Come costruire una bomba atomica

Pochi mesi dopo che Einstein ha pubblicato il suo primo articolo sulla Relatività nel 1905, egli ha mandato una sorta di osservazione allo stesso giornale.
La sua teoria aveva avuto una strana piccola conseguenza.
Sembrava così strana che il titolo della nota in questione è: "La Massa Dipende dall'Energia?"

Per esaminare i quattro pezzi stampati che verranno e contemplare tutto ciò che ne è seguito significa prendere in considerazione la potenza delle idee.

Al meglio o al peggio, Einstein ha sbloccato i segreti dell'atomo.
C'è stata infatti la distruzione di Hiroshima e Nagasaki.
Ci sono stati 40 anni di paure e tensioni, detti Guerra Fredda, che le superpotenze hanno perseguito nella loro politica di mutua distruzione assicurata, insistendo su arsenali così importanti che anche dopo un primo scontro potevano ridurre il loro avversario in macerie.
Si trattava di promettere una energia infinitamente rinnovabile, ed abbiamo la maledizione di Chernobyl.

C'è stata anche la spiegazione della luce del Sole e del cielo stellato.

Sebbene sia vero che i chimici hanno inciampato sulla radioattività prima di Einstein, ed avrebbero potuto sviluppare la potenza atomica senza di lui, la teoria di Einstein è stata la torcia che ha mostrato la via.
Le sue idee hanno dato forma ad un secolo in cui siamo felici di vivere.
Einstein concluse la sua breve nota derivando la più famosa relazione fisica di tutte:

$$E = m\,c^2$$

"E" sta per energia, "m" sta per massa e "c" sta per velocità della luce nel vuoto.
In breve, questo significa che l'energia può essere convertita in massa e viceversa.
In un certo senso, che energia e massa sono due forme della stessa cosa.
Proprio dopo aver derivato questa formula, nell'ultima riga delle sue note, Einstein ha posto la questione se la sua idea potesse avere conseguenze sperimentali:

> **"Non è impossibile che con corpi il cui contenuto di energia è altamente variabile (p. es.: sali di radio) la teoria possa essere provata con un test".**

Cioè, Einstein vedeva, nel 1905, la possibilità che elementi radioattivi, come il radio e l'uranio, possano subire conversioni di massa in energia.
Questo è avvenuto 40 anni prima che Hiroshima e Nagasaki venissero bombardate.
Anche oggi, migliaia di missili nucleari stanno nei loro silos pronti per il lancio.
Una dozzina di Paesi sta premendo per realizzare i loro programmi di potenza.
Le idee di Einstein ci stanno ancora "infestando".

Faster speeds, greater masses

"Energia" significa "l'ammontare del moto".
Supponiamo che due automobili identiche stiano correndo lungo una strada; l'automobile più veloce ha più energia.
Supponiamo che un furgone e una piccola automobile stiano viaggiando fianco a fianco lungo la strada alla stessa velocità; il furgone è più pesante e quindi ha più energia.

E' più difficile da fermare.
Quindi, in un oggetto in movimento, maggiore velocità e maggiore massa significano più energia.
Come un'automobile accelera o noi spingiamo qualche cosa verso "avanti", esso guadagna energia.
Einstein ha scoperto che, dato un oggetto in movimento, il suo peso è maggiore rispetto allo stesso oggetto in quiete; cioè, un oggetto con più energia ha anche più massa.
Come la velocità di un oggetto cresce, anche la sua massa cresce.
Come un oggetto si muove sempre più veloce così cresce la sua massa, al punto che quando essa si approssima alla velocità della luce (nel vuoto) la massa diventa infinita.
L'effetto è chiamato "aumento relativistico della massa".

Ci sono molte strade per descrivere questo fenomeno, e quella che segue è la più semplice e la più comune.

L'energia può anche essere accumulata in un oggetto.
Supponiamo di tenere in mano le estremità di una fascia elastica.
Come muoviamo le mani da una parte, le fasce si muovono, e quindi acquistano energia.
Tirando le fasce fino al loro limite, le nostre mani rallentano e le fasce assorbono la loro energia.
L'energia o il moto sono ambedue nelle fasce.
Se noi ci rilasciamo e lasciamo che le fasce tirino le nostre mani, queste si muovono assieme di nuovo.
Questo moto verso l'interno ha l'energia che era stata accumulata nelle fasce.
Quindi la fascia è un mezzo per assorbire, accumulare e rilasciare energia.

L'energia assorbita ha anche massa.
Quando la fascia elastica è tirata o una molla è compressa, questa pesa di più.
Similmente una nuova batteria pesa leggermente di più di una batteria usata.
Come la dilatazione del tempo e la contrazione delle lunghezze, questo aumento di massa non è osservabile nella vita di ogni giorno.
La massa extra è significativa solo quando i corpi si muovono a velocità molto alte.
Il moto delle nostre mani accumulato nelle fasce elastiche è così lento che nessun strumento inventato finora è capace di misurare l'aumento di massa.

Per riassumere, corpi con maggiore velocità pesano di più, hanno cioè più massa.
Più precisamente: la massa relativistica aumenta.
Assumiamo un apparato in quiete o in movimento, con velocità costante e nella stessa direzione, per misurare la massa dei corpi che passano.
Un dato corpo che viene misurato a diverse velocità avrà masse superiori con velocità superiori.

The celestial speed limit

Immaginiamo di voler correre se ad ogni passo più veloce le gambe diventano più pesanti e ad ogni sprint di velocità si trasformano in pesi di piombo.
L'aumento della velocità di un corpo richiede una qualche spinta o forza.
L'aumento di velocità dei corpi più pesanti richiede spinte più forti.
Se la massa di un corpo si avvicina all'infinito, allora ulteriori aumenti di velocità richiedono forze che tendono all'infinito.

Ma nessun razzo e nessuna esplosione possono produrre forze infinite: nulla di ciò che è finito o limitato può produrre qualcosa di infinito.
Quindi non esiste forza nell'Universo che possa spingere un corpo alla velocità della luce.
In breve: si argomenta che la luce deve rappresentare il massimo.

A. **Se una massa raggiunge la velocità della luce, allora esiste una forza infinita. (P)**
B. **Nessuna forza infinita esiste. (P)**
C. **Quindi nessuna massa raggiunge la velocità della luce. (da A e B)**

La prima premessa, A, fa parte della Teoria della Relatività.
La seconda, B, sembra sicura perché una forza infinita richiede una energia infinita, che non è contenuta in nessuna parte finita del nostro universo.
Quindi Einstein ha scoperto che le leggi fisiche impongono un limite alla velocità di tutti i movimenti: nessun corpo può raggiungere la velocità della luce.
Questo è il famoso "celestial speed limit".

Ci sono chiacchere che parlano di navi spaziali con macchine "warp drive" ("motore a curvatura", reso celebre da Star Trek), o di particelle immaginarie, chiamate "tachioni", che viaggiano più veloci della luce, ma, se Einstein è esatto, queste rimarranno nella fantascienza.

Perché la luce è capace di viaggiare al massimo della velocità?
La ricetta di Einstein per trovare la massa di un oggetto in movimento dice dapprima di pesare l'oggetto quando è fermo, e quindi di moltiplicarlo per 2, o 15, o 20.000 (il numero più alto va applicato all'oggetto più veloce) per trovare la sua massa in movimento.
Cioè, la massa delle alte velocità dipende dalla massa in quiete, cioè dalla "rest mass".
Più precisamente, la massa alle alte velocità è un multiplo della "rest mass".

Molto interessante: un raggio di luce è pura energia e non ha massa.
Quindi, se la "rest mass" è zero, moltiplicandola per 2 o per 20.000, o per infinito, è ancora zero.
A differenza dei corpi ordinari, la luce può viaggiare alla velocità massima senza essere infinitamente pesante.

Questo "celestial speed limit" per i corpi ordinari è più che deludente.
Sebbene quasi tutti i fisici credono che "più veloce della luce" sia impossibile, forse qualcuno qualche giorno scoprirà un modo per eludere la proibizione di Einstein.
Recenti esperimenti suggeriscono che ci sono dei suggerimenti.

Mass is Energy : Energy is Mass
Einstein aveva una mente che gli permetteva di saltare agilmente da una idea all'altra.
La sua potente intuizione gli permetteva di afferrare sicuramente e con una nuova scoperta.
Questi salti hanno reso le sue relazioni scientifiche come lavori artistici in miniatura.
Essi sono semplici e graziosi, ma rivelano una mente che danza fra le idee più profonde.
Un esempio di tale salto è la dichiarazione che massa ed energia sono la stessa cosa.
Strettamente parlando, la massa relativistica che aumenta non significa altro che ogni massa è fatta di energia.
Per esempio, proprio perché soffiando aria in un pallone o rilasciandola il pallone cambia forma e dimensioni, noi non diciamo che il pallone è fatto solo di aria.
La plastica deve esserci prima.

Ma Einstein la ha saltata.
Se qualche massa è prodotta aumentando l'energia allora, ha detto, tutta la massa è proprio energia.
Quindi la sua formula famosa non ci dice che aumentando l'energia produce un aumento di massa – come si ha che aggiungendo aria si gonfia il pallone.

Dice solo che energia è massa, e la massa è energia.

E' passato del tempo prima che altri fisici fossero convinti che Einstein aveva ragione.
Ora è routine trasformare massa in energia e viceversa, negli esperimenti.
E' anche un fatto comune trasformare materia solida in nulla di più che energia pura.
Quindi la prima idea più importante contenuta nella breve formula di Einstein è che l'energia può essere convertita in massa e viceversa: la intergovernabilità di massa ed energia.
Questa interconversione ha una importante conseguenza; essa mostra che la legge di conservazione dell'energia e la legge di conservazione della massa sono false.
Nella fisica classica, prima di Einstein, queste erano viste come fondamentali.
Ma quando la massa è trasformata in energia, l'ammontare di massa nell'universo decresce esattamente come l'ammontare di energia cresce.
Quindi, nessun totale è conservato.
Per salvare l'idea generale della conservazione, i fisici combinano le due leggi.
Dopo Einstein, essi hanno detto che l'ammontare totale di massa ed energia è conservato quando tutte le misure sono fatte con gli stessi campioni di lunghezza e con gli stessi orologi.
Questa nuova idea è chiamata legge di conservazione della massa-energia.

(Solo più tardi i fisici hanno scoperto che questa legge vale solo in media: per tempi brevi l'ammontare totale di massa-energia può fluttuare su e giù.)

La formula di Einstein contiene anche una seconda idea depositata nella piccola lettera "c".
E' questa che rende la formula così pericolosa, e così profondamente sagomata al ventesimo secolo.
Quanta energia è possibile ricavare da un pezzo di materia?
Supponiamo di avere una oncia o un grammo di materia e di convertirlo in energia.
Quanta energia possiamo fare?
La formula rende il calcolo facile.
Indichiamo con la lettera "m" l'ammontare di massa che deve essere convertito.
Moltiplichiamo per c^2 per ottenere l'energia.
Questo sembra molto innocente, ma in realtà c^2 è un numero molto grande: 9.000.000.000.000 .
In parole: questo è 9 trilioni (usando l'unità $(m/s)^2$).
Quindi 1 gr di materia, circa il peso di una piuma, produrrebbe una esplosione dalle dimensioni di 20.000 tonn di dinamite!
Queste erano le dimensioni della bomba che è caduta su Hiroshima.
Se l'energia intrappolata nel vostro corpo fosse improvvisamente liberata, la Terra sarebbe in frantumi.

Chain reactions

Le bombe atomiche sono pericolose perché sono semplici.
Per quello che conosciamo, ogni Nazione che ha tentato di costruire e farle esplodere ha avuto successo.
La tecnologia relativamente cruda lo sta facendo.
Le prime bombe sono state costruite nei primi anni del 1940, prima che i transistor ed i computer fossero inventati.
Pensa ad una radio o ad una automobile di quel tempo: la stessa tecnologia era usata per costruire le bombe atomiche.

L'idea centrale è questa.
Supponiamo di avere una piccola ma forte molla di acciaio, che può essere tirata o compressa.
Poiché le molle accumulano energia quando sono tirate o compresse, esse sono un po' più pesanti.
Supponiamo tuttavia che i blocchi siano fragili, e cerchiamo di estendere la molla ancora un po'.
Con il minimo sforzo di tirare o comprimere, i blocchi possono rompersi e liberare la molla.
Quindi la molla, o compressa o dilatata, è instabile.

Supponiamo di voler collezionare centinaia di molle bloccate, di impacchettarle strettamente in una botte e di avvitarne il coperchio.
Esse possono stare lì, pacificamente, per un certo tempo.
Ma supponiamo che qualcuno dia un colpo al barile, o supponiamo che il chiavistello che le blocca si rompa.
Se una sola molla si libera, questa può dare un colpo ai propri vicini.
Questi anche possono far saltare i propri chiavistelli, e colpire a loro volta i vicini.
In poco tempo nel barile le molle si dondolano e rimbalzano con le molle liberate.
Forse anche tutte le molle si liberano, e la botte esplode.

Questa è una bomba atomica: unità instabili impachettate assieme strettamente e quindi "disturbate".
Ciascuna unità libera energia man mano che si rompe il suo chiavistello, questa energia disturba i suoi vicini realizzando così ancora maggiore energia.
Se ciascuna esplosione fa sì che più di un vicino venga disturbato, allora il numero di esplosioni cresce rapidamente.
Questa è la famosa reazione a catena.

Gli atomi sono usati al posto delle molle in quanto sono più piccoli.
Un numero enorme di essi può quindi essere impachettato in una bomba, sufficientemente piccola per essere trasportata da un aereo o da un autocarro.

Non tutti i tipi di atomi sono appropriati per essere usati come "carburante"di una bomba atomica.
Il nucleo di ciascun atomo contiene particelle chiamate "protoni".
Queste particelle si respingono efficacemente una dall'altra, e stanno continuamente lottando per scappare e correre via in tutte le direzioni, ma esse sono tenute sul posto e legate assieme da forze molto intense, che di solito rendono l'atomo molto stabile.

Tuttavia, in atomi molto grandi, ci sono tanti protoni che la loro repulsione è quasi uguale alle forze attrattive che li lega assieme.
Questi grandi atomi sono instabili.
Un colpetto o un urto può romperli, e liberare i protoni.
Se molti atomi instabili si truccano di un pezzo di materia e solo uno si disintegra, le particelle che si liberano possono colpire gli atomi vicini e causare la disintegrazione.
Se ciascun atomo che si destabilizza distrugge più di uno dei suoi vicini, la reazione a catena che ne segue diventa presto una valanga e fa sì che il pezzo di materia esploda.
Purtroppo per noi, gli atomi adatti per fare le bombe atomiche si trovano attorno a noi, in natura, e possono essere estratti nei deserti del Sud Africa o nell'ovest degli Stati Uniti.
Il più conosciuto è l'uranio, un metallo pesante giallo. Il suo nucleo contiene 238 grandi particelle, che lo rendono molto grande e molto fragile.
Anche stando nel deserto, alcuni dei suoi atomi decadono spontaneamente ed inviano particelle verso l'esterno.
Ma essi di solito scappano senza colpire e distruggere gli atomi vicini (la materia ordinaria attorno a noi e nei nostri corpi è al 99,99% spazio vuoto).
In una bomba, grandi pezzi di uranio sono messi assieme tanto che le particelle che scappano hanno una alta probabilità di colpire gli atomi di uranio circostanti ed iniziare una reazione a catena.
Esiste un trucco molto importante per fare una bomba atomica.
Supponiamo che inizi una reazione a catena.
Un atomo si rompe, e le particelle escono e rompono due atomi vicini.
Le particelle espulse da questi due atomi ne rompono altri 4, e la catena procede rompendo 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 atomi, e così via.
Questa serie di mini-esplosioni produce calore ed energia, e questo provoca lo scioglimento del metallo fino a renderlo liquido (una pozzanghera).
Come fa questo, gli atomi si separano uno dall'altro: il calore provoca espansione.
A turno, questo rende meno probabile che le particelle che scappano colpiscano gli atomi circostanti.
Quindi la reazione a catena si assottiglia, diciamo 64, 32, 27, 16, 5, ed eventualmente 0 atomi.
L'uranio si scioglie e diventa caldo al color bianco, ma nulla di più.

È qui che i fisici chiamano gli ingegneri.

Per sostenere la reazione a catena, gli atomi di uranio devono essere tenuti assieme per un tempo sufficientemente lungo affinché la reazione a catena avanzi.
Questa è una impresa delicata di ingegneria.
In un progetto gli atomi instabili sono disposti in una sfera e circondati da dinamite.
Nel momento in cui la reazione a catena è scatenata, la dinamite che la circonda esplode.
La forza che agisce verso l'interno nell'ordinaria esplosione mantiene l'uranio "assieme" per un tempo sufficientemente lungo (solo qualche frazione di secondo) perché la reazione a catena "corra" nell'intero nucleo.
Anche se il metallo diviene incredibilmente caldo, gli atomi rimangono chiusi a sufficienza per sostenere la reazione a catena.
Improvvisamente, si realizza tanta energia che la forza di compressione è messa da parte e si è scatenata una grossa esplosione.

La ricetta per una bomba atomica è quindi semplice fisica e delicata ingegneria.
Primo, ottieni e purifichi qualche libbra di uranio o plutonio.
Prendi il materiale in piccoli campioni, così nessuna reazione a catena si sviluppa spontaneamente.
Poni questi campioni gentilmente in una bomba.
Nell'istante desiderato, comprimi i campioni assieme e fai scattare una reazione a catena, diciamo tramite compressione del metallo.
Mantieni il campione compresso sufficientemente a lungo affinché la reazione a catena consumi un grande numero di atomi instabili.

In un certo senso, noi non possiamo comprendere l'orrore di queste bombe.
La città di Hiroshima ha eretto un museo ed ha lasciato alcune case in frantumi fin dal 1945.
Questo è un promemoria con cui la Scienza ci minaccia, e continua a minacciarci fino all'annientamento.
Non è chiaro cosa vogliamo fare per il futuro.
Le nostre speranze dipendono in parte dall'intelligenza che ci ha posto in via di estinzione, e da una comprensione vigilante di queste armi e della fisica che c'è dietro.
Contro gli orrori della Seconda Guerra Mondiale, noi possiamo solo aspettare un risultato splendente e collettivo.
Per più di mezzo secolo nessuno ha fatto cadere una bomba atomica o un altro strumento umano.
Ogni anno che passa si aggiunge a questo fragile miracolo.

Interpreting Mass-Energy

La intergovernabilità fra massa ed energia è uno shock.

Noi siamo abituati a pensare che il mondo è costituito da una sorta di cose stabili.
Queste possono muoversi avanti ed indietro nello spazio, o raggrupparsi assieme o cadere separatamente, ma qualche cosa sopravvive a questa nuova disposizione.
Ma, cosa significa dire che questo è composto da un movimento?
Più poeticamente, sono i nostri corpi solo forme di moto intrappolato?
Sono i nostri movimenti strisce di materia evaporata?

La equazione di Einstein non risponde a queste domande.
Essa riporta semplicemente il fatto che massa ed energia possono essere convertite una nell'altra.

La interpretazione della trasformazione di Lorentz offre una spiegazione interessante sul "perché" la massa cresce con la velocità.
L'idea che qualcuno, saltando da un grattacielo, raggiunga il massimo della velocità è familiare.
Come il corpo precipita sempre più velocemente, egli tenta di gettare via l'aria dalla sua strada.
Ma, più veloce è la spinta più l'aria fa resistenza.
Eventualmente abbiamo un equilibrio.
La gravità tenta di spingere verso il basso il corpo più velocemente, ma l'aria resiste ed impedisce una ulteriore accelerazione.

Il corpo precipita ad una velocità costante, che i fisici chiamano (anche) "velocità terminale".

Esiste una interpretazione alternativa di tutto questo.
Invece di dire che la resistenza dell'aria cresce con la velocità del corpo è possibile insistere sul fatto che la massa cresce all'aumentare della velocità.

Ambedue queste spiegazioni implicano che la gravità troverà una difficoltà crescente per accelerare il corpo che cade.
Ed ambedue queste spiegazioni sono in accordo con il corpo che cade.
In maggiore dettaglio, vicino alla sommità del grattacielo la gravità riesce inizialmente ad accelerare il corpo.
Ma, nel momento che il corpo cade più rapidamente, noi possiamo dire che risponde sempre meno alla forza di gravità, e continua a muoversi verso il basso solo a causa dell'inerzia.
Poiché è più difficile far aumentare la velocità dei corpi pesanti, noi possiamo dire che il corpo diventa sempre più pesante man mano che aumenta la sua velocità.
Ecco perché la sua accelerazione cala a zero anche se la forza verso il basso rimane la stessa.
Infatti, al massimo, siamo alla velocità terminale, noi possiamo dire che il corpo è infinitamente pesante, perché non risponde più alla forza di gravità.

Se noi non sappiamo nulla sulla resistenza dell'aria, e non abbiamo alcun altro modo per "misurare" l'aria, noi possiamo dire che la massa aumenta con la velocità.

Questa seconda interpretazione è ben nota ai fisici che studiano il modo in cui le navi ed i sottomarini si muovono nell'acqua.
Essi dicono che tali corpi hanno una massa effettiva che sale con la velocità attraverso il fluido.

Interessante, lo stesso è vero per gli elettroni e le altre particelle cariche che si muovono attraverso campi elettromagnetici.
Più velocemente si muovono gli elettroni più questi sembrano pesanti.
Infatti, diventa sempre più difficile accelerarli attraverso il campo.
I fisici dicono talvolta che la loro massa elettromagnetica aumenta con la velocità.

Lorentz suggerisce che l'aumento relativistico della massa abbia proprio un tale effetto.
Poiché egli credeva nell'esistenza dell'etere, egli concludeva che l'aumentare effettivo delle masse fosse causato dalla sua resistenza.
Cioè, l'etere si comporta come gli altri fluidi e resiste quando viene spinto di lato da corpi che lo attraversano.
Poiché c'è così poco etere in ogni volume di spazio, ordinariamente noi non osserviamo la sua resistenza; solo quando il corpo si muove estremamente veloce, diciamo vicino alla velocità della luce, il suo effetto diventa significativo.

Come prima, l'interpretazione della trasformazione è attraente in quanto offre una spiegazione netta e persuasiva, che dipende dall'esistenza di un etere non rilevabile.