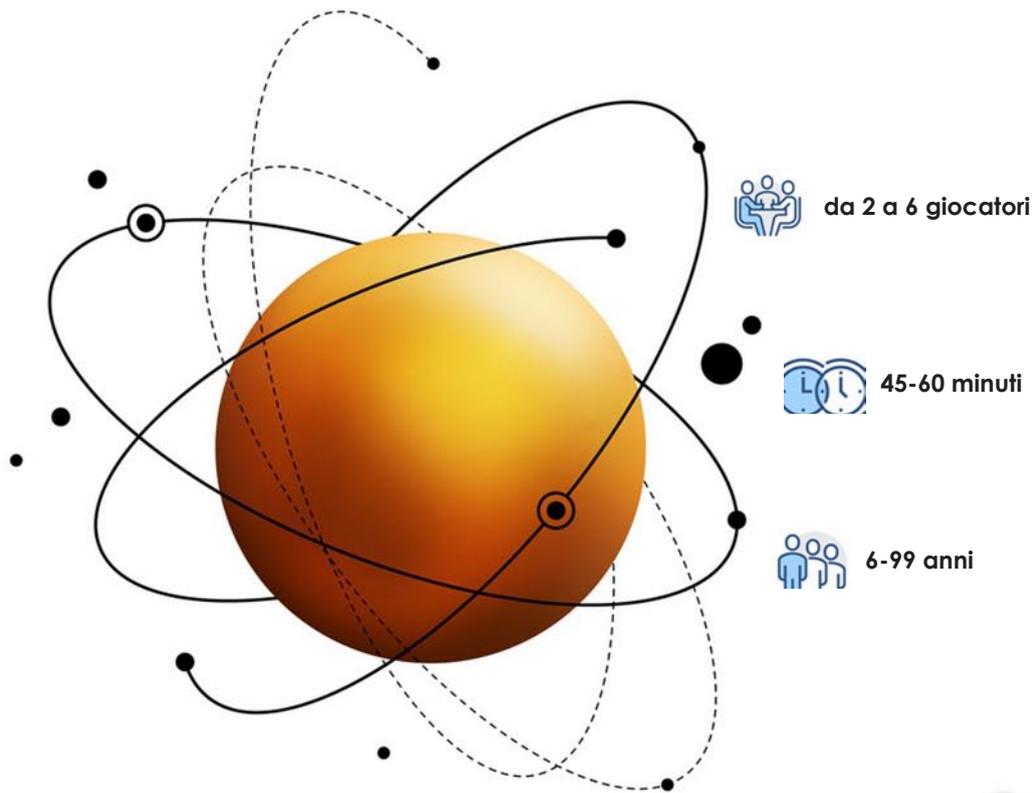


# ATOMS IN ACTION

## Sfida all'ultimo fotone



da 2 a 6 giocatori



45-60 minuti



6-99 anni



# Atoms in Action

## Sfida all'ultimo fotone

*Atoms in Action* è un gioco per 2-6 giocatori in cui sarete chiamati a guidare i vostri atomi in un combattimento **senza esclusione di fotoni** allo scopo di costruire molecole.

Attenzione però, **per legare il vostro atomo a un altro prima dovete catturare un elettrone per ionizzarlo** (far sì che la carica dell'atomo sia negativa), prerequisito per un buon legame ionico!

### Atomi

L'atomo è la struttura nella quale è normalmente organizzata la materia nel mondo fisico e in natura. Più atomi possono legarsi tra loro per formare le molecole. La parola atomo deriva dal greco: *átomos* e significa letteralmente *indivisibile, non tagliabile*, dall'unione di *a* (alfa privativo) e *tagliare*. Era così chiamato perché inizialmente era considerato l'unità più piccola ed indivisibile della materia.

Verso la fine dell'Ottocento si scoprì che l'atomo era in realtà divisibile, essendo a sua volta composto da particelle più piccole: *subatomiche*: protoni, neutroni ed elettroni.

## Lo scopo del gioco

Lo scopo del gioco è formare **molecole** tra un proprio atomo e uno degli atomi liberi. **Il giocatore che per primo riesce a creare due molecole** accoppiando per due volte un proprio atomo con un atomo libero **vince la partita**.

Formare un legame ionico non vi sembra un bell'obiettivo a cui puntare per un atomo?? Pensateci un po' ... Unirsi a un altro atomo senza separarsene più! Uno dei due che regala all'altro un elettrone, un suo componente fondamentale, solo per restare unito!



# Contenuto

- ◇ 7 plance che rappresentano il mondo microscopico in cui agiscono gli atomi: una centrale e sei periferiche;
- ◇ 18 schede-atomo (3 per giocatore, rispettivamente del valore di 2, 3 e 5)
- ◇ 36 cubi colorati (sei per ciascun colore) che rappresentano gli elettroni
- ◇ 18 pedine-atomo (3 per per ciascun colore: rosso, giallo, blu, verde arancione e nero, un colore per ogni giocatore)
- ◇ 12 barriere di potenziale (berrette dilegno)
- ◇ 6 dadi a sei facce (grandi) da usare per produrre energia nelle fluttuazioni (vedi più avanti)
- ◇ 12 dadi a sei facce più piccoli che rappresenteranno i fotoni virtuali una volta creati
  - ◇ 6 atomi liberi (di due tonalità di grigio)

## Approfondimenti scientifici

In alcune pagine di questo regolamento sono presenti approfondimenti e spiegazioni riguardo le diverse tematiche che ci hanno ispirato nel corso della realizzazione.

Sono racchiusi nei *box* colorati che troverete, a volte, a bordo pagina (come, per esempio a destra dove è *raccontata* cosa sono protoni, neutroni ed elettroni)

Ovviamente la lettura di questi approfondimenti non è necessaria per giocare!

### Protoni, neutroni ed elettroni

I protoni (carichi positivamente) e i neutroni (privi di carica) che insieme formano il nucleo. Protoni e neutroni sono detti nucleoni.

Gli elettroni (carichi negativamente) sono presenti nello stesso numero dei protoni e si trovano *intorno* rimanendo confinati all'interno degli *orbitali* o *livelli energetici*.

Gli elettroni, insieme ai protoni e ai neutroni, sono componenti degli atomi e, sebbene contribuiscano alla massa totale dell'atomo per meno dello 0,06%, ne caratterizzano sensibilmente la natura e ne determinano le proprietà chimiche.



# Scheda Atomo

La scheda atomo è mostrata nella figura a sinistra in questa pagina. Riporta una rappresentazione schematica (e un po' fantasiosa) di un atomo. Il livello (orbitale) più interno è di colore blu, il più esterno è di colore verde. **I numeri che si trovano tra un livello e l'altro indicano la quantità di energia necessaria perchè un elettrone passi da un livello inferiore a quello superiore** (per esempio, nell'atomo mostrato in figura sono necessarie 5 unità di energia per far passare l'elettrone dal livello più interno a quello intermedio).

**In ogni orbitale non possono essere presenti contemporaneamente più di due elettroni.**

Se un elettrone raggiunge lo stato indicato come *elettrone libero* (in figura in arancione, in alto a destra sulla scheda dell'atomo) è stato *strappato* all'atomo ed è libero dall'attrazione del nucleo.

In pratica, se un elettrone si trova nella zona arancione della scheda è rimosso dalla scheda stessa e spostato sulla pianca (vedi Attacco a pagina 10).



# La plancia

*Atoms in Action* si gioca su una plancia componibile composta da sette zone numerate da *P00* a *P06* e suddivise in esagoni (le caselle su cui si muoveranno gli atomi). Nel gioco base la zona *P00* è sistemata al centro e le altre sei intorno come mostrato in *Preparazione*. Alcuni esagoni hanno una funzione speciale.

## Esagoni start

Gli esagoni con il bordo viola e l'immagine di un atomo all'interno sono le *posizioni di partenza*: i giocatori devono sistemare i propri atomi, all'inizio della partita, in tre esagoni di questo tipo adiacenti.

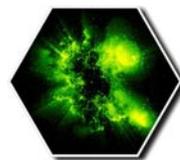


## Fluttuazioni di energia

Gli esagoni con il bordo giallo sono le *fluttuazioni quantistiche di energia*: un atomo di un giocatore che si trova in questo esagono può tirare il numero di dadi indicato per produrre energia.

## Fabbrica degli atomi

Gli esagoni con l'immagine di colore verde all'interno sono le posizioni dove appaiono gli atomi liberi: le *fabbriche di atomi*.



## Micro-buco nero

L'esagono al centro della plancia *P00* rappresenta un micro-buco nero capace di attrarre, con la sua forza, atomi e fotoni. Il loro movimento nei sei esagoni adiacenti al buco nero è più complesso (vedi *Movimento a pagina 8*).



## Fluttuazioni di energia

Le fluttuazioni quantistiche di energia sono mutamenti temporanei nello stato (di energia) dello spazio vuoto, in accordo con il principio di indeterminazione di Heisenberg.

Questo significa che la conservazione dell'energia può essere violata, ma solo per brevissimi periodi di tempo.

L'indeterminazione quantistica permette l'apparizione dal nulla di piccole quantità di energia, sempre a condizione che esse spariscano in un tempo molto breve, tempo tanto minore quanto maggiore è la quantità di energia che appare casualmente.

Questa energia si *concretizza* sottoforma di *fotoni virtuali*.

# Preparazione

Disporre le sette plance al centro del tavolo sistemando la plancia con il numero 00 (*P00*) al centro e le altre sei attorno a essa come mostrato nella figura (è mostrata la situazione iniziale per una partita a tre giocatori).

Ogni giocatore prende le tre schede-atomo del proprio colore e due elettroni per ciascun atomo che sono sistemati nell'orbitale più interno. Le schede-atomo devono essere ben visibili a tutti i giocatori così come la disposizione degli elettroni dell'atomo negli orbitali.

L'ordine con cui giocare può essere scelto a caso. Sugeriamo inizi il giocatore che ha avuto il voto più basso in fisica o in scienze nell'ultimo anno, per proseguire poi in senso orario.

I giocatori sistemano i propri atomi in tre esagoni *start* adiacenti. Se i giocatori sono due la disposizione nelle plance periferiche è a loro scelta, se sono tre essi si disporranno alternando una plancia vuota a una plancia occupata da un giocatore, se i giocatori sono quattro si disporranno vicini a due a due, lasciando tra le due coppie di giocatori una plancia periferica vuota. A turno, ogni giocatore sceglie una diversa plancia periferica (a eccezione di quella dove ha posizionato i propri atomi) in cui posizionare due barriere di potenziale evitando gli esagoni *start* e quelli immediatamente adiacenti. Le barriere devono essere posizionate al confine tra due caselle evitando i confini degli esagoni *start*.

Ogni giocatore, nell'ordine stabilito, sistema un atomo libero in un esagono fabbrica degli atomi, ma non nella zona in cui ha sistemato i propri atomi. L'ultimo giocatore, se si gioca in cinque o meno, posiziona due atomi liberi. **Bene, siamo pronti per partire!**



## Orbitali

Un orbitale atomico è una funzione d'onda che descrive la probabilità di trovare l'elettrone in una determinata zona di spazio attorno al nucleo dell'atomo.

In particolare la *forma* degli orbitali atomici corrisponde a delle zone dello spazio attorno al nucleo dove l'elettrone può trovarsi con elevata probabilità (attorno al 95%). Esistono 4 tipi di orbitali negli atomi non eccitati: s (sharp), p (principal), d (diffuse), f (fundamental). In quelli eccitati si possono trovare altri orbitali denominati in ordine alfabetico a partire dalla lettera successiva alla f (g, h, ...).



## Iniziamo!

In un turno ogni giocatore può utilizzare uno solo dei suoi atomi.

Quale? Manda avanti quello meno timido!

## Il turno di gioco

La partita è organizzata in turni. Nell'ordine, in un turno:

- ◇ i giocatori, uno alla volta nell'ordine stabilito nel corso della preparazione, attivano *uno solo* degli atomi che hanno a disposizione;
- ◇ si spostano gli atomi liberi ed eventuali elettroni, anch'essi liberi, presenti sulla plancia;
- ◇ se necessario si posizionano negli esagoni appositi (le *fabbriche degli atomi*) gli atomi liberi.

## Attivazione degli atomi

Ogni giocatore ha a disposizione 3 azioni per l'atomo che ha scelto di attivare, scelte tra le azioni possibili: **movimento**, **movimento extra**, **produzione di fotoni virtuali**, **attacco**, **cattura di un elettrone** e **costruzione di una molecola**. L'ordine con cui eseguire le azioni è scelto dal giocatore stesso e ogni azione può essere anche ripetuta. Non è obbligatorio eseguire azioni, in particolare non è obbligatorio muovere l'atomo attivato.

Esempio: Emma decide di spostare il proprio atomo di un esagono (vedi figura qui accanto) portandolo in un esagono *fluttuazione di energia*, qui sceglie di produrre fotoni virtuali (è la seconda azione dell'atomo). Prosegue poi il movimento (sempre parte della prima azione) spostando il proprio atomo di un

## LE AZIONI DEGLI ATOMI

**MOVIMENTO:** MASSIMO TRE ESAGONI

**MOVIMENTO EXTRA:** UN ESAGONO IN PIÙ PER 2 UNITÀ DI ENERGIA

**PRODUZIONE DI FOTONI VIRTUALI:** SOLO NEGLI ESAGONI FLUTTUAZIONE QUANTISTICA

**ATTACCO:** LANCIO DI UN FOTONE VIRTUALE VERSO UN ALTRO ATOMO (LIBERO O DI UN AVVERSARIO)

**CATTURA DI UN ELETTRONE:** UN ATOMO NON PUÒ AVERE PIÙ DI TRE ELETTRONI

**COSTRUZIONE DI UNA MOLECOLA:** L'ATOMO DEVE ESSERE NEGATIVO, L'ATOMO LIBERO POSITIVO





Esempio. Melania (blu) attiva il proprio atomo 5 che si trova in un esagono fluttuazione quantistica e usa la prima azione per produrre energia che converte in due fotoni virtuali di energia 2 e 5 rispettivamente.

Con la seconda azione muove l'atomo di tre esagoni aggirando le due barriere di potenziale (barrette verdi), l'atomo porta con sé i due fotoni creati.

La terza azione le consente di muovere una casella ulteriore usando il fotone di energia pari a 2. Questa terza azione pone fine al turno di Melania e il secondo fotone virtuale è inutilizzabile e rimosso dal gioco.

### Produzione di fotoni virtuali

La produzione di fotoni virtuali è possibile solo negli esagoni *fluttuazione di energia*. Il giocatore lancia tanti dadi quanti indicati nell'esagono (due o tre) e il punteggio totale indica la quantità di energia prodotta. Il giocatore deve trasformare l'energia in fotoni virtuali suddividendone il totale prodotto in fotoni in modo che la somma sia pari al totale ottenuto.

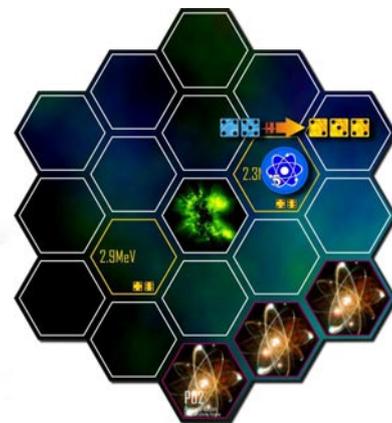
**Praticamente: il giocatore prende un numero di dadi pari ai fotoni virtuali creati in modo che la faccia superiore di ogni dado indichi la quantità di energia del fotone.**

Esempio: Melania ha un atomo che si trova in un esagono *fluttuazione di energia* con due dadi, quindi lancia due dadi ottenendo un punteggio totale (la somma dei punteggi dei due dadi) pari a 9. Melania decide di creare tre fotoni con energia rispettivamente di 2, 3 e 4 e quindi prende tre dadi dalla riserva e li pone accanto al proprio atomo con le facce superiori indicanti proprio i valori 2, 3 e 4. Questi fotoni virtuali

## PROGRAMMAZIONE

IL GIOCATORE, UNA VOLTA TIRATI I DADI PER PRODURRE ENERGIA DALLE FLUTTUAZIONI QUANTISTICHE, DEVE CONVERTIRLI IMMEDIATAMENTE IN FOTONI VIRTUALI PRENDENDO I DADI GIALLI PIÙ PICCOLI E PONENDOLI ACCANTO AL PROPRIO ATOMO CON LA FACCIA SUPERIORE CORRISPONDENTE AL VALORE SCELTO PER IL FOTONE.

I FOTONI SEGUONO L'ATOMO NEL SUO MOVIMENTO E SE NON UTILIZZATI SONO RIMOSI DALLA PLANCIA ALLA FINE DEL TURNO DEL GIOCATORE (VEDI L'ESEMPIO IN QUESTA PAGINA).



possono essere usati solo dall'atomo che li ha creati!

I fotoni virtuali possono essere utilizzati nel modo desiderato dal giocatore ma svaniscono al termine del suo turno (se non utilizzati vanno rimossi dalla plancia e sistemati di nuovo nella riserva). **In particolare non è possibile conservarli da un turno all'altro.**

## Attacco

Un atomo può attaccare un altro atomo (di un altro giocatore o libero) lanciando un fotone virtuale. Il fotone si muove seguendo sempre una traiettoria rettilinea a eccezione di quando si trova in uno degli esagoni adiacenti al micro-buco nero (vedi Fotoni e micro buco-nero a pagina 15) e si sposta fino a incontrare il bersaglio, un ostacolo (vedi Effetto tunnel a pagina 15) o a uscire dalla plancia, nel qual caso è immediatamente rimosso dal gioco.

Il giocatore dichiara l'atomo bersaglio e l'elettrone, nell'atomo bersaglio, che intende colpire. Se il fotone virtuale raggiunge l'atomo bersaglio e ha energia sufficiente (pari o superiore a quella necessaria perchè l'elettrone passi al livello superiore, indicata sulla scheda-atomo) l'elettrone obiettivo è spostato immediatamente nell'orbitale immediatamente superiore (più esterno) rispetto a quello in cui si trovava prima di essere colpito. Se l'elettrone si trovava già nell'orbitale più esterno, l'ultimo, allora è *strappato* dall'atomo a cui apparteneva e il giocatore rimuove l'elettrone dalla propria scheda-atomo **e lo pone nell'esagono adiacente all'atomo che lo ha perso più vicino al micro-buco nero.** L'atomo è ora uno ione positivo!

Un atomo può perdere anche tutti i propri elettroni ma restare in gioco. In questo caso, l'atomo senza elettroni, se colpito da un fotone, si comporta come una barriera di potenziale (vedi Effetto tunnel a pagina 15) È sempre possibile recuperare gli elettroni perduti (vedi Cattura di un elettrone a pagina 11).

Non scoraggiarti: ricordati che sei positivo, ma positivo positivo!

## Ione

In chimica si definisce ione un'entità molecolare elettricamente carica. In pratica, quando un atomo cede o acquista uno o più elettroni si trasforma in uno ione. Gli ioni caricati negativamente sono conosciuti come *anioni* e quelli caricati positivamente sono chiamati *cationi*.

Qualora il livello di energia necessario per far *saltare* l'elettrone al livello superiore sia minore dell'energia del fotone lanciato, il giocatore che è stato colpito ha a disposizione un fotone virtuale pari alla differenza tra l'energia consumata e quella ricevuta. Il giocatore può interrompere temporaneamente il turno dell'avversario e attaccare con il fotone virtuale un altro atomo (non necessariamente l'atomo dal quale è stato colpito). Una volta risolto questo **contrattacco**, il giocatore di turno, quello che aveva attaccato, riprende a giocare normalmente.

**Esempio:** Emma (atomo blu) attacca l'atomo di Melania (arancione) lanciando un fotone di energia 3 e colpisce un elettrone che passa al livello successivo con energia 2. Melania allora sposta l'elettrone al livello (orbitale) successivo ma le rimane un fotone di energia 1 che può usare immediatamente (il turno di Emma si interrompe momentaneamente per permettere a Melania di attaccare con il fotone appena acquisito). Non appena risolto l'eventuale attacco di Melania, Emma riprende a giocare il proprio turno.

**Il contrattacco è possibile una sola volta.** Se l'energia dopo il primo contrattacco non è terminata non è possibile contrattaccare nuovamente, l'eventuale fotone virtuale residuo è rimosso.

## Cattura di un elettrone

Per catturare un elettrone l'atomo si deve trovare nello stesso esagono dell'elettrone. Il giocatore annuncia l'intenzione di catturare l'elettrone, scarta un fotone virtuale di energia pari a *quattro*, prende il cubo che rappresenta l'elettrone e lo pone sulla scheda dell'atomo, in corrispondenza del livello (orbitale) più esterno.

**Ogni atomo può avere al più tre elettroni.** Quindi un atomo che ha già tre elettroni non può catturarne altri.

Un elettrone perso da un atomo, non può essere catturato da un altro degli atomi del giocatore a cui è stato strappato.



Esempio. La figura qui accanto mostra la scheda di un atomo che ha appena catturato un elettrone (gli elettroni sono indicati dai cubetti colorati) e lo ha piazzato nell'orbitale più esterno (in colore verde).

Dal colore dell'elettrone catturato si capisce che è stato perso da un atomo del giocatore blu.

## Costruzione di una molecola

La costruzione di una molecola è il cuore del gioco, l'obiettivo principale.

Per formare una molecola un giocatore deve *costruire* un legame ionico tra un proprio atomo e un atomo libero. Il proprio atomo deve possedere una carica negativa (essere, cioè, uno *ione negativo*) mentre l'atomo libero con cui costruire il legame deve possedere una carica positiva (essere cioè uno *ione positivo*). Solo se entrambi gli atomi soddisfano queste condizioni possono trovarsi nello stesso esagono.

A questo punto, se l'atomo di un giocatore si trova nello stesso esagono di un atomo libero annuncia l'intenzione di formare il legame tra i due atomi e scarta un fotone virtuale di *energia pari al valore dell'atomo* (per un atomo 5 è necessario possedere un fotone di energia 5, per un atomo 2 è sufficiente un fotone di energia 2, ...).

L'atomo del giocatore e l'atomo libero sono immediatamente rimossi dal gioco. **Se si tratta della seconda molecola costruita, il giocatore vince la partita!**

## Movimento degli atomi liberi e degli elettroni liberi

Gli atomi liberi sono atomi indipendenti, non controllati dai giocatori.

### Legame ionico

Il legame ionico è l'attrazione elettrostatica che si stabilisce tra due ioni di carica opposta. Il legame ionico si forma quando tra 2 atomi avviene uno scambio di uno o più elettroni: l'atomo che cede elettroni si trasforma in ione positivo (catione), l'atomo che acquista elettroni si trasforma in ione negativo (anione).

L'aggregazione di più ioni porta alla formazione di composti ionici, cioè strutture ordinate in cui gli ioni di carica opposta si alternano ordinatamente nelle tre direzioni dello spazio. Il legame ionico è molto forte e per questo molto difficile da spezzare.

Alla fine di ciascun turno, dopo che tutti i giocatori hanno attivato un proprio atomo, si spostano di un esagono verso il centro della plancia, attratti dal micro-buco nero.

Ciò vale anche per gli elettroni liberi, strappati ad un atomo.

## Atomi liberi ed elettroni liberi nel micro-buco nero

Se un atomo libero finisce nell'esagono centrale contenente il micro-buco nero esso viene riposizionato neutro (cioè con la faccia in colore più scuro rivolta verso l'alto) e sull'esagono *fabbrica degli atomi* più vicina al lato dell'esagono centrale attraverso il quale l'atomo scomparso è entrato nel micro-buco nero. Lo stesso meccanismo vale per gli elettroni liberi, precedentemente strappati ad un giocatore e poi finiti nel micro-buco nero.

## Ionizzazione degli atomi liberi

Contrariamente a quanto previsto per gli atomi controllati dai giocatori, l'elettrone *strappato* a un atomo libero non è posto sulla plancia. Semplicemente si rigira la pedina rappresentante l'atomo libero in modo che la faccia in colore più chiaro sia posizionata verso l'alto. Ovviamente non è possibile ionizzare due volte un atomo libero.

**Per strappare un elettrone a un atomo libero** (per quindi ionizzarlo e renderlo positivo) **è necessario un fotone di energia esattamente pari a quattro.**

## Micro-buco nero

Al centro della plancia di gioco è situato un micro-buco nero (in figura qui accanto l'esagono con il micro-buco nero). Nessun atomo, elettrone o fotone può transitare normalmente su questo esagono a causa della grandissima forza di attrazione che esso esercita. Se un atomo libero va a finire su questo esagono è immediatamente rimosso dal gioco ma viene riposizionato neutro (con la faccia in colore più scuro rivolta verso l'alto) nell'esagono *fabbrica di atomi* più vicino al lato del micro-buco nero attraverso il quale l'atomo eliminato è transitato per entrare nell'esagono centrale. La stessa regola vale per gli elettroni liberi ossia quelli strappati ad un atomo, quando finiscono nel micro-buco nero.



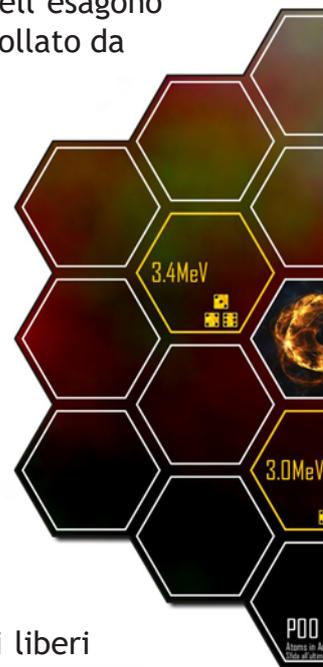
### Micro-buco nero

I micro-buchi neri sono buchi neri microscopici ipotizzati dalla teoria ma mai osservati sperimentalmente, di dimensioni atomiche o subatomiche capaci di esercitare un'attrazione gravitazionale notevole, allo stesso modo dei buchi neri classici.

Date le loro dimensioni microscopiche, gli effetti su queste ipotetiche strutture della meccanica quantistica giocherebbero un ruolo fondamentale.

Diverso è il caso degli atomi controllati dai giocatori, questi non possono in nessun caso volontariamente entrare nell'esagono contenente il micro-buco nero. Se un atomo controllato da un giocatore si viene a trovare in uno dei sei esagoni adiacenti al micro-buco nero per spostarsi di un esagono deve spendere tre unità di energia (come al solito scartando un fotone virtuale di energia pari almeno a tre). Se non ha questa energia perde un elettrone che viene assorbito dal micro-buco nero (e quindi rimosso dalla scheda del giocatore). **Se l'atomo attivato non viene spostato, al termine del turno in cui è stato attivato deve comunque spendere tre unità di energia per restare dove si trova** o, in caso di energia insufficiente, perdere un elettrone.

Nel malaugurato caso che l'atomo sia già privo di tutti i suoi elettroni (**positivo, positivo**) finisce nel buco nero e riappare, come per gli atomi liberi



(vedi Atomi liberi e micro-buco nero a pagina 13), nella fabbrica degli atomi più vicina alla casella occupata dall'atomo prima di scomparire nel buco nero. In questo caso il turno del giocatore ha termine immediatamente.

Esempio. Ilaria ha un atomo che si trova in un esagono adiacente al micro-buco nero (vedi figura in questa pagina a sinistra). Non avendo energia per spostarsi deve perdere un elettrone che viene sistemato sull'esagono più lontano dal micro-buco nero (il cubetto blu che si trova in basso a destra in figura).

A questo punto può muovere di un esagono spostandosi verso l'alto. Si trova ora in un esagono *fluttuazione quantistica* e decide di usare la seconda azione per produrre fotoni virtuali: tira tre dadi e ottiene 6 che usa per creare tre fotoni virtuali di energia 1, 2 e 3. Prosegue il movimento ma per spostarsi di un esagono deve spendere il fotone da tre unità di energia.

L'atomo si sposta di un esagono verso destra-alto (come indicato in figura) portando con sé i due fotoni rimasti.

L'atomo si trova ora lontano dal micro-buco nero e può muovere normalmente (ha ancora un esagono di movimento disponibile). Inoltre Ilaria ha ancora un'azione a disposizione che può usare, per esempio, per lanciare uno dei fotoni contro un avversario.

I fotoni seguono una traiettoria rettilinea, ma se nel corso del proprio movimento transitano in uno dei sei esagoni adiacenti al micro-buco nero sono costretti a spostarsi per due esagoni ancora adiacenti a esso per poi proseguire dritti il loro cammino. Ciò accade a causa della grandissima forza attrattiva esercitata dal micro-buco nero.



## Effetto tunnel

L'effetto tunnel è un effetto quantistico che spiega una transizione apparentemente (per la fisica classica) impossibile.

In pratica, una particella che non ha sufficiente energia per attraversare una barriera di energia potenziale, conserva comunque una piccola probabilità di trovarsi al di là della barriera stessa.

In un certo senso non si tratta di un vero attraversamento quanto piuttosto la probabilità di essere in una certa porzione di spazio, in accordo con le soluzioni dell'equazione di Schrödinger.

## SOMMARIO

- 2 ATOMS IN ACTION
- 2 SFIDA ALL'ULTIMO FOTONE
- 2 LO SCOPO DEL GIOCO
- 3 CONTENUTO
- 3 APPROFONDIMENTI SCIENTIFICI
- 4 SCHEDA ATOMO
- 5 LA PLANCIA
- 6 PREPARAZIONE
- 7 INIZIAMO!
- 7 IL TURNO DI GIOCO
- 7 ATTIVAZIONE DEGLI ATOMI
- 12 MOVIMENTO DEGLI ATOMI LIBERI
- 13 NUOVI ATOMI LIBERI
- 13 REGOLE SPECIALI E PARTICOLARI
- 13 IONIZZAZIONE DEGLI ATOMI LIBERI
- 13 ATOMI LIBERI E MICRO-BUCO NERO
- 14 ATOMI DEI GIOCATORI E MICRO-BUCO NERO
- 15 EFFETTO TUNNEL
- 15 FOTONI E MICRO-BUCO NERO
- 16 PARTITA A SEI GIOCATORI

Esempio: un fotone di energia pari a tre viene lanciato a partire dalla posizione indicata in figura con il numero 1 (qui a sinistra) verso l'alto-destra. Si sposta quindi normalmente nell'esagono adiacente in questa direzione (posizione 2) entrando però così.

## Effetto tunnel

Un fotone che incontra una barriera di potenziale o il micro-buco nero può attraversarlo solo grazie all'**effetto tunnel**. Il giocatore che ha lanciato il fotone tira un dado, **il fotone attraversa la barriera se il punteggio ottenuto è pari all'energia del fotone**. In caso contrario il fotone è assorbito dalla barriera e rimosso immediatamente dalla plancia.



nel raggio di azione del micro-buco nero (i sei esagoni adiacenti all'esagono centrale della plancia). A questo punto deve spostarsi per due esagoni rimanendo adiacente al micro-buco nero (posizioni 3 e 4), costretto a deviare, per rispettare questa regola, dalla consueta traiettoria rettilinea. Una volta percorsi due esagoni è libero di riprendere il solito percorso rettilineo (posizione 5 e successive).

## Partita a sei giocatori

C'è una sola differenza di cui tener conto se i giocatori sono sei. Il giocatore che forma la prima molecola sistema immediatamente un nuovo atomo libero nell'esagono *fabbrica di atomi* a sua scelta. Questa operazione è eseguita una sola volta a partita, solo in occasione della creazione della prima molecola.