



Pasquale Maiano

Liceo Scientifico
"Ulisse Dini", Pisa

Un esperimento per sfida: X Scotch

(Pervenuto il 10.8.2009, pprovato il 17.5.2010)

ABSTRACT

Triboluminescence was studied using a self-built 8-litre vacuum chamber operated at a pressure of about 1mtorr. Luminescence is observed in the chamber along the peeling line of an unrolled adhesive tape. The tribo-mechanism produced electrons and X-rays are revealed by the intense luminescence of a BGO crystal positioned close to the peeling line.

Introduzione

L'esperimento che qui presentiamo è stato ispirato da un recente articolo apparso su *Nature*, 23 Ottobre 2008: Camara, C.G., Escobar, J.V., Hird, J.R., Putterman, S.J., "Correlation between nanosecond X-ray flashes and stick-slip friction in peeling tape", *Nature* 455, (2008), 1089-1093.

È stato proposto ad un gruppo di studenti di quarta e quinta e realizzato nel laboratorio di fisica del Liceo Scientifico "Ulisse Dini" di Pisa nell'ambito delle attività concernenti l'iniziativa "Scienza?... Al Dini!". Si tratta di una iniziativa di carattere scientifico, annuale, che questo anno è giunta alla IX edizione e si appresta a celebrare l'anno prossimo il decennale. Ha la finalità di stimolare negli alunni l'acquisizione di corrette metodologie scientifiche attraverso il piacere e l'attenzione alle attività sperimentali.

La triboluminescenza

La triboluminescenza è un tipo di luminescenza mostrata da particolari materiali quando sono sottoposti a stress meccanici; per esempio, se si prova in una stanza al buio a schiacciare con una pinza una caramella "Polo" è possibile osservare dei piccoli lampetti bluastri. La prima registrazione del fenomeno è attribuita a Francis Bacon, che nel 1605 riportava l'osservazione di bagliori mentre frantumava un grosso blocco di zucchero di canna. Il fenomeno non è ancora perfettamente compreso e si ritiene sia riconducibile alla presenza di strutture cristalline asimmetriche le quali, quando vengono rotte, provocano separazione di cariche che poi ricombinandosi danno origine alla formazione di bagliori, risultato dell'eccitazione per urto delle molecole d'aria da parte degli elettroni. Energia meccanica viene quindi trasformata in radiazione elettromagnetica (link [1]).

La letteratura più recente [1] riporta e studia fenomeni di triboluminescenza connessi con il moto relativo di due superfici a contatto, mentre sono note evidenze sperimentali che l'emissione elettromagnetica si estende ben oltre la finestra del visibile verso la regione dei raggi X. Evidenze sono altresì riportate di luminescenza del comune nastro adesivo quando viene srotolato in opportune condizioni [2]. Camara *et al.* [3], (link [2]), hanno messo in evidenza che lo srotolamento di un comune nastro adesivo da fotocopia in condizioni di vuoto alla pressione di 1 mtorr non solo produce luminescenza sulla linea di separazione del nastro quando viene aperto, ma si producono elettroni e raggi X in quantità tali da potere agevolmente impressionare una lastrina da dentista e fare una radiografia (Fig. 1).

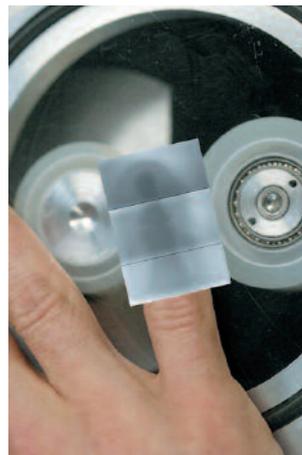


Figura 1. Foto tratta da Camara *et al.* [3].

La sfida

La sfida è cominciata qui con il duplice obiettivo di replicare l'esperienza del trascinarsi dello scotch e realizzare un exhibit da presentare all'esposizione finale di "Scienza?... Al Dini!" Il senso della sfida era prima di tutto un'interrogazione alla nostra inventiva perché gli obiettivi dovevano essere raggiunti ovviamente "in economia", utilizzando se possibile gli strumenti (pochi) disponibili nel laboratorio. Credo che ci siamo riusciti egregiamente: gli studenti che hanno partecipato hanno imparato cosa vuol dire "far funzionare le cose", hanno realizzato un esperimento il cui risultato va preso ed interpretato per quello che è senza che vi sia il risultato "che deve tornare". Nome assegnato all'esperimento, ovviamente: X Scotch.

L'esperimento X Scotch

L'esperimento è consistito nella costruzione di una camera a vuoto nella quale potere srotolare uno scotch in assenza di aria per osservare la produzione di elettroni e radiazione X da rivelare opportunamente.

È esperienza comune che se si srotola energicamente dello scotch questo si carica elettricamente: il nastro liberato

infatti aderisce alle mani ed alle braccia e tende a tornare sul rotolo, lo srotolamento produce cioè separazione di cariche. Il meccanismo proposto è che nella separazione delle due superfici incollate alcuni elettroni vengono strappati al nastro restando confinati sul rotolo, dove si accumulano nella regione prossima alla linea di separazione (Fig. 2). L'idea è che, continuando a srotolare, la densità degli elettroni possa aumentare fino a produrre un campo elettrico perpendicolare alla superficie del rotolo, abbastanza intenso da riuscire a strappare via elettroni dal rotolo. Questi, una volta liberati, vengono accelerati lungo le linee del campo verso il nastro positivo. In aria l'energia acquisita viene continuamente persa mediante gli urti con le molecole dell'aria; nel vuoto invece gli elettroni compiono il tragitto senza essere disturbati e l'energia acquistata viene persa per frenamento quando impattano sul nastro senza riuscire ad attraversarlo; si può così avere produzione di radiazione elettromagnetica in un'ampia gamma dal visibile alla regione X.

È abbastanza semplice stimare il livello di vuoto necessario. Gli elettroni devono avere la possibilità di viaggiare indisturbati da urti su percorsi confrontabili con le dimensioni dei rotoli e la distanza tra di essi; deve essere quindi assicurato agli elettroni un cammino libero medio λ , in mezzo alle molecole, diciamo tra 5 e 10 cm.

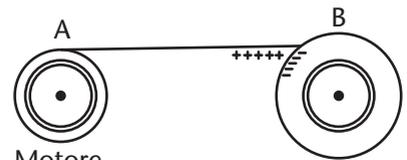
Assumendo un raggio molecolare medio $a = 2 \text{ \AA} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, considerato che si tratta di urti elettroni-molecole, sembra ragionevole assumere una sezione d'urto geometrica $\sigma = \pi a^2 = 1.3 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$, con cui, scelto $\lambda = (5 \leftrightarrow 10) \text{ cm}$, è facile ricavare una densità di molecole:

$$n = \frac{1}{\sigma \lambda} \rightarrow (0.8 \leq n \leq 1.5) \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}. \quad (1)$$

Assumiamo quindi $n \approx 10^{20} \text{ m}^{-3}$. La densità di molecole dell'aria nel laboratorio, assunta una temperatura $T = 300 \text{ K}$ e una pressione di 1 atm, risulta

$$n_0 = \frac{N_A}{V} \approx 3 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3} \quad (2)$$

dove N_A e V sono rispettivamente il numero di Avogadro ed il volume di una



Motore

Figura 2. Il motore srotola B avvolgendolo sul supporto A e le due superfici separate si caricano elettricamente.

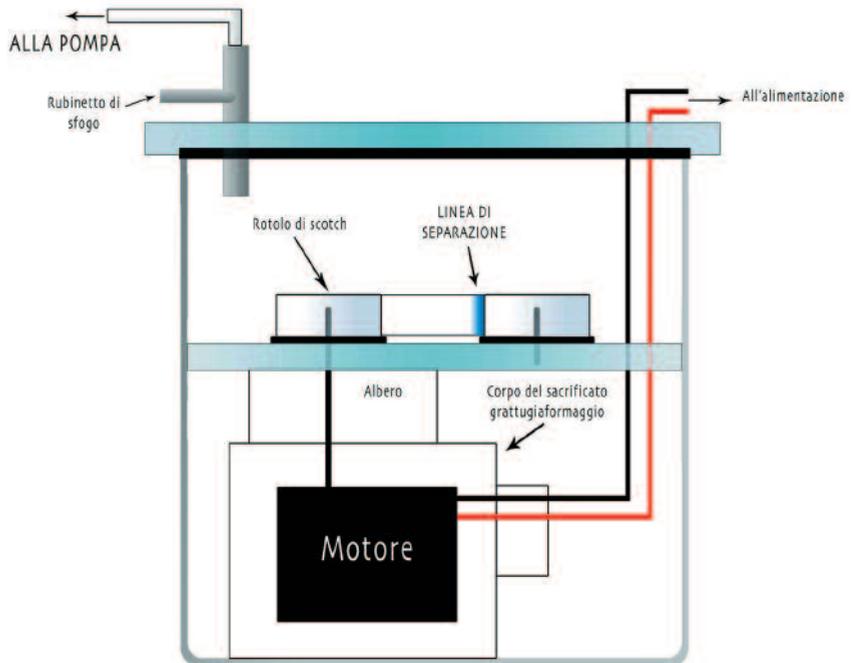


Figura 3. Disposizione sperimentale: raccordo per la pompa ed alimentazione del motore realizzati sul tappo di plexiglass.

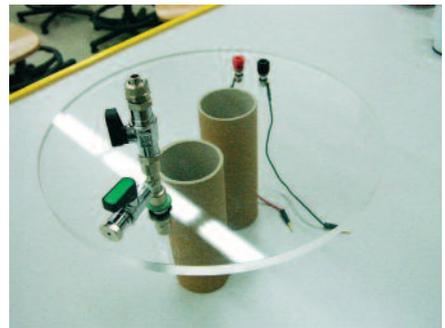


Figura 4. Pentola in acciaio inox per realizzare il corpo della camera a vuoto ed il tappo.

mole d'aria alla temperatura T e alla pressione di 1 atm. Ne segue una pressione di lavoro

$$p = \frac{n}{n_0} p_0 \approx 3 \cdot 10^{-6} p_0 \approx 3 \cdot 10^{-6} \text{ atm} \approx 2 \text{ mtorr} = 0.3 \text{ Pa} . \quad (3)$$

Il vuoto necessario pertanto è dell'ordine di qualche millesimo di torr. La valutazione è consistente con quanto riferito da Camara *et al.* [3].

La camera a vuoto

La camera a vuoto, rappresentata nel disegno della fig. 3, è realizzata con una normale pentola di acciaio inox cilindrica di quelle reperibili in un comune supermercato, volume 8 litri, diametro interno 24 cm, profondità 18 cm, diametro

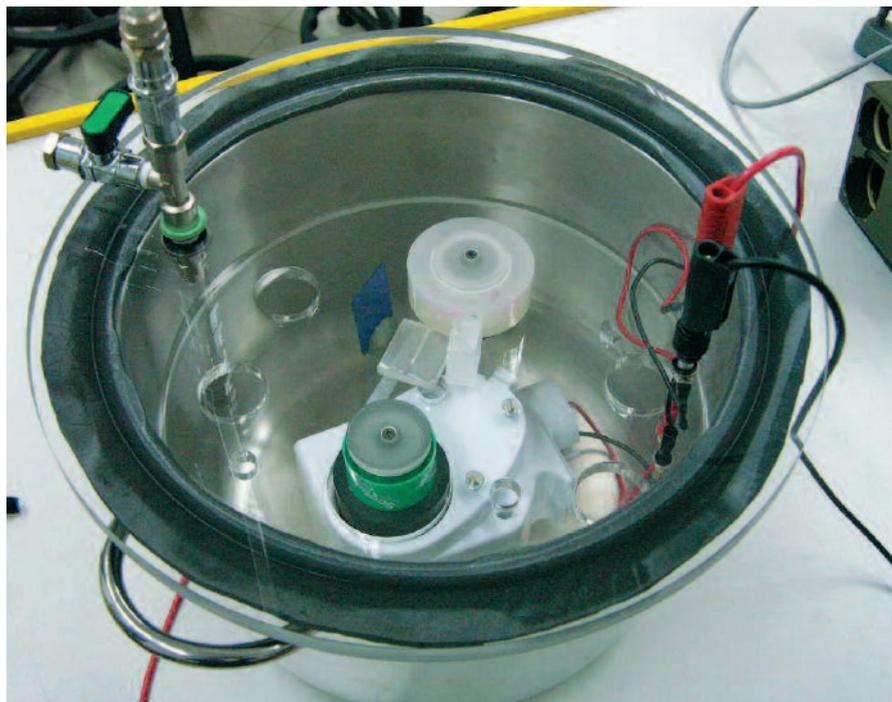


Figura 5. La camera pronta a funzionare. Visibili all'interno i cristalli di BGO ed un vetrino verniciato con vernice luminescente con curva di sensibilità nell'ultravioletto.



Figura 6. Dispositivo per il trascinamento dello scotch.

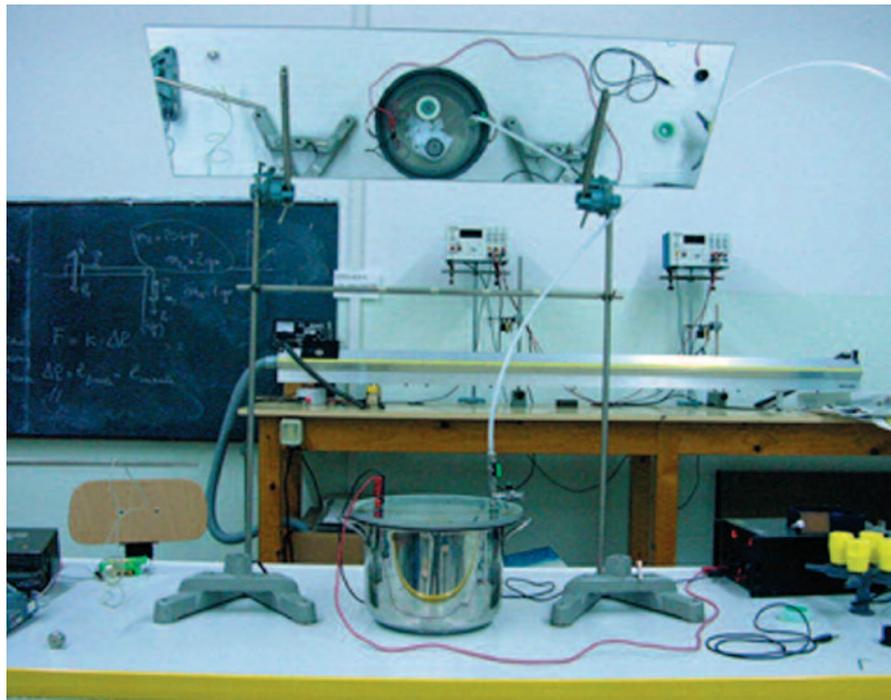


Figura 7. Veduta d'insieme della camera preparata per l'exhibit di "Scienza?.. Al Dini!". È visibile in alto lo specchio inclinato posizionato per permettere la visione dell'interno della camera stando a distanza di sicurezza.

superiore esterno 26 cm (Fig. 4). È chiusa con un tappo di plexiglass, semplicemente appoggiato, di spessore 1 cm e diametro 30 cm, trasparente per avere la vista dell'interno. È portata in pressione da una pompa rotativa doppio stadio con vuoto finale a $6.7 \cdot 10^{-2}$ Pa e il collegamento con la pompa è realizzato con tubo in poliammide Rilsan PA11 8×1 mm e rubinetti da vuoto da 1/8 di pollice. Sul tappo sono ricavati l'attacco per la pompa e le connessioni elettriche per l'alimentazione del motore all'interno. La tenuta delle boccole passanti è assicurata con degli O-ring, mentre sul tappo una guarnizione di neoprene, larga 3 cm e spessa 0.5 cm, assicura la tenuta del vuoto per tempi di alcuni giorni (Fig. 4-5). Non è stato fatto uso di grasso da vuoto per evitare di sporcare l'interno della camera con residui.

All'interno è posizionato il meccanismo per il trascinarsi dello scotch (Fig. 6), realizzato con il motore di una grattugia elettrica portatile (il corpo bianco al di sotto del piano di plexiglass nella fig. 6). È in grado di trascinare lo scotch alla velocità di circa 5 cm/s. Lo scotch utilizzato è normale scotch 3M trasparente, 19 mm × 33 m, che è sembrato funzionare meglio del tipo grigio da fotocopia.

I rivelatori

Come rivelatori sono stati usati dei cristalli scintillatori di germanato di bismuto all'interno della camera ed un contatore Geiger per l'esterno.

L'ossido di germanato di bismuto o BGO, formula chimica $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, è uno scintillatore inorganico [4] [5] con picco di fluorescenza a 480 nm, usato per la costruzione di rivelatori di particelle in fisica nucleare e delle alte energie. Ne avevamo a disposizione una certa quantità in blocchetti di varie dimensioni, recupe-

rati presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa da rivelatori rotti. Non avendo nessuna disponibilità di elettronica associata, l'uso del BGO è destinato solo all'osservazione visuale.

Il Geiger usato per rivelare eventuale presenza di radiazioni X all'esterno della camera è un contatore con finestre per β e γ , fondo scala variabile, 5/50/500 mRad/h e 5/50 Rad/h. Per uso militare, risale ad una cinquantina di anni fa, è stato recuperato su internet a poco prezzo. Non è il top della più recente tecnologia, ma funziona; è stato testato con sorgenti β e γ al Dipartimento di Fisica.

Una visione d'insieme di tutto l'apparato sperimentale è visibile nelle figure 7 e 8, dove appare così come è stato utilizzato durante l'esposizione finale al pubblico dei visitatori di "Scienza?... Al Dini!".

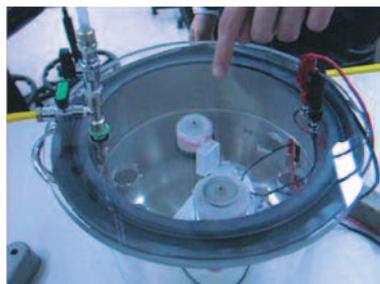


Figura 8. La camera che funziona durante le dimostrazioni di "Scienza?... Al Dini!" (fotogramma estratto da una clip video).

Risultati e conclusioni

Molto importante ed impegnativo è risultato (per i nostri mezzi) la costruzione e la messa a punto del sistema per il vuoto. Oltremodo laboriosa la messa a punto e la verifica della pompa per ottenere di farla funzionare al massimo delle sue possibilità. Una sufficiente garanzia di ciò era assolutamente necessaria perché non vi era la possibilità di disporre di un misuratore di vuoto nel *range* medio-alto vuoto. La criticità del fenomeno con la pressione ci ha fatto ritenere accettabile la discutibile posizione "Se si vede qualcosa allora la pressione è quella giusta!!"

Una volta accertata l'affidabilità del sistema e verificata la tenuta del vuoto è stata condotta una lunga sequenza di prove. Alla fine le migliori modalità operative sono risultate le seguenti.

Partendo con la camera a pressione atmosferica, si procede ad una lunga fase di aspirazione di circa 15-20 minuti, "tirando" la pompa; quindi si procede a srotolare lo scotch, senza staccare la pompa. Per ogni rotolo è possibile fare circa dieci trascinamenti.

Abbiamo trovato che è necessario operare con la pompa in funzione altrimenti dopo i primi 3-4 *run* di srotolamento il BGO sembra non funzionare più. Probabilmente nello scotch arrotolato, tra le superfici e la colla, è contenuta dell'aria che con lo srotolamento viene immessa nella camera facendo aumentare la pressione e portandola al di sopra della pressione di lavoro richiesta, che deve restare intorno al millesimo di torr. Sono state effettuate prove con e senza BGO. Nelle prove senza il BGO, una volta raggiunta la pressione di lavoro, è possibile osservare la comparsa di un alone bluastro sulla linea di separazione delle due superfici dello scotch. Con il BGO posizionato davanti alla linea di separazione, du-

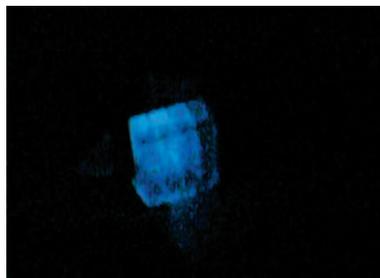
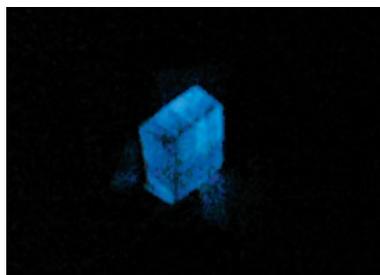


Figura 9. Due fotogrammi estratti da clip video che mostrano l'accensione del cristallo di BGO: Sono visibili le unità che compongono il blocco; le due unità più luminose sono più vicine alla 'peeling line'.

rante i trascinamenti si osserva la comparsa di una intensa luminescenza bluastra negli elementi del cristallo di BGO. L'intensità della luminescenza sui vari elementi del BGO è decrescente, essendo massima sull'elemento più vicino alla linea di separazione, come si può vedere nella figura 9 che è costituita da due fotogrammi estratti dalle clip video che sono state realizzate. Tutte le operazioni vengono condotte al buio.

Delle prove sono state fatte posizionando nella camera, oltre al cristallo di BGO, un vetrino di circa (5×3) cm² trattato con vernice fluorescente Lumen con picco di sensibilità nell'ultravioletto: in tutte queste prove il vetrino non ha mai mostrato segni di luminescenza. Sulla base di ciò pare ragionevole escludere che la fluorescenza del BGO sia da attribuire a radiazione UV.

Non siamo riusciti comunque ad ottenere un conteggio da parte del Geiger all'esterno della camera, neanche alzando il piano degli scotch in modo che questi fossero immediatamente sotto il tappo. È stata fatta anche una prova per vedere se era possibile impressionare una lastrina radiografica da dentista. Una rondellina metallica circolare è stata appoggiata sopra il tappo e sopra di essa posizionata una pellicola endorale autosviluppante "Dentalfilm-Eco30", tempi di esposizione fino a 0.6 s con apparati da 70kV/8mA. Nella prova un rotolo di scotch è stato srotolato senza interruzione. Il risultato non ci è parso molto significativo anche se un vago chiarore circolare intorno ad un centro appena più scuro poteva forse essere accreditato come l'ombra della rondella.

La nostra idea è che la pompa pur lavorando ai limiti non riesca a raggiungere il suo livello di vuoto nominale: la pressione è sufficientemente bassa da fare partire la luminescenza ma non abbastanza da originare una produzione di radiazione X sufficientemente intensa e penetrante da poterla rivelare all'esterno.

Ci riproponiamo un approfondimento su questi aspetti per vedere se è possibile fare meglio. È stata raccolta una buona documentazione fotografica e video. Alcuni dei videoclip realizzati saranno visibili a breve sulla pagina web in via di allestimento di "Scienza?... Al Dini!".

Funzionano due pagine provvisorie agli indirizzi dei link [3] e [4], dove è visibile anche tutta la documentazione fotografica.

Bibliografia

- [1] A.J. WALTON, "Triboluminescence", *Adv. Phys.* **26**, (1977), 887-948;
- [2] HARVEY, N.E., "The luminescence of adhesive tape", *Science* **89**, (1939), 460-461;
- [3] C.G. CAMARA, J.V. ESCOBAR, J.R. HIRD, S.J. PUTTERMAN, "Correlation between nanosecond X-ray flashes and stick-slip friction in peeling tape", *Nature* **455**, (2008), 1089-1093;
- [4] G.F. KNOLL, *Radiation Detection and Measurement*, 3rd ed., John Wiley & Sons, NY, 1999;
- [5] P.W. NICHOLSON, *Nuclear Electronics*, John Wiley & Sons, GB, 1982;

Web Link

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Triboluminescence>;
- [2] <http://www.physics.ucla.edu/research/putterman/index.html>;
- [3] <http://www.scienzaaldini.altervista.org/laboratori2009/xscotch.htm>;
- [4] <http://www.maipas.net/xscotch.htm>.

* Il sito è in fase di realizzazione.