

FISICAST

per
SxT

Il moto browniano

di
Angelo Vulpiani



Il moto browniano

Angelo Vulpiani

Abstract:

Cosa c'entra la scoperta della struttura atomica della materia con l'andamento della borsa? E la misura del numero di Avogadro con le nanotecnologie? Sono tutte manifestazioni del "Mondo di Mezzo" del quale ci parla il Prof. Angelo Vulpiani del Dipartimento di Fisica della Università di Roma "La Sapienza", autore del libro "Caso, Probabilità e Complessità"

INIZIO

Q: Ciao. Ho visto il tuo libro in libreria ("Caso, Probabilità e Complessità") e l'ho comprato. Mi ci fai una dedica e intanto mi spieghi di che parla?

A: Si discute degli aspetti fondamentali della teoria della probabilità, una branca della matematica spesso trascurata ma che costituisce un bagaglio fondamentale per affrontare con razionalità molte scelte della vita di tutti i giorni, per difendersi da raggiri e imposture, per comprendere numerosi aspetti del mondo che ci circonda e gli sviluppi più recenti della scienza.

Q: Si ma sempre di matematica si tratta, sai che noia...

A: Però con l'aiuto della probabilità si sono capite cose molto interessanti, ad esempio che gli atomi esistono e che si possono contare.

Q: Con tutto il rispetto non mi sembra un argomento così eccitanti! Sin dalle scuole medie sappiamo che esistono gli atomi e le molecole e che sono molto molto piccoli; che la materia sia costituita da questi minuscoli elementi è ormai cosa considerata scontata, come la sfericità della Terra. Ora le frontiere della fisica sono la materia oscura, i buchi neri, i viaggi nel tempo, il bosone di Higgs Perché sarebbe ancora interessante parlare di atomi?

A: La storia degli atomi è stata lunga e molto interessante da diversi punti di vista e non solo come fatto di erudizione nell'ambito della storia della scienza, in particolare per i legami con la letteratura e la filosofia ed anche per gli attuali sviluppi.

Q: Allora raccontami un po'.

A: Tutto cominciò in Grecia nel V-IV secolo AC con Leucippo e Democrito; in due parole la loro idea, veramente visionaria, è che il mondo che ci circonda sia costituito da minuscole particelle (gli atomi) che aggregandosi danno luogo ai corpi materiali e ne determinano le proprietà. Per esempio, se immagini che l'acqua sia fatta di palline lisce e il ferro di palline piene di spuntoni puoi spiegare perché l'acqua scorre facilmente, mentre il ferro no: nel primo caso gli atomi rotolano e scivolano bene, nel secondo caso si incastrano gli uni con gli altri. Per quanto lontano dalle conoscenze attuali era un notevole passo avanti! In uno dei pochi frammenti di Democrito che ci sono pervenuti possiamo leggere, il manifesto programmatico dell'atomismo ed anche le sue difficoltà: Dice la Ragione: Solo in apparenza una cosa è dolce o amara, solo in apparenza è calda o fredda, solo in apparenza ha un colore; in realtà esistono solo gli atomi e lo spazio vuoto. Rispondono i Sensi: Povero intelletto! Tu che stai prendendo la tua evidenza da noi, stai cercando di spodestarci? La tua vittoria sarà la tua rovina!

Q: Adesso sappiamo che Democrito aveva ragione!

A: Certo ora lo sanno anche i ragazzi, lo insegnano a scuola. Tu mi sai dire come è stato possibile convincersi della loro esistenza ben prima di averli osservati direttamente?

Q: Beh, lo sappiamo perché da secoli abbiamo i microscopi e quindi li possiamo vedere

A: No aspetta, con il microscopio ottico puoi vedere i microbi, e con quello elettronico puoi vedere perfino i virus, ma un atomo migliaia di volte più piccolo, non puoi "fotografarlo" con nessun microscopio! L'unico modo con cui oggi, ma da non più di qualche decina di anni, possiamo vedere direttamente gli atomi è col microscopio a effetto tunnel, che non restituisce un'immagine dell'atomo, ma una sua impronta.

Q: Allora devo confessare che non ho la minima idea di come abbiano fatto a capire oltre un secolo fa, che gli atomi esistono.

A: Per capirlo serve un po' di storia. Nell' antichit`a e nel medio evo l'ipotesi atomica non ebbe molti seguaci infatti sia i filosofi aristotelici che quelli platonici erano contrari. Tuttavia ci fu Lucrezio con il suo grande poema De Rerum Natura che and`o perduto.

Q: Ma ricordo di aver letto brani del De Rerum Natura a scuola: ´e stato ritrovato?

A: S`i. Quando fu ritrovato nel 15-mo secolo venne considerato un testo pericoloso e fu duramente osteggiato, ed inserito nell'elenco dei libri proibiti, in quanto l' atomismo era visto come supporto teorico dell' ateismo.

Q: Cosa hanno anche fare gli atomi con la religione?

A: Secondo alcuni importanti teologi cattolici dell'epoca l'atomismo sarebbe stato in contrasto con il dogma della transustanziazione nell'eucarestia.

Q: Non capisco...

A: In due parole all'epoca l'obiezione era: se gli atomi sono l'essenza ultima di un corpo come pu`o l'ostia consacrata essere realmente il corpo di Cristo? Comunque dal 16-mo/17-mo secolo, in ambito scientifico, l'atomismo venne ampiamente accettato, ad esempio da Galileo e Newton. Nella seconda met`a del 19-mo secolo molti chimici e fisici usarono l'ipotesi atomica per fare precise previsioni quantitative. Il premio Nobel R. Feynman sostiene che l' ipotesi atomica `e la pi`u grande idea della fisica: Se in un cataclisma andasse distrutta tutta la conoscenza scientifica, e soltanto una frase potesse essere trasmessa alle generazioni successive, quale affermazione conterrebbe la massima quantit`a di informazioni nel numero minimo di parole? Io credo che sarebbe l' ipotesi atomistica (o dato di fatto atomico, o comunque vogliamo chiamarlo) secondo cui tutte le cose sono fatte di atomi, piccole particelle che si agitano con un moto perpetuo, attraendosi quando sono un po' distanti una dall' altra, ma respingendosi quando sono schiacciate una contro l' altra. In questa singola frase c' `e un' enorme quantit`a di informazione sul mondo che ci circonda, se soltanto ci si riflette sopra con un po' di immaginazione.

Q: Quindi a parte i teologi gli scienziati moderni hanno rapidamente accettato l'ipotesi atomica.

A: Non proprio, nel 19-mo secolo tra i campioni dell' atomismo ci furono due grandi fisici J.C. Maxwell e soprattutto L. Boltzmann, che incontrarono una dura opposizione sia a livello scientifico che filosofico anche da personaggi di primo livello, come E. Mach ed W. Ostwald (premio Nobel per la chimica).

Q: Ma non hai detto che con l'ipotesi atomica i fisici erano in grado di fare precise previsioni? Come è possibile che ci fossero oppositori?

A: Il loro argomento era il seguente: si può anche ammettere che l'ipotesi atomica sia utile per fare i calcoli, ad esempio Mach diceva la teoria atomica gioca in fisica un ruolo simile a quello di certi concetti matematici; è un modello per facilitare la riproduzione mentale di fatti; però anche se ci sono sono molto piccoli e non si possono vedere... In effetti all' epoca non si potevano vedere...

Q: Ed allora come si arrivò a capire che esistono veramente?

A: La svolta definitiva avvenne all'inizio del novecento, con la spiegazione teorica di A. Einstein, e la verifica sperimentale di J. Perrin, di un fenomeno, il moto Browniano, per lungo tempo considerato poco più di una curiosità, si chiuse definitivamente la polemica sulla reale esistenza degli atomi, confermando l'intuizione di Democrito e Leucippo.

Q: Moto Browniano? mai sentito

A: Certo, voi giovani vi eccitate per i buchi neri ed il bosone di Higgs ma ignorate tante cose importanti della scienza del passato. Nel 1827 il botanico scozzese Robert Brown, studiando l'impollinazione di certe piante, scoprì che un granello di polline immerso in acqua effettua un movimento irregolare (a zig-zag) ed incessante. Questo moto irregolare è sempre presente per particelle piccole a livello macroscopico (ma grandi da un punto di vista microscopico di dimensioni dell'ordine del millesimo di millimetro) immerse in un fluido, e questo indipendentemente dalla loro natura organica, o meno,

Q: E perché mai questo moto browniano è così interessante? E soprattutto cosa a che vedere con gli atomi?

A: In effetti la cosa non è così ovvia, altrimenti non ci sarebbe stato bisogno di Einstein... In due parole la sua idea era che essendo il granello di polline molto più grande delle molecole del fluido, in qualche modo deve comportarsi come un corpo macroscopico quindi quando si muove sente una forza d' attrito ed il suo movimento è frenato dal fluido, fino ad arrestarsi. Questo non si osservava: il granello procede zig-zagando incessantemente.

Q: E dunque?

A: Dunque da questa osservazione si può dedurre che il granello si comporta come una mongolfiera immersa in un nugolo di moscerini che si muovono casualmente in tutte le direzioni con una velocità media sempre uguale nel tempo. Consideriamo un piccolo intervallo di tempo. Poiché il numero di urti che la mongolfiera subisce è grande, ma pur sempre finito, ci sarà una direzione lungo la quale ci saranno stati più urti. La mongolfiera si muoverà lungo questa direzione. Nell'istante successivo la direzione preferenziale degli urti cambierà e dunque anche la direzione del moto della mongolfiera.

Q: Dopo questa spiegazione capisco che ci voleva un certo coraggio ed il genio di Einstein per un'idea del genere.

A: Ed Einstein non si fermò qui: riuscì, con le ipotesi fisiche che ti dicevo, e l'utilizzo del calcolo delle probabilità, a mostrare che il moto del granello ha precise proprietà statistiche. In particolare riuscì a correlare la velocità con la quale in medio il granello si allontana da un punto con quantità ben note del mondo macroscopico (la costante dei gas, la viscosità del fluido, la sua temperatura, il raggio del grano di polline) ed il numero di Avogadro.

Q: Il numero di Avogadro?

A: È il numero di atomi di idrogeno contenuti in un grammo. Nel caso del Moto Browniano è legato al numero di molecole che sono presenti attorno al granello. Nella formula di Einstein per il moto browniano (sicuramente meno famosa di $E = mc^2$, ma

ugualmente molto importante) appaiono quantità misurabili il numero di Avogadro; si ha quindi una relazione verificabile sperimentalmente. Possiamo dire che Gli atomi non si vedono ma si possono contare!

Q: E li hanno veramente contati?

A: Certo, l'eroe della parte sperimentale è stato il fisico francese J. Perrin, che superando grandi difficoltà pratiche, ha studiato la diffusione di piccoli grani di diversa grandezza e, utilizzando la formula di Einstein, ha misurato il numero di Avogadro, che vale circa 6×10^{23} a parole seicentomila miliardi di miliardi, per questi lavori nel 1926 ricevette il premio Nobel.

Q: E con questo l'idea di Democrito trionfa, giusto?

A: Esatto! Se Democrito avesse conosciuto i risultati del moto Browniano, nel dialogo la Ragione avrebbe potuto (a buon diritto) concludere reclamando il suo trionfo: Dal caldo e dal freddo dimostro che esistono gli atomi, li posso contare e misurarne le dimensioni Nel 1911 Arrhenius in un congresso a Parigi, riassumendo i lavori di Einstein e Perrin sul moto browniano, dichiara che dopo questo non è più possibile mettere in discussione la realtà degli atomi come fatto essenziale. Ma Mach non si arrese mai!

Q: Interessante, devo ammetterlo, però sono cose di un passato remoto, mi sembra archeologia scientifica per vecchi professori...

A: Ma io sono un vecchio professore... In ogni caso hai torto, ora te lo spiego. Tu sai cosa sono le option?

Q: Un prodotto finanziario sui quali si può investire, giusto?

A: Esatto, hai idea di come si decide un prezzo di un' option?

Q: Veramente no.

A: Si usano teorie matematiche, dette processi stocastici, non ti far spaventare da questo nome terrificante... introdotte dal fisico francese Langevin proprio per matematizzare l'idea di Einstein e studiare il moto di oggetti che si muove per effetti casuali (come nel caso del brandello di polline soggetto agli urti con le molecole).

Q: Stai dicendo che quelli che lavorano a Wall Street hanno studiato il moto browniano?

A: Proprio cos'ì, a partire dagli anni novanta varie migliaia di persone con il dottorato in fisica sono entrate nel giro della finanza, non pochi anche nel grande giro; tra cui un paio di miei ex studenti. Ma torniamo alla fisica: il moto Browniano è il primo esempio di fenomeno nel mondo di mezzo, in cui si hanno oggetti (particelle colloidali) di dimensioni dell'ordine del millesimo di millimetro, e quindi sono di grandezza intermedia tra gli atomi e la scala umana.

Q: Il mondo di mezzo... che nome strano.

A: A volte è chiamato mondo mesoscopico, il nome è dovuto al fatto che le particelle colloidali sono a metà strada tra gli atomi ed il modo macroscopico. In questo mondo intermedio succedono tante cose interessanti ed importanti in vari ambiti: a) le nanotecnologie che presto avranno impatto anche nella vita di tutti i giorni; b) fenomeni biofisici come i motori molecolari; c) l'effetto serra in cui hanno un ruolo fondamentale gli aerosol (che sono particelle colloidali).

Q: Accidenti! o.k. mi rimangio quello che ho detto, non è solo roba da vecchio professore. E veramente incredibile come un fenomeno apparentemente irrilevante come il moto di un granello di polline sia stato la chiave per capire tante cose: il conteggio degli atomi, la finanza, le nanotecnologia, l'effetto serra.

A: Non vedo perché ti stupisci, non è certo un fatto isolato, varie volte è successo che studi iniziati per motivi molto astratti dopo qualche anno hanno trovato utili applicazioni in ambiti (anche pratici) molto diversi, ad esempio: *) la relatività generale, teoria astratta per eccellenza, ora è usata nei GPS; *) la meccanica quantistica, nata per spiegare fenomeni a scala atomica, ha prodotto il transistor ed i laser, ormai presenti nella nostra vita quotidiana; *) branche della matematica, molto

astratte, apparentemente inutili, come l'analisi armonica, la logica e la teoria dei numeri, hanno prodotto la TAC, il computer e la crittografia.

Q: A parte il tuo libro, cosa si pu`o leggere sul mondo di mezzo?

A: C'`e un grande classico, scritto dai uno dei protagonisti dell'epoca eroica, in cui si narra la conferma sperimentale, attraverso lo studio del moto browniano, della natura atomica della materia, anche dopo un secolo rimane un testo fondamentale: * J. Perrin Gli atomi (Editori Riuniti, 2014).

Q: Qualcosa di pi`u recente?

A: Per una breve presentazione del moto browniano ed il mondo mesoscopico, dai nanosistemi alla biofisica, si pu`o leggere: * M. Haw Nel mondo di mezzo (Zanichelli, 2008).

FINE