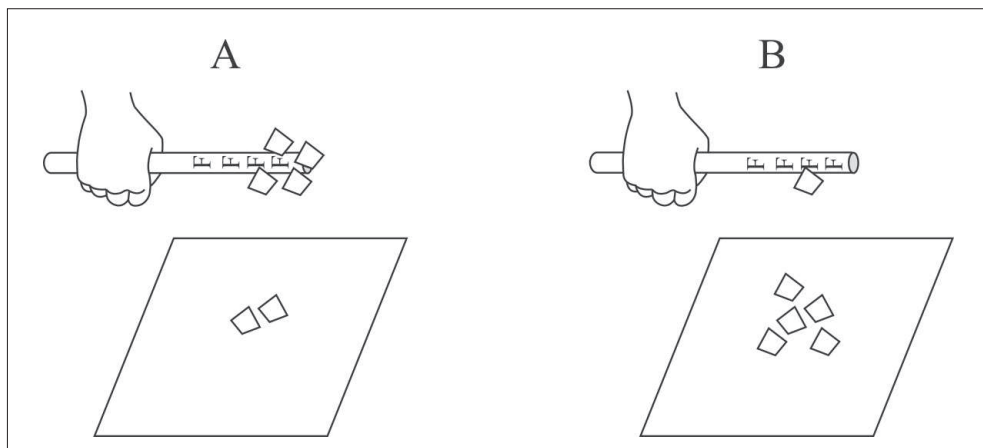


Figura 5.28. Le cannucce A e B sono alla stessa distanza da un tavolo. La cannuccia A è più elettrizzata della B perché attira più pezzi di carta.

Nella Sezione 5.6 abbiamo visto che l'intensità della forza aumenta quando la distanza fra i corpi interagenti diminuisce. Questo suggerisce un altro procedimento per misurare l'elettrizzazione di un corpo. Definiamo che la quantità di carica di un corpo è indicata dalla distanza alla quale la sua forza elettrica crea effetti visibili. Per esempio, supponiamo di avere due cannucce di plastica elettrizzate A e B della stessa dimensione. Supponiamo che A inizi ad attrarre pezzi di carta ad una distanza di 15 cm da un tavolo, mentre per B questa attrazione inizia solo quando è ad una distanza di 5 cm dal tavolo. In questo caso definiamo A più elettrizzata di B , cioè che A ha una maggiore quantità di carica elettrica rispetto a B (Figura 5.29).

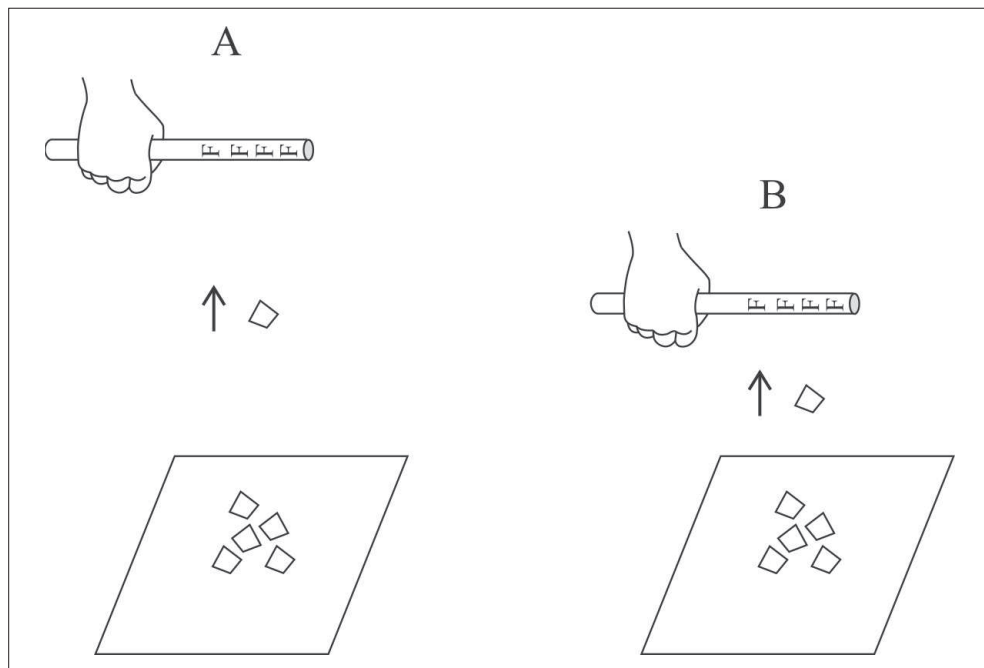


Figura 5.29. La cannuccia A è più elettrizzata della cannuccia B perché inizia ad attrarre i pezzi di carta ad una distanza maggiore dal tavolo.

Anche gli altri effetti inizieranno ad essere osservati o rilevati a una maggiore distanza per A che per B . Per esempio, consideriamo che il corpo A causi la deviazione del flusso d'acqua cadente (o del pendolo elettrico) quando è ad una distanza d_1 dall'acqua (o dal pendolo). Per il corpo B la distanza equivalente sarà d_2 . Quando A è più elettrizzato di B , si osserva che $d_1 > d_2$.

In conclusione, per definizione, la forza elettrica aumenta con la quantità di carica. Presentiamo ora alcuni esperimenti semplici ma non banali.

Esperimento 5.24

Scegliamo due cannucce di plastica elettrizzate per strofinio. Poniamone una in orizzontale e parallela ad un tavolo con molti pezzi di carta sopra. Supponiamo che attragga N pezzi di carta quando è ad una distanza d dal tavolo. Supponiamo inoltre che la seconda cannuccia elettrizzata attiri anche circa N pezzi di carta quando è alla stessa distanza d dal tavolo. Dalla precedente definizione in Sezione 5.7, concludiamo che esse hanno la stessa quantità di carica.

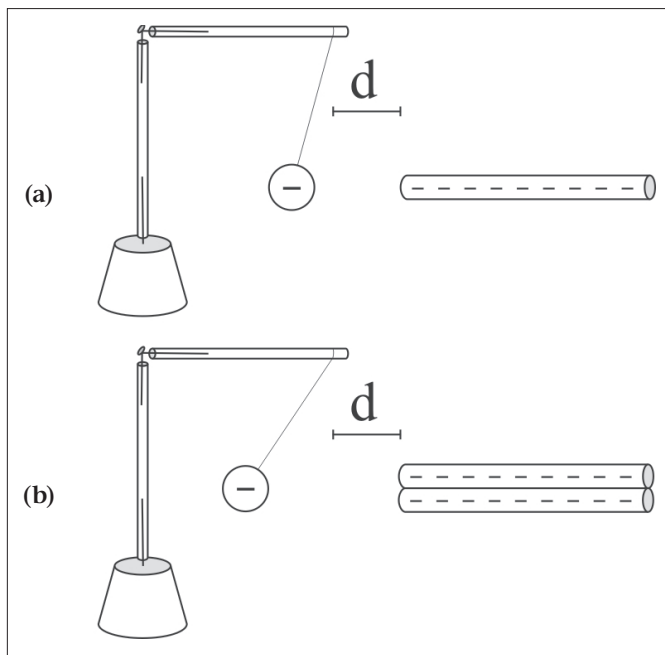
Allontaniamo poi le cannuce dal tavolo. Uniamole, ponendole fianco a fianco, orizzontalmente. Portiamole insieme verso il tavolo fino a quando non sono alla stessa distanza d dal tavolo come prima. Osserviamo che insieme attraggono un numero di pezzi di carta più grande che ciascuna di esse separatamente.

Quando uniamo tre o quattro cannuce ugualmente elettrizzate, il numero di pezzi di carta attirati aumenta ancora di più alla stessa distanza dal tavolo.

Esperimento 5.25

Immaginiamo di avere due cannuce di plastica che siano state uniformemente elettrizzate per strofinio lungo tutta la loro lunghezza. Supponiamo che esse abbiano all'incirca le stesse cariche elettriche, come indicato dalla definizione precedente. Carichiamo un pendolo elettrico con il metodo ACR facendogli toccare una delle cannuce elettrizzate. Dopo questa procedura, il pendolo comincia ad essere respinto dalla cannuccia. Allontaniamo la cannuccia e il pendolo elettrizzato ritorna alla verticale. Poniamo la cannuccia orizzontalmente alla stessa altezza del disco del pendolo. Supponiamo che il pendolo sia inclinato di un angolo ϑ rispetto alla verticale, quando l'estremità più vicina della cannuccia è ad una distanza d dalla verticale che passa attraverso il supporto del pendolo, come nella Figura 5.30 (a).

Figura 5.30. (a) La forza su di un pendolo carico esercitata da una cannuccia carica è minore della (b) forza esercitata sullo stesso pendolo da due cannuce altrettanto cariche, alla stessa distanza dalla verticale passante per il punto di supporto del filo.



Uniamo le due cannuce sfregate e portiamole alla stessa distanza d dal pendolo elettrico carico. Osserviamo che il pendolo devia di un angolo maggiore di ϑ dalla verticale, come in Figura 5.30 (b). Questo esperimento infatti, insieme alla definizione precedente, mostra che due corpi ugualmente carichi, se messi insieme, hanno una carica maggiore di ciascuno di questi corpi individualmente.

Quando uniamo tre cannuce ugualmente cariche, osserviamo che l'angolo di inclinazione del pendolo aumenta ancora di più. Questo indica un nuovo aumento nella forza.

Definizione: Queste osservazioni permettono una nuova definizione. Supponiamo di avere N corpi ugualmente elettrizzati con cariche dello stesso segno. Supponiamo di unire questi N corpi carichi in un sol gruppo. Definiamo la quantità di carica di questo insieme come N volte la quantità di carica di un singolo corpo.

Nonostante questa definizione sia molto semplice, essa non è banale. Illustriamo questo con un esempio. Il livello di un termometro a mercurio può essere definito come un indicatore della temperatura di un corpo. Per esempio, possiamo definire che due corpi A e B hanno la stessa temperatura se il livello di questo termometro messo in contatto con A è uguale al livello dello stesso termometro messo in contatto con B . Quando il livello del termometro è superiore (inferiore) per A rispetto a B , allora diciamo che A ha una temperatura superiore (inferiore) rispetto a B . Tuttavia, un semplice esperimento mostra che quando uniamo i due corpi A e B , entrambi alla stessa temperatura, in modo tale che si tocchino l'un l'altro, il livello del termometro non viene modificato. Grazie a esperimenti di questo tipo, noi non definiamo la temperatura di un insieme AB (cioè con A e B che si toccano l'un l'altro) come il doppio della temperatura di A .

Per quanto riguarda i pesi e le cariche elettriche, molti esperimenti dimostrano che quando mettiamo insieme N corpi che hanno la stessa proprietà, gli effetti elettrici e gravitazionali prodotti da questi N corpi saranno superiori all'effetto prodotto da uno solo di questi corpi. Esperimenti come questi portano alla precedente definizione. In altre parole, esperimenti come questi rendono ragionevole tale definizione.

Esperimento 5.26

Leghiamo le estremità di due pezzi di cannuccia di plastica aventi la stessa lunghezza e peso con un piccolo filo di seta. Possiamo fare due o tre gruppi di tali elementi. Strofiniamo ogni gruppo tra i capelli, ma per qualcuno questa frizione sia più rapida e più intensa. Quando avviciniamo ciascuno di questi insiemi ad un pendolo con carica negativa, vediamo che ciascuno di loro inclina il pendolo di un angolo diverso, anche quando sono tutti alla stessa distanza dalla verticale passante per il punto di sostegno del filo del pendolo. Questo ci dice che ogni sistema così costruito ha una diversa quantità di cariche elettriche (Figura 5.31).

Ognuno di questi sistemi può essere appeso ad un supporto orizzontale (ad esempio una matita) mediante del filo di seta. Osserviamo allora che le cannucce non rimangono in verticale, ma si respingono. Inoltre, il gruppo che respingeva il pendolo carico con maggiore forza è anche quello per il quale i due pezzi di cannuccia si inclinano di più rispetto alla verticale (Figura 5.32). Poiché le cannucce di tutti i gruppi hanno lo stesso peso, questo dimostra ancora una volta che allorché aumentiamo la carica che esse contengono, aumentiamo anche la forza elettrica che si esercita tra loro.

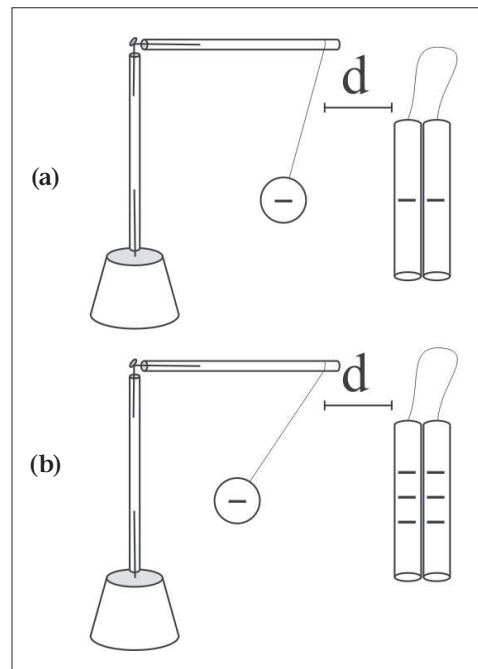


Figura 5.31. Corpi aventi diverse quantità di carica. Le plastiche in (b) hanno una carica elettrica maggiore delle plastiche in (a).

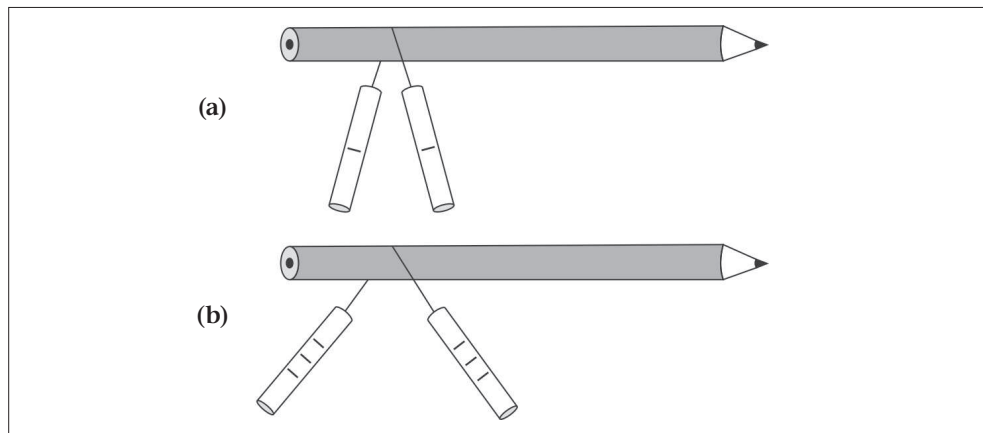


Figura 5.32. Aumentando la quantità di carica in ciascuna coppia di cannuce, cresce la forza che si esercita tra loro.

Note

¹ [DF33b, pp. 464-465] e [RR57, p. 586]: “[...] Il demeure donc pour constant, que les corps devenus électriques par communication, sont chassés par ceux qui les ont rendus électriques; mais le sont-ils de même par les autres corps électriques de tous les genres? & les corps électriques ne diffèrent-ils entre-eux que par les divers degrés d’électricité? Cet examen m’a conduit à une autre vérité que je n’aurois jamais soupçonnée, & dont je crois que personne n’a encore eu la moindre idée.

J’ai commencé par soutenir en l’air avec le même tube, deux feuilles d’or, & elles se sont toujours éloignées l’une de l’autre, quelques efforts que j’aye faits pour les rapprocher, & cela devoit arriver de la sorte, puisque elles étoient toutes deux électriques; mais si-tôt que l’une des deux avoit touché la main ou quelque autre corps, elles se joignoient sur le champ l’une à l’autre, parce que celle-ci ayant perdu son électricité, l’autre l’attiroit & tendoit vers elle: tout cela s’accordoit parfaitement avec mon hypothèse, mais ce qui me déconcerta prodigieusement, fut l’expérience suivante.

Ayant élevé en l’air une feuille d’or par le moyen du tube, j’en approchai un morceau de gomme copal frottée, & renduë électrique, la feuille fut s’y appliquer sur le champ, & y demeura; j’avouë que je m’attendois à un effet tout contraire, parce que selon mon raisonnement, la copal qui étoit électrique devoit repousser la feuille qui l’étoit aussi; je répétois l’expérience un grand nombre de fois, croyant que je ne présentois pas à la feuille l’endroit qui avoit été frotté, & qu’ainsi elle ne s’y portoit que comme elle auroit fait à mon doigt, ou à tout autre corps, mais ayant pris sur cela mes mesures, de fa con à ne me laisser aucun doute, je fus bien convaincu que la copal attiroit la feuille d’or, quoiqu’elle fût repoussée par le tube: la même chose arrivoit en approchant de la feuille d’or un morceau d’ambre, ou de cire d’Espagne frotté.

Après plusieurs autres tentatives qui ne me satisfaisoient aucunement, j’approchai de la feuille d’or chassée par le tube, une boule de cristal de roche frottée & renduë électrique, elle repoussa cette feuille de même que le tube. Un autre tube que je fis présenter à la même feuille la chassa de même, enfin je ne pus pas douter que le verre & le cristal de roche, ne fissent précisément le contraire de la gomme copal, de l’ambre & de la cire d’Espagne, ensorte que la feuille repoussée par les uns, à cause de l’électricité qu’elle avoit contractée, étoit attirée par les autres; cela me fit penser qu’il y avoit peut-être deux genres d’électricité différents, & je fus bien confirmé dans cette idée par les expériences suivantes.”

² Vedi Appendice A

³ [Hei99, p. 257]

⁴ [DF33b pp. 467 e 469): “Voilà donc constamment deux électricités d’une nature toute différente, sçavoir, celle des corps transparents & solides, comme le verre, le cristal, etc. & celle des corps bitumineux ou résineux, comme l’ambre, la gomme copal, la cire d’Espagne, etc. Les uns & les autres repoussent les corps qui ont contracté une électricité de même nature que la leur, & ils attirent, au contraire, ceux dont l’électricité est d’une nature différente de la leur. [...]”

Voilà donc deux électricités bien démontrées, & je ne puis me dispenser de leur donner des noms différents pour éviter la confusion des termes, ou l’embarras de définir à chaque instant celle dont je voudrai parler; j’appellerai donc l’une l’électricité vitrée, & l’autre l’électricité résineuse, non que je pense

qu'il n'y a que les corps de la nature du verre qui soient doués de l'une, & les matières résineuses de l'autre, car j'ai déjà de fortes preuves du contraire, mais c'est parce que le verre & la copal sont les deux matières qui m'ont donné lieu de découvrir ces deux différentes électricités".

⁵ [DF, pp. 263-264]

⁶ [BWa] e [BWb].

⁷ [DF33b, pp. 472-473].

⁸ [DF33b, pp. 469-470]: "Pour juger donc quelle est l'espece d'électricité d'un corps quelconque, il n'y a qu'à le rendre électrique, & lui présenter l'un après l'autre un morceau de verre & un morceau d'ambre, il sera certainement attiré par l'un, & repoussé par l'autre; [...]"

⁹ [DF33b, pp. 473-474]: "Il y a encore un moyen bien simple pour connoître le genre d'électricité d'un corps dans lequel cette vertu est très-faible [...] J'épargnerai cependant au lecteur un détail ennuyeux & rebutant d'expériences manquées ou imparfaites, & je dirai seulement que pour réussir, il faut se servir d'une aiguille de verre posée sur un pivot de verre très-long, que cette aiguille porte à l'un de ses bouts une boule de métal creuse, & à l'autre un contre-poids de verre, qu'il faut bien sécher toutes ces pièces, & qu'alors il faut communiquer l'électricité à la boule de métal avec le tube, ou quelqueautre matière analogue, la boule sera alors attirée par les corps dont l'électricité est résineuse, & repoussée par ceux qui ont l'électricité vitrée".

¹⁰ [Can54].

¹¹ [Hei99, pp. 387-388].

¹² [Wil59] e [Hei99, pp. 387-388].