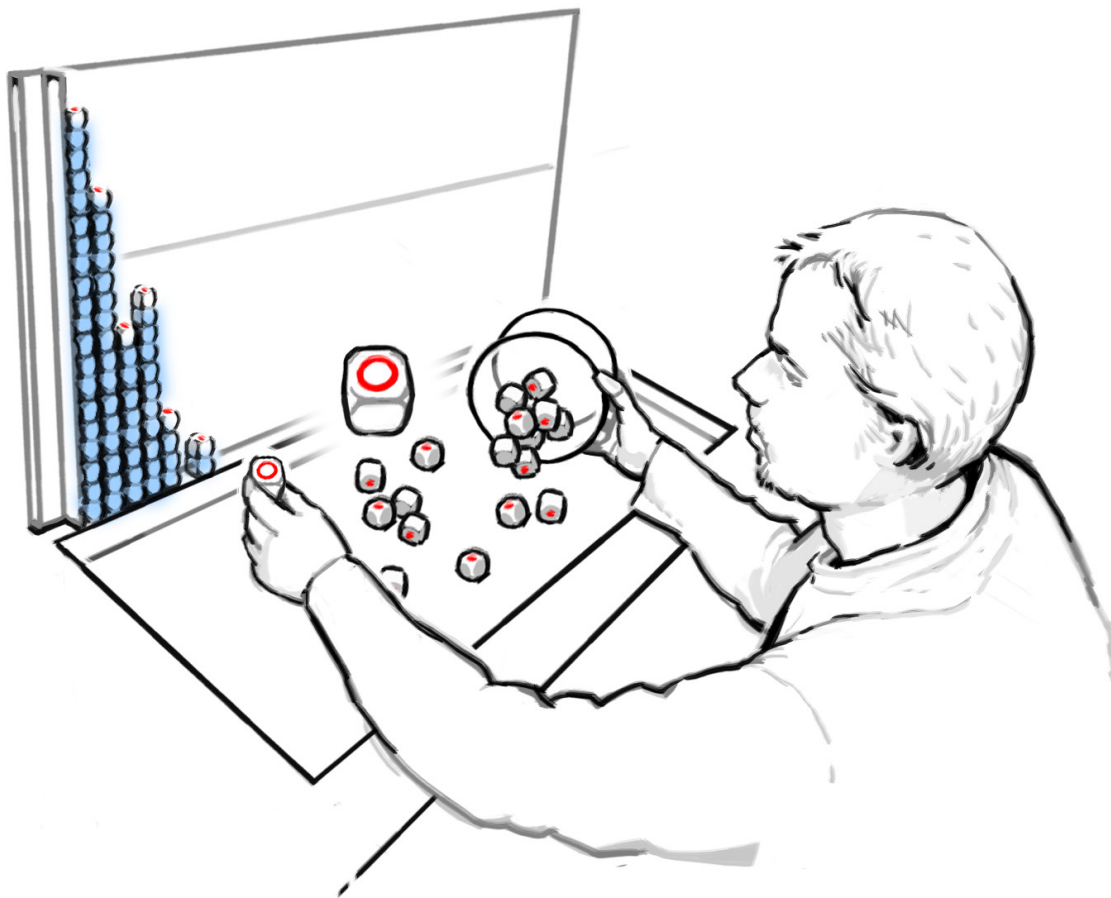




Würfel-Zerfall



Den Zufall mit Würfeln erfassen:



Was tun und beachten:

- *Würfeln Sie mit allen Würfeln.*
- *Suchen Sie alle Würfel heraus, deren roter Kreis nach oben zeigt und legen Sie sie in die erste Kolonne links.*
- *Wiederholen Sie die Prozedur mit den verbleibenden Würfeln.*
- *Setzen Sie dieses Verfahren fort, bis nur noch wenige Würfel übrig bleiben. (Wenn einmal kein roter Kreis oben liegt, lassen Sie eine Kolonne aus.)*

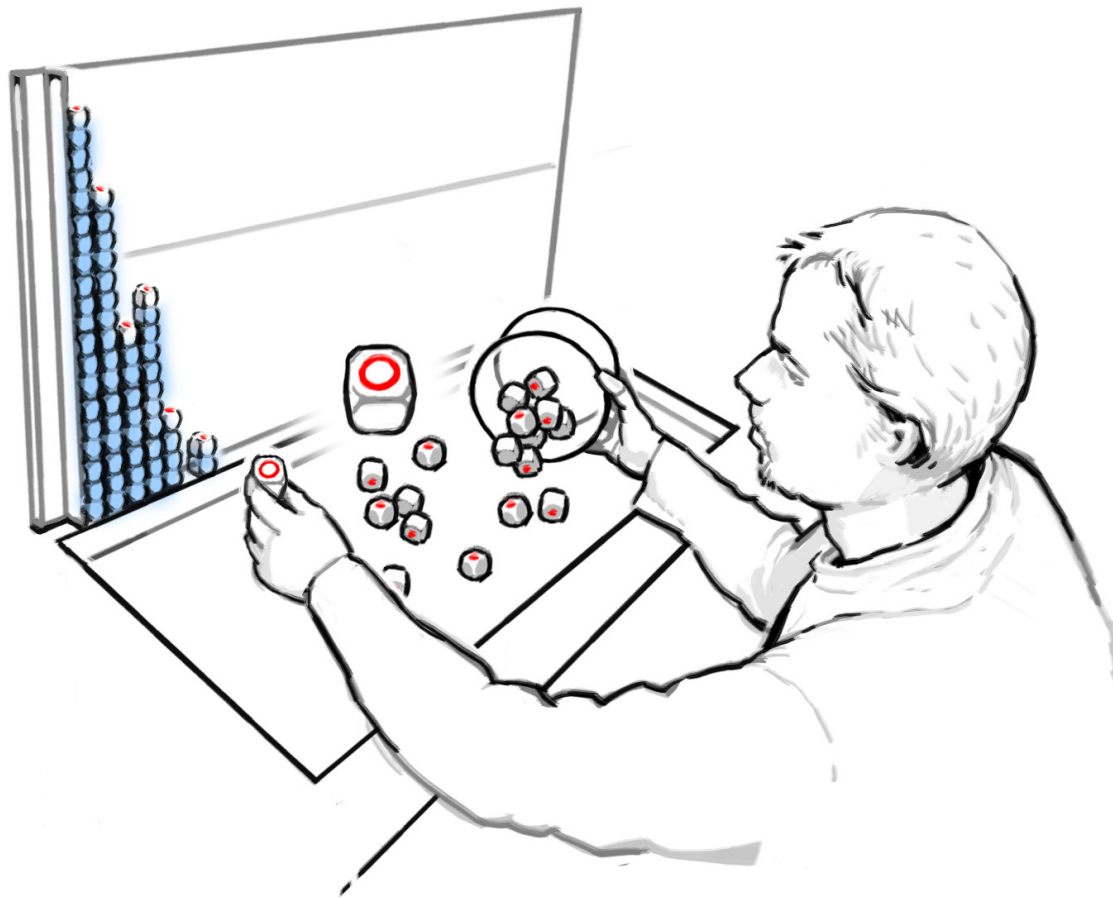
Wer mehr wissen möchte:

lesen Sie den Zusatztext



Würfel-Zerfall

Den Zufall mit Würfeln erfassen:



Was tun und beachten:

- *Würfeln Sie mit allen Würfeln.*
- *Suchen Sie alle Würfel heraus, deren roter Kreis nach oben zeigt und legen Sie sie in die erste Kolonne links.*
- *Wiederholen Sie die Prozedur mit den verbleibenden Würfeln.*
- *Setzen Sie dieses Verfahren fort, bis nur noch wenige Würfel übrig bleiben. (Wenn einmal kein roter Kreis oben liegt, lassen Sie eine Kolonne aus.)*

Wer mehr wissen möchte:





Würfel-Zerfall

Wer mehr wissen möchte

Die Würfel haben auf zwei Seiten einen roten Kreis und vier weiße leere Seiten. Bei jedem Wurf kommt etwa bei zwei von sechs Würfeln die Seite mit dem roten Kreis nach oben zu liegen. Ungefähr ein Drittel der Würfel wird also aussortiert. Weil die Anzahl der ausgeschütteten Würfel jedesmal um etwa einen Drittel abnimmt, wird auch die Zahl der herausgepickten Würfel immer kleiner.

Theoretisch erwartet man, dass beim ersten Wurf $1/3$, beim zweiten $1/3$ von $2/3$, beim dritten $1/3$ von $4/9$ aller Würfel ausgesondert werden usw. Der Zufall sorgt allerdings für erhebliche Abweichungen. Je weniger Würfel vorhanden sind, um so augenfälliger werden sie.

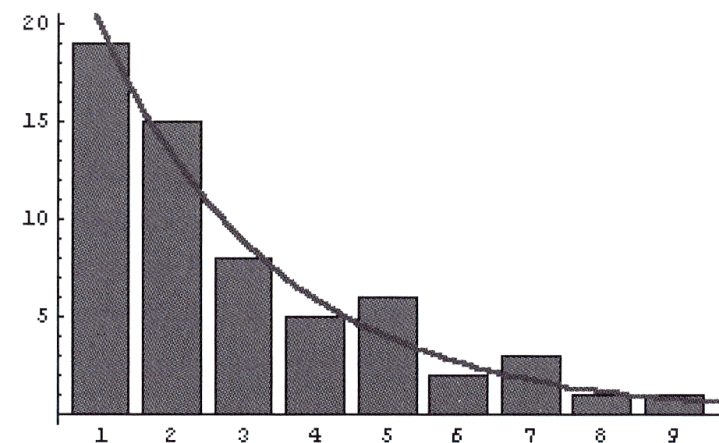
Aufgestapelt ergeben Sie eine Art Kurve, die von links nach rechts immer weiter absinkt, genauer: Die roten Würfel formen damit (annähernd) eine Exponentialkurve (siehe nebenstehende Skizze). Solche Funktionen beschreiben unter anderem auch den radioaktiven Zerfall von Atomkernen oder, allgemeiner gesagt, Vorgänge, bei denen die Änderung einer Menge proportional zu ihrer Grösse ist (beachten Sie dazu auch die anderen Versuche zu «Exponentialkurven» wie «Maschine mit Granit», «Bevölkerungswachstum»

Unser Würfelspiel müsste aber eigentlich sehr oft durchgeführt werden, damit möglichst wenige Schwankungen in der Höhe der Säulen auftreten und wir eine gute Annäherung an die Exponentialfunktion erhalten.

Beim radioaktiven Zerfall hat die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein radioaktiver (instabiler) Atomkern in der nächsten

Sekunde umwandelt, einen festen, für diesen Kern typischen Wert. Daher zerfällt von einer (im allgemeinen sehr grossen!) Anzahl solcher Atomkerne in jeder Sekunde ein bestimmter Bruchteil. Der Bruchteil ändert sich nie, aber die Anzahl der noch vorhandenen instabilen Kerne nimmt ab, und damit die je Sekunde abgegebene Strahlung. Es kann nie im Voraus gesagt werden, wann ein bestimmter Kern zerfällt. Da man es aber meist mit einer sehr grossen Anzahl von Kernen zu tun hat, kann man aber sehr genau prognostizieren, wann die Hälfte der Atomkerne zerfallen ist. Diese Zeit bezeichnet man als Halbwertszeit.

Betrachten wir konkret 1 Gramm des radioaktiven Cäsium-137 ($\text{Cs}137$). Bei dieser Menge zerfallen jede Sekunde etwa 3 Billionen Kerne. Nach 30,17 Jahren ist noch die Hälfte, also 0.5 Gramm, vorhanden, nach 60,34 Jahren noch $1/4$, nach 90,51 Jahren noch $1/8$ usw. Damit in jeder Sekunde „nur“ noch 3 Millionen Kerne zerfallen, muss man rund 600 Jahre warten.



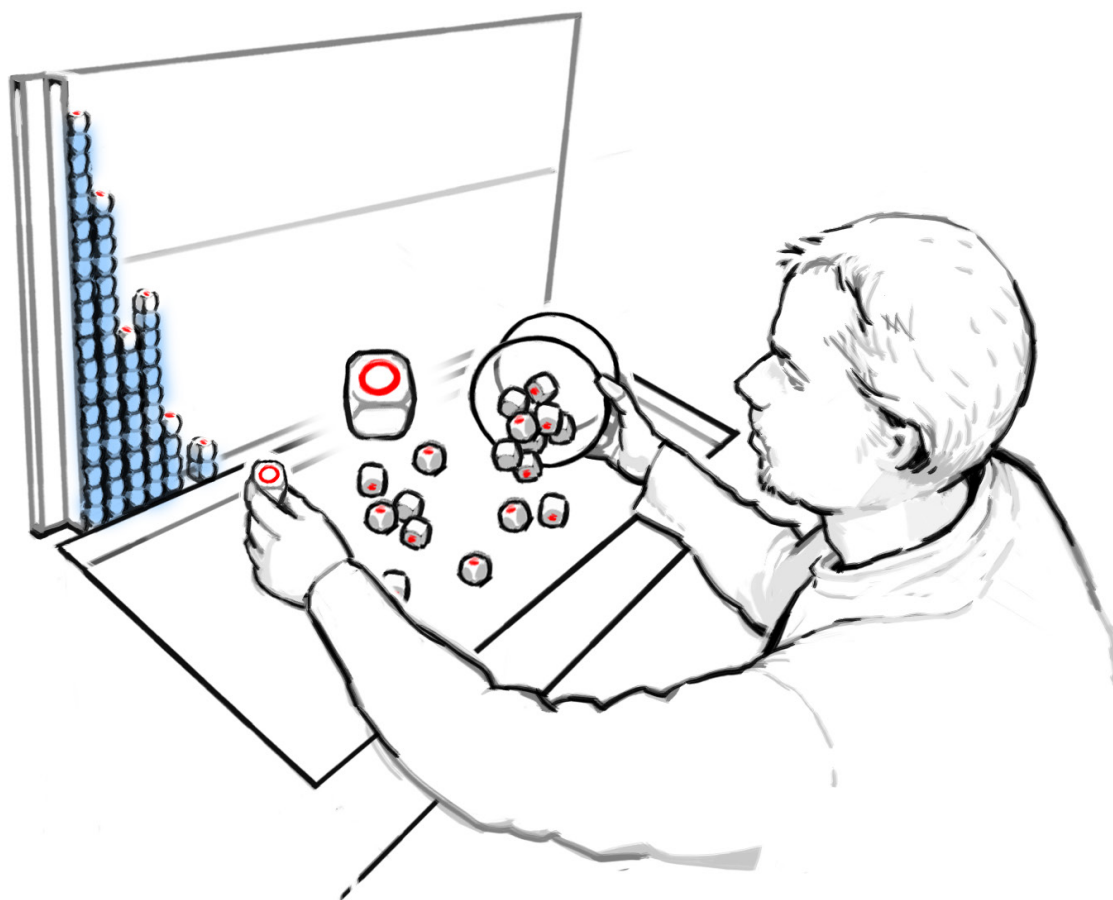
Was tun und beachten:





Chance Happenings

Throwing dice illustrates the law of decay.



To do and notice:

- *Shake and then roll out all of the dice.*
- *Pick out those which show a red circle and stack them in the first column.*
- *Repeat using the remaining dice.*
- *Keep doing this until only very few dice are left. (If you get a zero of red circles, leave that column empty.)*

Want to know more?





Chance Happenings

Want to know more?

The dice have a red circle on two sides and are blank on the other four. When you shake them out, you will expect roughly two out of every six dice to show a red circle on top. So after each throw, you might expect to remove approximately one third of the dice into the appropriate column. Theoretically, then, you will remove $1/3$ of the dice (leaving $2/3$); after the second throw, $1/3$ of $2/3$ (which is $2/9$, leaving $4/9$), after the next throw, $1/3$ of $4/9$, etc. Chance, however, may produce significant departures from this ideal behaviour, particularly when the number of dice is getting small.

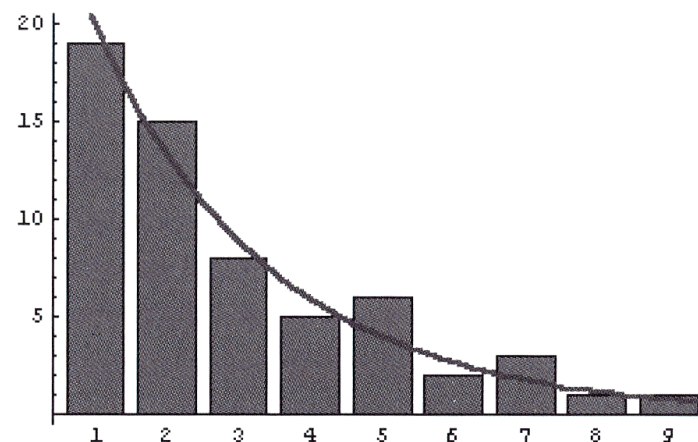
The columns of dice produce, more or less, a curve which sinks down towards the right, less and less rapidly as it goes along. Mathematically, this is called an exponential curve, and many processes in Nature can be described using it. In particular, the decay of a sample of radioactive atomic nuclei follows this law – the fewer there are left to decay, the lesser the radioactivity of the sample. Any process, the rate of change of which is proportional to the size of the sample present, follows an exponential curve. (You might look at the other exhibits which illustrate exponential laws: “Machine with granite”, “Population growth”, ...)

You would, in fact, have to repeat this dice game a great number of times, adding the column heights, in order to iron out the chance variations and produce a picture which gets closer and closer to the exponential curve.

In radioactive decay, the probability that any particular unstable atomic nucleus decays in the next second is a particular value (like the $1/3$ probability of the dice in this exhibit). This

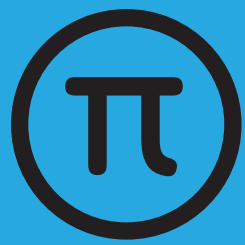
means that a particular proportion of these nuclei (generally a huge number!) will decay in the next second, emitting the particular radiation. The proportion remains constant, but the number left to decay gradually falls, as does the amount of radiation it emits each second. Nobody can predict when any particular nucleus will decay, but because the number of atoms in a sample is always huge, a very reliable estimate can be made of how long it will take for half of the original number of nuclei to decay. This time interval is called the half life of those nuclei.

As a concrete example, consider 1 gram of Caesium-137. With this quantity of Cs137, roughly 3 billion nuclei decay to Barium-137 every second, emitting electrons. After 30.17 years, there will be 0.5 gram of Cs-137 left, after 60.34 years, 0.25 gram, etc. you would have to wait about 600 years for the activity of the sample to drop to “only” 3 million nuclei decaying every second (1 milligram of Cs-137 still remaining)!



To do and notice:

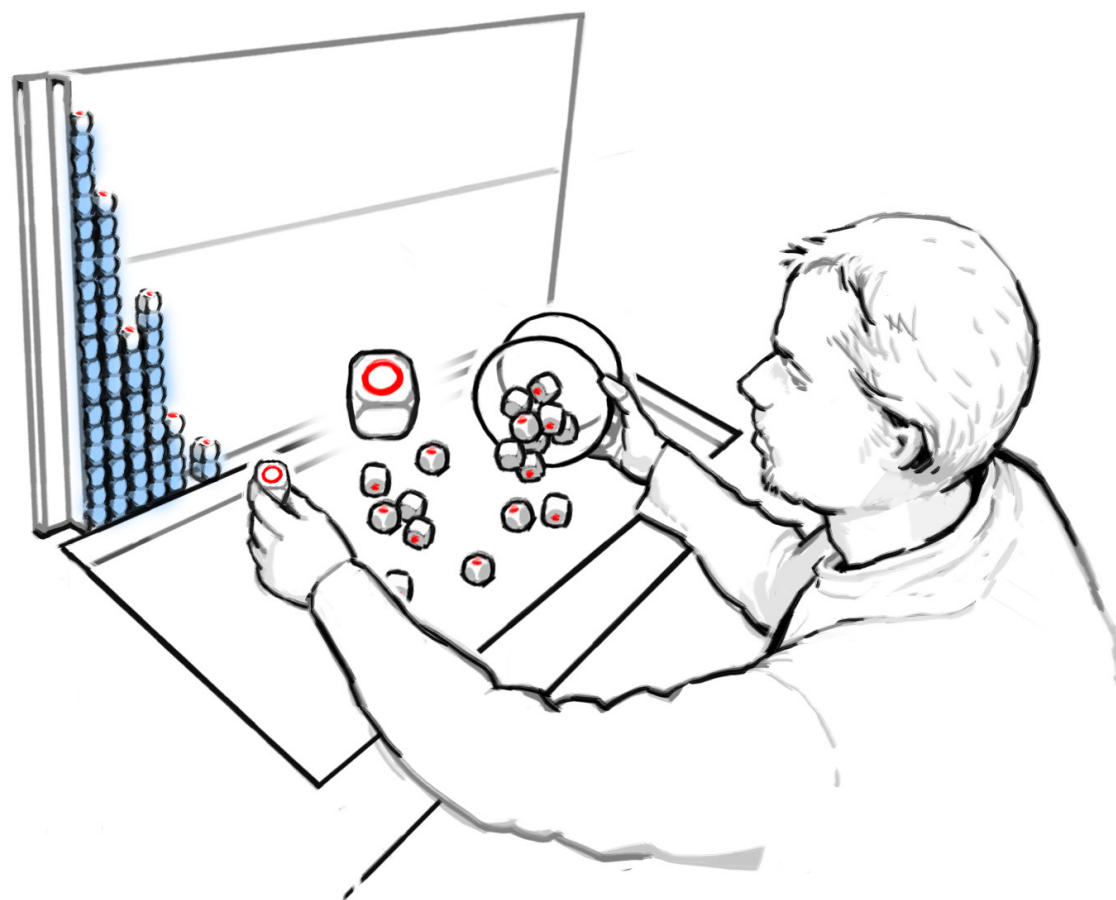




Désintégration des dés



Comprendre le hasard avec
des dés:

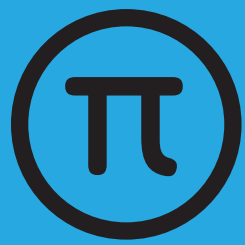


A vous de jouer:

- *Jouez avec tous les dés.*
- *Cherchez tous les dés sur lesquels un petit cercle rouge pointe vers le haut et mettez-les dans la première colonne à gauche.*
- *Répétez le processus avec les dés restants.*
- *Répétez cela jusqu'à ce qu'il ne reste que très peu de dés. (Quand aucun cercle rouge pointe vers le haut, vous sautez une colonne.)*

Pour en savoir plus:





Désintégration des dés



Pour en savoir plus

Les dés ont un cercle rouge sur deux de leurs surfaces, et les quatre autres cotés sont blancs. Après chaque jet, le coté avec le cercle rouge est en haut chez environ deux sur six des dés. Environ un tiers des dés est donc retiré. Si le nombre de dés du jeu diminue à chaque fois d'un tiers, alors le nombre de dés que l'on retire diminue aussi.

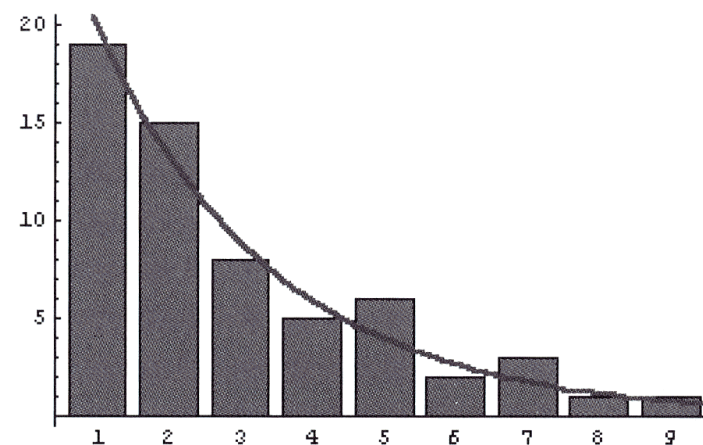
En théorie on s'attend à ce que l'on retire $1/3$ de tous les dés pendant le premier jet, $1/3$ de $2/3$ pendant le deuxième et $1/3$ de $4/9$ pendant le troisième. Mais le hasard génère de grandes variations. Moins il y a de dés, plus elles sont visibles. Quand on construit des colonnes de dés retirés, on obtient un genre de courbe qui s'aplatit de gauche à droite, ou plus précisément: les dés rouges forment ainsi (quasiement) une courbe exponentielle (voir le schéma à coté). De telles fonctions décrivent aussi la désintégration radioactive des noyaux atomique ou, en général, des processus où le changement d'une quantité est proportionnel à la valeur de celle-ci (regardez aussi les autres expériences sur les «courbes exponentielles» comme la «machine avec granite» et la «croissance de la population»...)

Notre jeu de dés devrait être joué plein de fois pour avoir le moins de variations possible dans la hauteur des colonnes et pour obtenir une bonne approximation de la courbe exponentielle.

Pendant la désintégration radioactive, la probabilité qu'un noyau atomique radioactif (instable) se désintègre pendant la seconde suivante a une valeur fixe, typique pour ce

noyau. Donc pendant chaque seconde, une partie d'un certain (en général très grand) nombre de noyaux atomiques se désintègre. Cette proportion ne change jamais, mais le nombre de noyaux instables qui reste diminue, et ainsi le rayonnement émis par seconde. On ne peut jamais prédire quand un noyau particulier se désintègre. Mais comme on a généralement à faire à un nombre très grand de noyaux, on peut pronostiquer relativement précisément à quel moment la moitié des noyaux atomiques se sera désintégrée. Ce temps est appelé la demi-vie.

Regardons l'exemple concret d'un gramme de césium-137 radioactif ($Cs137$). Pour cette quantité, 3 billions de noyaux se désintègrent en chaque seconde. Après 30,17 ans il ne reste que la moitié, donc 0,5 gramme. Après 60,34 il ne reste qu' $1/4$ et après 90,51 $1/8$. Il faut attendre environ 600 ans pour que «seulement» 3 millions de noyaux se décomposent chaque seconde.



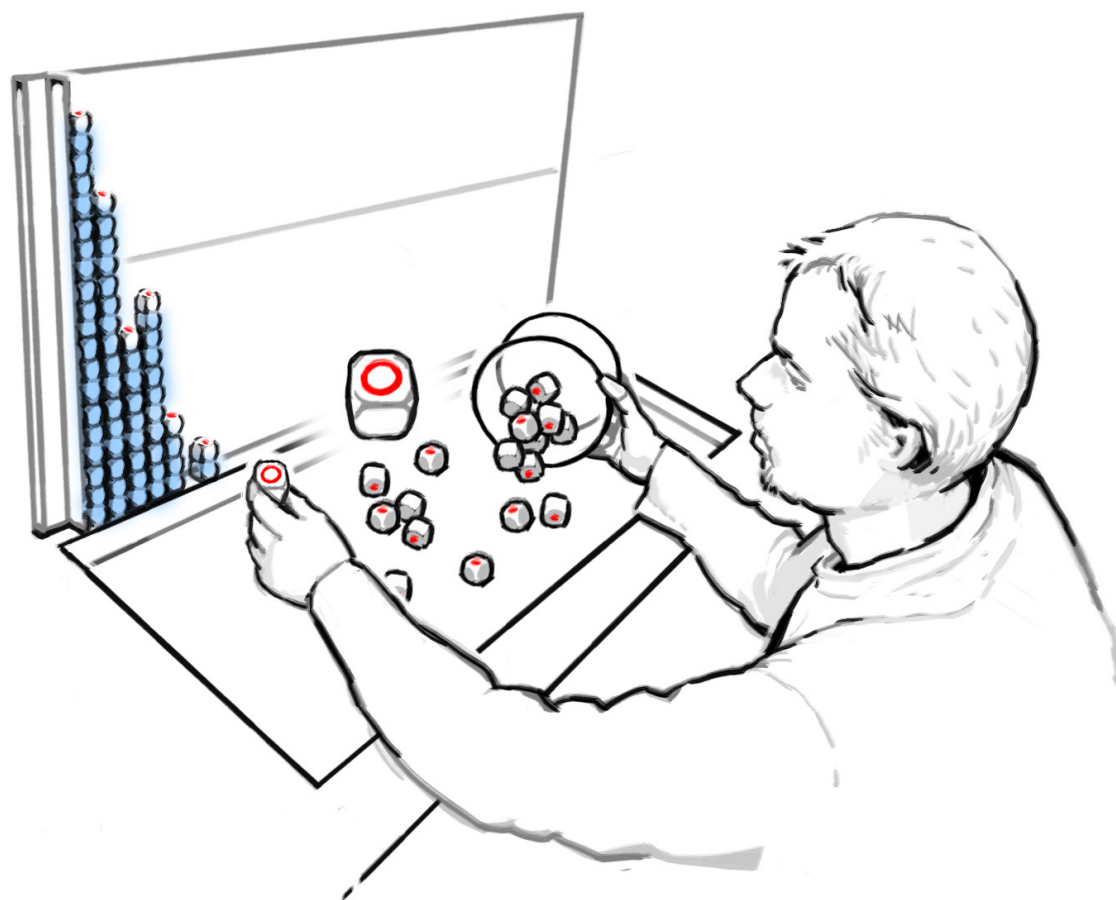
A vous de jouer:





Scomposizione dei dadi

Capire la casualità con i dadi.

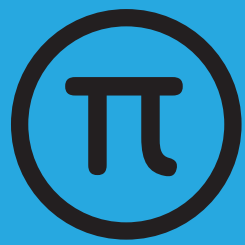


Che cosa fare:

- *Lanciate tutti i dadi.*
- *Cercate tutti i dadi sulla cui faccia superiore c'è un disco rosso e disponeteli nella prima colonna a sinistra.*
- *Ripetete la procedura con i dadi rimasti.*
- *Proseguite sempre allo stesso modo finché rimangono solo pochi dadi (se non è uscito nessun disco rosso, saltate una colonna).*

Vuole saperne di più?





Scomposizione dei dadi

Vuole saperne di più?

I dadi hanno un disco rosso su due facce e quattro facce bianche vuote. In ogni lancio da due a sei dadi presentano la faccia con il disco rosso verso l'alto. Circa un terzo dei dadi verrà quindi selezionato. Dato che il numero dei dadi diminuisce a ogni lancio di circa un terzo, anche il numero dei dadi selezionati diminuisce via via.

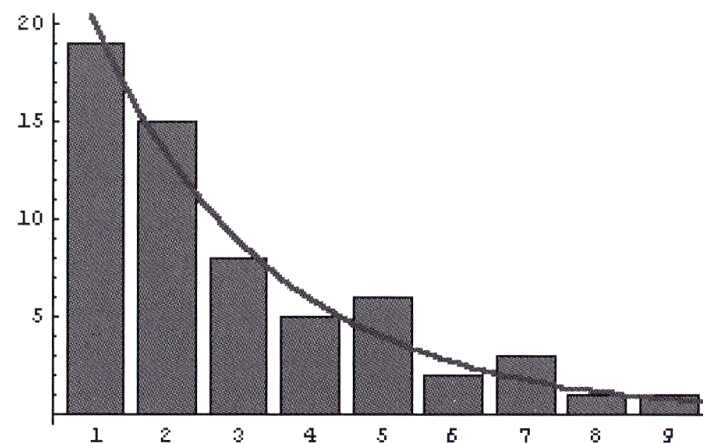
In teoria ci si aspetta che al primo lancio venga selezionato $1/3$ dei dadi, al secondo lancio $1/3$ dei $2/3$ rimanenti e al terzo $1/3$ dei $4/9$ e così via dicendo. Il caso si incarica di introdurre delle considerevoli deviazioni. Meno dadi ci sono a disposizione, tanto più queste deviazioni sono evidenti.

Quando li sovrapporrete a formare delle colonne, formeranno una curva che scende via via che si procede da sinistra verso destra, più precisamente: i dadi rossi formeranno (grosso-modo) una curva esponenziale (vedi lo schizzo qui accanto). Tali funzioni descrivono tra l'altro anche il decadimento radioattivo dei nuclei atomici o più in generale tutti i processi nei quali la variazione di una quantità è proporzionale alla sua grandezza (considerate al riguardo anche gli altri esperimenti sulle "Curve esponenziali" come "Macchina con granito", "Crescita esponenziale" ecc.).

La nostra partita a dadi dovrebbe essere ripetuta molte volte in modo da ridurre il più possibile le oscillazioni dell'altezza delle colonne e da ottenere una buona approssimazione della funzione esponenziale.

Nel caso del decadimento radioattivo, la probabilità che un nucleo atomico decada nel secondo successivo ha un valore fisso, tipico per quel nucleo. Per questo c'è sempre una determinata quota (che generalmente è molto elevata!) di quei nuclei atomici che decade ogni secondo. Tale quota non varia mai ma il numero dei nuclei instabili presenti diminuisce e con esso diminuisce anche la radiazione emessa ogni secondo. Dato che tuttavia si ha a che fare con un numero di nuclei molto elevato, si può prevedere quando la metà dei nuclei atomici sarà decaduta. Questo tempo viene definito "emivita".

Se per esempio consideriamo 1 grammo di Cesio 137 ($Cs137$), un isotopo radioattivo, sappiamo che in un campione del genere decadono 3 miliardi di nuclei ogni secondo. Dopo 30,17 anni ne rimarrà circa la metà ossia 0,5 grammi, dopo 60,34 anni solamente $1/4$ e dopo 90,51 anni solo $1/8$ e via dicendo. Prima di veder decadere ogni secondo "solo" 3 milioni di nuclei bisognerà aspettare circa 600 anni.



Che cosa fare:

