

DIESSE FIRENZE
Didattica e Innovazione Scolastica
Centro per la formazione e l'aggiornamento

SCIENZA FIRENZE
DODICESIMA EDIZIONE

Docenti e studenti a confronto su:

LA LUCE
MEZZO DI STUDIO E OGGETTO D'INDAGINE
La dimensione sperimentale nello studio delle scienze

Polo delle Scienze Sociali dell'Università di Firenze
Firenze, 16 - 17 aprile 2015

Menzione – Sezione Triennio

Titolo: The northern lights

Studenti: Gabriela Annaloro, Lorenzo Cercato, Maria Paola Fiorella, Martina Gavioli, Laura Morbiato

Classe: 5^aAO

Scuola: Liceo Scientifico "Ugo Morin" di Mestre (VE)

Docente: Prof.ssa Laura Gianni

Motivazione: interessante l'itinerario, a partire da due diversi ambiti disciplinari (geografia e fisica) che ha portato alla scelta del fenomeno da studiare: le aurore polari. L'ambizioso obiettivo di riprodurre il fenomeno in laboratorio viene raggiunto con una buona analisi critica, che ha portato anche a cambiare la strumentazione nel corso del lavoro per meglio rispondere alle aspettative. Apprezzabile la sequenza dettagliata delle diverse condizioni esecutive sottoposte a osservazione e valutazione, pur se necessariamente l'impostazione è solo qualitativa.

The northern lights

Indice

- **Introduzione..... pag. 3**
- **Origine del campo magnetico terrestre pag. 3**
- **L'atmosfera pag. 5**
- **Il paleomagnetismo pag. 6**
- **Scopo dell'esperienza pag. 7**
- **Materiali utilizzati pag. 7**
- **Descrizione dell'esperienza pag. 7**
- **Problemi riscontrati pag. 10**
- **Osservazioni finali pag. 10**
- **Bibliografia pag. 11**
- **Sitografia pag. 11**

Introduzione

Fin dai tempi antichi i nostri antenati sapevano che il cielo stellato non è solo una sicurezza sulle nostre teste, ma è anche capace di regalarci spettacoli inaspettati. Uno di questi è l'aurora polare, che da sempre affascina e sorprende chi la guarda. Anche oggi, nel XXI secolo, noi studenti siamo rimasti stupefatti davanti al fenomeno che stavamo analizzando, comportandoci rispetto ad esso in modo non molto diverso da come facevano gli antichi (forse usando solo un pizzico di scienza in più).

L'idea di studiare le aurore polari è nata quando, durante l'anno scolastico, esse sono state citate, per motivi diversi, in ben due materie. Questo ci ha convinto che fossero un fenomeno che valeva la pena studiare e, infatti, abbiamo scoperto che al di là del loro fascino ancestrale, le aurore hanno anche una complessa base scientifica, collegata alle leggi dell'elettromagnetismo (argomento studiato in fisica), al paleomagnetismo e al campo magnetico terrestre (argomenti trattati in Scienze della Terra).

Per questo abbiamo deciso, in relazione al tema del concorso, "La luce, mezzo di studio e oggetto di indagine", di analizzare più approfonditamente questo fenomeno, cercando di riprodurre in laboratorio un modello che si avvicinasse il più possibile alla situazione reale del pianeta.

Dalle nostre prime ricerche, abbiamo scoperto che le aurore polari sono rese possibili grazie ad un particolare effetto elettromagnetico dato dall'interazione tra il campo magnetico della Terra e le particelle cariche provenienti dallo spazio profondo.

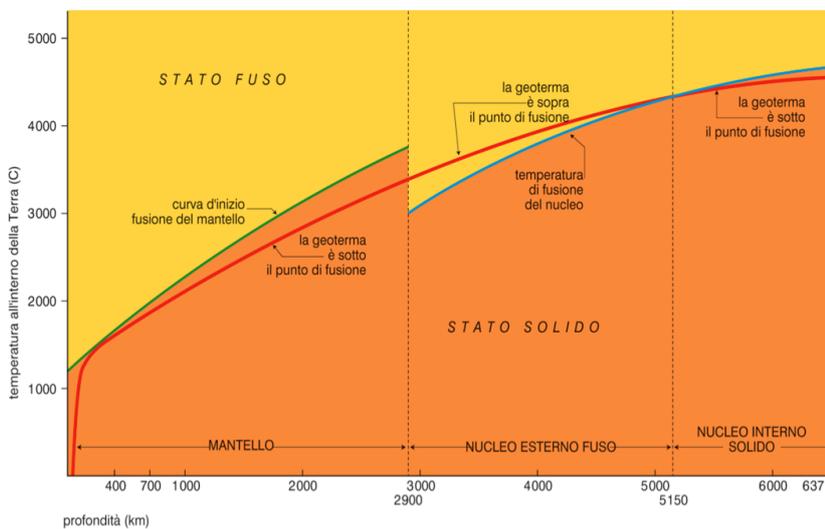
Origine del campo magnetico terrestre

Nel 1600, il fisico britannico William Gilbert, per spiegare il fenomeno per cui un ago calamitato libero di muoversi si dirige verso nord, ipotizzò per primo che il comportamento della Terra fosse comparabile a quello di un enorme magnete. Dopo centinaia di anni di studi, si scoprì che l'asse di questo campo magnetico è inclinato di 11° rispetto all'asse terrestre. Inizialmente si pensò che alla base di questo campo magnetico vi fossero le proprietà dei minerali ferromagnetici che compongono le rocce del nostro pianeta. In realtà oggi sappiamo che il ferro e gli altri metalli perdono le loro proprietà magnetiche quando diventano molto caldi. Esiste, infatti, una temperatura, detta *punto di Curie* (500°C), al di sopra della quale i materiali magnetizzati perdono completamente le loro proprietà magnetiche.

E allora come si è originato il campo magnetico terrestre?

Attualmente l'ipotesi più accreditata sull'origine del campo magnetico è la teoria che paragona il comportamento dell'interno della Terra con quello della *dinamo ad autoeccitazione*, dispositivo nel quale una bobina di filo conduttore viene fatta ruotare all'interno di un campo magnetico. In tali condizioni nel conduttore si genera una corrente indotta che, a sua volta, passando in un circuito, genera e mantiene il campo magnetico entro cui ruota la bobina. Una volta innescata la dinamo, il sistema continua a mantenere attivo il campo magnetico, finché il conduttore viene tenuto in movimento. Dobbiamo pensare a questo sistema, applicato alla Terra, e per capirlo in modo più approfondito è utile analizzare l'interno del nostro pianeta, in particolare il nucleo.

Il nucleo terrestre

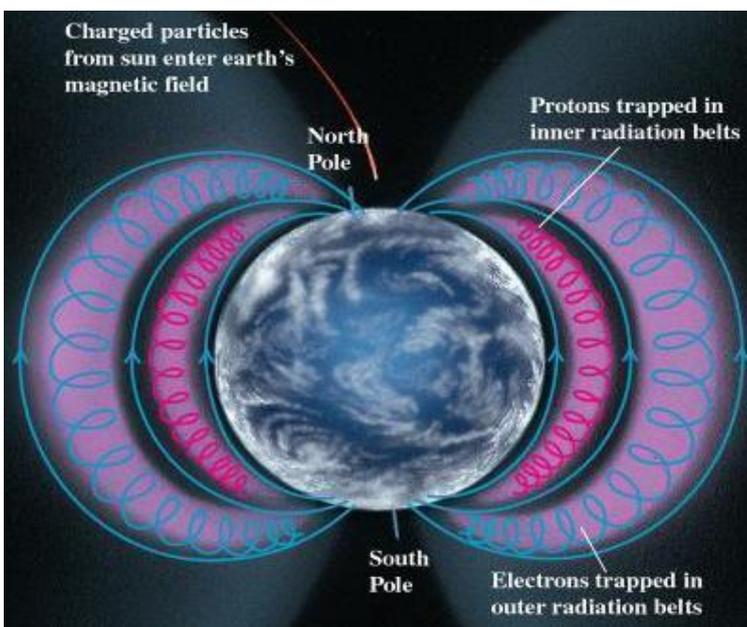


Il nucleo terrestre è composto da due strati distinti (il nucleo esterno e il nucleo interno), di cui non conosciamo per certo l'esatta composizione, ma è molto probabile siano composti da ferro e nichel, oltre a silicio e magnesio. Sulle rocce del nucleo interno è esercitata una grande pressione da parte degli strati sovrastanti, proprio per questo motivo la temperatura di fusione delle sue rocce è più alta e pertanto queste si

presentano allo stato solido; nel nucleo esterno invece la massa rocciosa si presenta fluida. Infatti il nucleo interno è costituito da materiale coerente, mentre il nucleo esterno da rocce incoerenti perché allo stato liquido. È proprio per questo motivo che i due strati non si muovono come se fossero parte di un'unica massa omogenea, ma questi sono in moto relativo l'uno rispetto all'altro. Questo moto porta alla produzione di correnti elettriche che generano, per autoinduzione, un campo magnetico che circonda la Terra. Il comportamento della Terra è dunque simile a quello di un conduttore percorso da corrente.

Il campo magnetico terrestre fa in modo che le particelle cariche, provenienti dallo spazio, vengano convogliate in alcune aree specifiche, dette fasce di Van Allen.

Le fasce di Van Allen

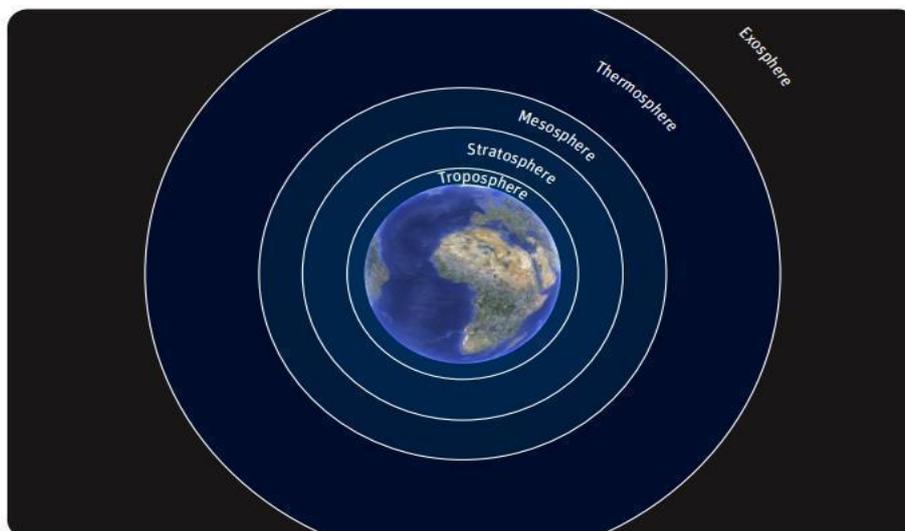


Le fasce di Van Allen consistono in due regioni di spazio che circondano il nostro pianeta, una interna ed una più esterna.

La fascia di Van Allen è dunque un insieme di particelle cariche trattenute dal campo magnetico terrestre per effetto della forza di Lorentz. Queste particelle cariche urtandosi tra di loro perdono energia cinetica, la quale viene compensata da delle emissioni di radiazioni luminose che raggiungono i 30KeV. Nel momento in cui viene fornita energia alla fascia, alcune particelle colpiscono l'alta atmosfera e danno luogo all'aurora polare.

Il primo a coniare il termine "Aurora polare" fu Galileo Galilei nel 1620. L'aurora polare, la quale si distingue in aurora boreale o australe a seconda dell'emisfero in cui si verifica, è un fenomeno ottico dell'atmosfera terrestre caratterizzato dalla presenza di bande luminose nel cielo dette archi aurorali. Le aurore assumono colorazioni differenti, in base al tipo di gas presente

nell'atmosfera e alla quantità di energia che viene fornita ai singoli elettroni. Nel nostro esperimento ci occuperemo delle aurore boreali, perché creeremo un campo magnetico con il nord posto verso l'alto (rispetto al sistema di riferimento della superficie terrestre). L'aurora interessa principalmente gli strati più esterni dell'atmosfera, in particolare la termosfera e l'esosfera.



L'atmosfera

L'atmosfera si divide principalmente in 5 strati: troposfera, stratosfera, mesosfera, termosfera ed esosfera. Gli strati che interessano i nostri esperimenti sono l'esosfera e la termosfera.

L'esosfera

L'esosfera è la parte più esterna dell'atmosfera, la cui temperatura media tocca presumibilmente i 2000°C. La densità raggiunge valori minimi: $2 \cdot 10^7$ particelle/cm³, che è circa un millimiliardesimo di quella al livello del mare. È qui che avviene l'interazione fra atmosfera e spazio interplanetario: da un lato alcune particelle del vento solare vengono catturate dal campo magnetico e da quello gravitazionale terrestre, dall'altro le particelle dell'atmosfera riescono a sottrarsi all'attrazione gravitazionale terrestre perdendosi nello spazio. La parte più esterna dell'esosfera è anche denominata magnetosfera, per evidenziare le interazioni fra particelle ionizzate e campo magnetico terrestre. I gas ionizzati presenti in quota si dispongono lungo le linee di forza del campo magnetico terrestre, ma contemporaneamente interagiscono con il vento solare che li comprime e li spinge nella direzione opposta al Sole: ne deriva la caratteristica forma a goccia, fortemente asimmetrica, della magnetosfera (60 000 km in direzione opposta).

La termosfera

Nella termosfera la densità dei gas continua a decrescere e le proporzioni tra gli elementi gassosi diventano molto diverse rispetto agli strati inferiori (predominano elio e idrogeno). Mancano quasi completamente venti e turbolenze e, di conseguenza, l'andamento della temperatura è influenzato unicamente dall'energia proveniente dal Sole: dati e calcoli teorici recenti collocano gli 0°C tra i 110 e i 120 km di quota e prevedono una temperatura di circa 1000°C attorno ai 300 km di altezza. Il calore è una forma di energia che si trasferisce con gli urti tra le particelle: in questo strato la densità dei gas è talmente bassa avvengono pochi urti tra le particelle, quindi non c'è trasferimento di calore, ma l'energia si propaga per irraggiamento. Al di sopra dei 60-70 km di

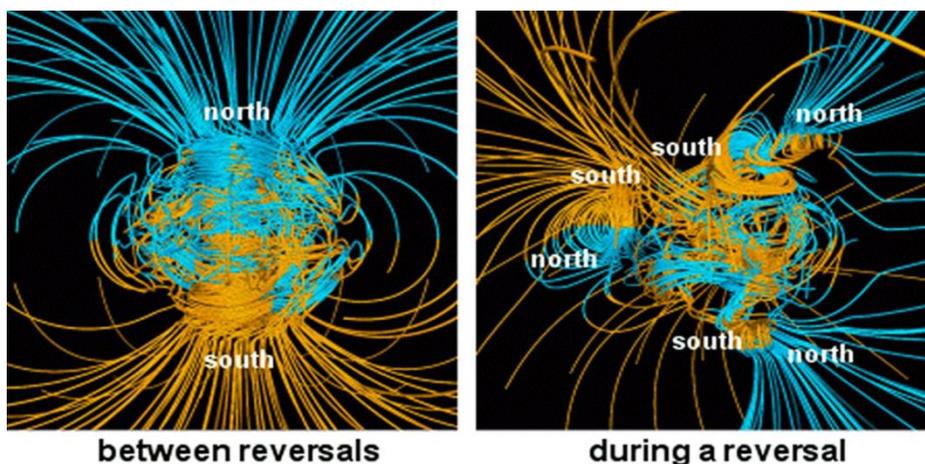
altezza dal suolo, le radiazioni solari ad alta frequenza (raggi X e UV), unite ai raggi cosmici, provocano la *ionizzazione* dei gas atmosferici. Questo fenomeno, il quale si verifica già nella parte superiore della mesosfera, coinvolge interamente la termosfera. La percentuale di particelle ionizzate non è grande ma riesce a determinare fenomeni di notevole importanza, la ionosfera, però, non modifica la propagazione delle onde luminose. È proprio nella ionosfera che si verificano le aurore boreali, le quali compaiono nel cielo oltre i 65° di latitudine N e S.

I colori dell'aurora dipendono dal tipo di gas presenti, come si può vedere dallo schema sottostante: azoto (viola e rosso), ossigeno (rosso, giallo e verde), i cui atomi, eccitati dalle collisioni con le particelle del *vento solare*, e attratti dai poli magnetici, penetrano velocissimi nell'atmosfera (400 km/s).



Il paleomagnetismo

Con il termine paleomagnetismo si indica quella disciplina che studia le proprietà magnetiche delle rocce, e le caratteristiche del campo magnetico nel corso del tempo. Il paleomagnetismo studia in particolare la magnetizzazione naturale rimanente (NRM), ossia la magnetizzazione che si misura quando sulla roccia non agisce nessun campo magnetico esterno. La NRM è dovuta alla presenza di un quantitativo, anche estremamente piccolo, di minerali ferromagnetici all'interno delle rocce. I minerali ferromagnetici sono dotati di particolare suscettibilità magnetica: sono, infatti, sensibili alla presenza del campo magnetico terrestre che esiste in quel momento, e le particelle di cui sono formati (ioni, molecole, atomi) si dispongono in base alle linee di flusso del campo magnetico terrestre. La roccia acquisisce dunque una magnetizzazione stabile durante il processo di raffreddamento e solidificazione, per questo le particelle saranno orientate in base alla direzione del campo magnetico esistente al momento della loro solidificazione. È stato verificato che negli ultimi cinque milioni di anni il campo magnetico terrestre ha subito inversioni di polarità più volte.



Scopo dell'esperienza

Lo scopo della nostra esperienza è la riproduzione in laboratorio dell'aurora boreale, sfruttando particolari effetti dati dalle leggi dell'elettromagnetismo e, quindi, la relazione che intercorre tra campo elettrico e campo magnetico. Il fine è l'osservazione e la documentazione del flusso di particelle cariche (il quale rappresenta i raggi cosmici provenienti dallo spazio), creato da un generatore, che si dispone sempre lungo la traiettoria a potenziale più basso e, come le particelle che lo compongono, rimane intrappolato nel campo magnetico da noi creato. La nostra intenzione è quindi quella di verificare l'influenza del campo magnetico della Terra (rappresentato da un magnete inserito all'interno di una sfera metallica) nel fenomeno delle aurore boreali. Alla conclusione delle nostre osservazioni cercheremo inoltre di dare una risposta a questa domanda: **“Quando, milioni di anni fa, la polarità del campo magnetico era spostata rispetto ad oggi, era ugualmente possibile osservare le aurore polari?”**

Nel nostro esperimento utilizzeremo un cavo collegato al polo negativo per simulare il Sole, e uno positivo attaccato ad una sfera, per simulare la Terra. Il nostro generatore rappresenterà il vento solare ed il magnete, posto al centro della sfera, farà in modo che quest'ultima sia circondata da un campo magnetico, così come avviene nel caso della Terra. È da tenere presente che nel nostro esperimento non siamo in grado di riprodurre l'atmosfera terrestre, quindi le nostre osservazioni sono volte semplicemente ad analizzare un sistema teorico che schematizzi in modo verosimile il fenomeno, e non a fornire conclusioni soddisfacenti sul fenomeno in sé.

Materiali utilizzati

- Saldatore
- Cavi per alta tensione
- Generatore di alta tensione (con capacità massima di 15 kV)
- Campana a vuoto
- Pompa a vuoto
- Sfera metallica
- Silicone
- Filo di rame
- Supporto (parte superiore di una bottiglia)
- Magnete al neodimio
- Utensili da lavoro
- Nastro isolante
- Nastro adesivo
- Micro-barometro

Descrizione dell'esperienza

Per raggiungere lo scopo dell'esperienza, ovvero quello di ricreare in piccolo la situazione della Terra e delle fasce di Van Allen da cui è circondata, abbiamo posto il magnete all'interno della sfera, simulando così il nucleo terrestre e creando un campo magnetico entrante ed uscente da due poli, così come succede nel caso della Terra. Il cavo che genera elettroni rappresenta il Sole, e

permette, grazie all'*effetto punta* (ossia quel fenomeno per cui le cariche elettriche distribuite sulla superficie di un conduttore si concentrano nelle parti che presentano un raggio di curvatura minore venendo così convogliate in un flusso stabile) e al vuoto presente all'interno della campana, di osservare ad occhio nudo il fenomeno luminoso.

Per realizzare questo esperimento, per prima cosa abbiamo svitato le valvole della piastra a vuoto per rendere possibile l'inserimento dei cavi, poi abbiamo adattato i cavi ad alta tensione in modo da renderli funzionali al nostro scopo, usando il saldatore per scollegare il puntale a cui erano collegati. Abbiamo quindi inserito quest'ultimi all'interno della piastra a vuoto e abbiamo sigillato i fori con il silicone. Intanto che il silicone si asciugava, abbiamo tagliato dal collo di una bottiglia di plastica un cono a forma d'imbuto, da usare come supporto per la sfera di metallo. A questo punto abbiamo posizionato la sfera con all'interno il magnete, sospeso grazie ad un'intelaiatura di nastro adesivo, all'interno della campana a vuoto e, successivamente, collegato i cavi al generatore: il polo positivo l'abbiamo messo in continuità con la sfera fissandolo a questa con il nastro isolante, mentre il polo negativo è rimasto libero all'interno della campana a vuoto in modo che fosse possibile sfruttare il suo effetto punta. Per riuscire a dare a quest'ultimo la forma consona e utile allo scopo, lo abbiamo rivestito con una spirale di filo di rame, in modo da poterlo modellare e orientare a nostro piacimento.

Fatto ciò abbiamo collegato il generatore alla presa di corrente di linea (230 V) e messo in funzione la pompa a vuoto. All'interno della campana a vuoto abbiamo inserito anche un micro barometro, in modo da poter tenere sotto controllo il cambiamento di pressione. La pressione a cui solitamente creava la pompa era tra i 2 e i 3 kPa, a differenza dei circa 100 kPa della pressione atmosferica a livello del mare.

Quando il vuoto era abbastanza spinto da permettere il passaggio del flusso di particelle, dato dal cavo collegato al polo negativo del generatore, abbiamo acceso il generatore e osservato la formazione dell'aurora boreale. Nel nostro esperimento essa si presenta come un flusso di particelle di colore viola che tende a disporsi in modo diverso a seconda della polarità del magnete posto all'interno della sfera. A questo punto abbiamo osservato e documentato diversi casi per poter capire in che modo le diverse condizioni potessero influire sulla disposizione del flusso di plasma, il quale comunque si presenta sempre di colore viola.

Per effettuare le nostre osservazioni abbiamo usato due sfere diverse.



Sfera 1



Sfera 2

Caso 1: sfera 1 e magnete con il polo nord verso l'alto → durante la nostra prima osservazione il flusso di particelle cariche prodotto dal generatore si concentrava in un unico punto e si muoveva per cercare di disporsi sempre lungo la direzione a più basso potenziale. Questo è confermato anche dal fatto che, una volta innescato l'arco, la tensione che deve fornire il generatore per mantenerlo diminuisce considerevolmente, passando da 11 a 2 kV.

Caso 2: sfera 1 senza magnete → sempre con la prima sfera abbiamo provato ad eseguire l'esperienza senza il magnete per evidenziare eventuali differenze. Le nostre osservazioni ci hanno portato a renderci conto che la funzione del magnete è quella di convogliare le particelle in un unico punto, quindi senza di esso il flusso elettronico prodotto dal generatore si muove più liberamente sulla superficie della sfera.

Caso 3: senza sfera né magnete → riproponendo l'esperienza senza porre all'interno della campana a vuoto né sfera né magnete abbiamo osservato che tra il cavo collegato al polo positivo del generatore e quello collegato al polo negativo si innesca un arco voltaico di colore viola che collega i due cavi.

Caso 4: magnete senza sfera → in questo caso la presenza o meno del magnete è irrilevante, perché si ottiene sempre la condizione descritta nel caso precedente.

Caso 5: sfera 1 e magnete ortogonale → l'ultima delle nostre osservazioni con la prima sfera è consistita nel provare a ruotare la polarità del magnete di 90°. Dopo aver compiuto questa operazione ci siamo resi conto che il flusso delle particelle si sposta e tende a disporsi in modo diverso da prima, riproducendo il comportamento delle particelle cariche nelle fasce di Van Allen.

La sfera da noi utilizzata nei primi esperimenti non era completamente sferica e quindi l'effetto ottenuto era quello di un'aurora che si limitava a ruotare attorno al margine superiore della sfera, senza riprodurre la situazione reale della Terra. Per questo motivo, dopo aver compiuto le osservazioni preliminari per cominciare a comprendere il fenomeno che ci avvicinavamo a studiare, abbiamo deciso di cambiare sfera usandone una più adatta al nostro scopo.

Caso 6: sfera 2 e magnete con il polo nord verso l'alto → dopo aver cambiato sfera abbiamo eseguito di nuovo l'esperimento osservando che il flusso di plasma si muove liberamente sulla parte superiore della sfera fino al momento in cui si stabilizza e a quel punto, al diminuire della pressione, si evidenzia un arco di particelle cariche che riproduce le fasce di Van Allen. Appena acceso il generatore, il flusso di elettroni si muove sulla superficie della sfera cercando il punto a minor potenziale. Una volta stabilizzatosi il flusso, le particelle si dispongono in una struttura stabile che collega il puntale positivo con la superficie della sfera e che rappresenta la struttura che assumono le particelle provenienti dal Sole quando incontrano il campo magnetico.

Caso 7: sfera 2 e magnete ortogonale → quando abbiamo provato a porre il magnete in modo ortogonale rispetto all'asse della sfera (quindi ruotato di 90° rispetto alla precedente osservazione), il risultato è stato analogo a quello ottenuto con la prima sfera, e cioè di una rotazione del flusso di plasma.

Caso 8: sfera 2 senza magnete → eseguendo l'esperimento senza magnete abbiamo notato come il flusso di elettroni sia molto più libero e quindi non si concentri in un punto solo (quello a più basso potenziale), ma si muova intorno alla sfera come una fascia e non più come un singolo punto, a tratti anche dividendosi.

Caso 9: sfera 2 e magnete con la polarità invertita → ruotando il magnete di 180° non si avverte nessuna variazione considerevole.



Le varie fasi della manifestazione del fenomeno dell'aurora boreale nel nostro esperimento

Problemi riscontrati

1. I cavi che pensavamo di utilizzare, quelli adatti alle installazioni domestiche in bassa tensione, non si sono rivelati adatti al nostro scopo, in quanto avevamo bisogno di lavorare ad alto voltaggio. Per questo motivo abbiamo usato dei cavi più adatti modificandoli con il saldatore per poterli porre all'interno della campana a vuoto.
2. Sigillare le aperture della piastra dopo averci fatto passare i cavi. Questo problema è stato risolto utilizzando il silicone come sigillante.
3. Reperire la sfera metallica adatta al nostro esperimento. La seconda sfera usata è stata costruita per l'occasione da un artigiano.
4. Capire in quale misura il magnete influenzi realmente il flusso di particelle ionizzate, osservando la stabilizzazione del flusso in un punto. Abbiamo capito qual è la funzione reale del magnete solo dopo aver compiuto diverse prove, che ci hanno portato a renderci conto che lo scopo del magnete è quello di stabilizzare il flusso dell'aurora boreale.
5. Orientare e modellare con la giusta inclinazione, il cavo conduttore corrispondente al polo negativo, facendo varie prove fino a trovare la forma ottimale. Per risolvere questo problema abbiamo avvolto il cavo in un filo di rame, in modo da renderlo più modellabile.

Osservazioni finali

Il risultato del nostro esperimento ci ha portato a porci altre domande oltre a quella iniziale da cui eravamo partiti, e abbiamo cercato di dare delle risposte.

COMPOSIZIONE CHIMICA DELL'ARIA		
componente	contenuto	
	percentuale in volume (%)	ppm
N ₂ (azoto)	78,084 ± 0,004	
O ₂ (ossigeno)	20,946 ± 0,002	
CO ₂ (anidride carbonica)	0,003 ± 0,001	
Ar (argon)	0,934 ± 0,001	
Ne (Neon)		18,18 ± 0,004
He (Elio)		5,24 ± 0,004
Kr (Kripto)		1,14 ± 0,01
Xe (Xeno)		0,087 ± 0,001
H ₂ (Idrogeno)		0,5
CH ₄ (Metano)		2
N ₂ O (Diossido di Azoto)		0,5 ± 0,1

La prima domanda è: *“Per quale motivo la nostra aurora si presenta sempre di colore viola?”*.

La risposta che ci siamo dati passa attraverso lo studio delle quantità dei gas presenti all'interno dell'aria. Come appare dalla tabella riassuntiva, l'elemento più abbondante all'interno dell'aria è l'azoto, questo è coerente con le nostre osservazioni in quanto, come già detto nel paragrafo esplicativo della termosfera (pag 5-6), il colore viola dell'aurora corrisponde all'azoto ionizzato. L'altra domanda, sempre collegata a

questo proposito è: *“Per quale motivo l’aurora non appare rossa?”* Il rosso è, nello spettro, il colore dell’azoto i cui elettroni siano stati eccitati ma non strappati, quindi si verifica nel caso in cui venga fornita agli atomi di azoto una quantità di energia non troppo elevata da produrne la ionizzazione. Probabilmente l’energia ad eccitare, ma non a ionizzare, gli atomi di azoto non è abbastanza da superare l’isolamento prodotto dal vuoto all’interno della campana, e giungere sulla superficie della sfera. Quindi l’energia che noi dobbiamo necessariamente fornire per innescare l’arco voltaico è talmente alta da ionizzare l’azoto e per questo non è mai possibile che la nostra aurora si presenti rossa.

La vera domanda però, quella che ci eravamo posti all’inizio e a cui abbiamo cercato di dare una risposta con lo svolgimento dell’esperimento era: **“Quando, milioni di anni fa, la polarità del campo magnetico era spostata rispetto ad oggi, era ugualmente possibile osservare le aurore polari?”**

Alla luce delle osservazioni fatte e dei risultati ottenuti, noi stessi, componenti del gruppo, siamo divisi sulle conclusioni da trarre: è possibile sia pensare che le aurore fossero osservabili, sia credere che non lo fossero. Chi sostiene che l’aurora fosse visibile, lo fa sulla base della convinzione che la concentrazione delle particelle nelle fasce di Van Allen sia, tra i due fattori in gioco (fasce e spessore dell’atmosfera), quello più rilevante ai fini della manifestazione dell’aurora stessa; chi invece ritiene che l’aurora non fosse visibile, dà più peso al fattore dello spessore dell’atmosfera, che, se troppo spessa, impedisce la ionizzazione delle particelle e non permette al vento solare di fornire energia ai gas, deviando con le sue particelle la traiettoria delle cariche provenienti dallo spazio.

In conclusione possiamo affermare che il nostro esperimento, non potendo riprodurre l’atmosfera terrestre, non è in grado di rappresentare verosimilmente la situazione della Terra, dunque non abbiamo abbastanza elementi per poter fornire una risposta definitiva. Quindi, almeno per ora, la nostra domanda resterà senza risposta, ma non vogliamo assolutamente smettere di cercare.

Bibliografia

- Enciclopedia del Novecento, Istituto dell’enciclopedia Italiana Treccani
- Massimo Crippa, Marco Fiorani, “Geografia Generale – Terza Edizione”, Mondadori Scuola
- Lupia Palmieri, Parotto, “Il globo terrestre e la sua evoluzione”, Zanichelli
- Claudio Romeni, “Fisica e realtà.blu”, Zanichelli

Sitografia

- <http://lib.tkk.fi/Dipl/2005/urn007898.pdf>
- <http://research.spa.aalto.fi/projects/aurora/BNAM-ukl.pdf>
- <http://planet.racine.ra.it/testi/aurore.htm>