

DAVID KONSTAN

Lucrezio e la scienza moderna: alcuni punti di contatto

La teoria atomistica di Epicuro ha a che fare con la scienza moderna in due modi: per influenza diretta, attraverso la trasmissione dei testi antichi, e per l'affinità di alcuni costrutti teorici, emersi in modo del tutto autonomo. Questi due aspetti non sono necessariamente indipendenti l'uno dall'altro: è possibile che l'impulso dato alla scienza moderna dall'atomismo epicureo abbia preparato il terreno per nuovi sviluppi, nient'affatto prevedibili nella prima modernità, e che questi abbiano finito per determinare nuovi approcci, più vicini alla fisica epicurea – almeno per certi versi – di quanto non lo fossero le teorie ispirate più esplicitamente alle fonti antiche. Cercherò di ricostruire questo doppio processo di influenza e trasformazione e di far luce su come la fisica moderna abbia indotto gli studiosi a sottovalutare il valore scientifico dell'atomismo epicureo, nonostante quest'ultimo abbia esercitato su di essa un influsso cruciale. D'altro canto, la fisica post-moderna (se mi passate il termine) è in un certo senso più vicina al modello antico, proprio nella misura in cui si è affrancata dal sistema moderno.

Sono ormai passati più di ottant'anni dalla pubblicazione del brillante lavoro di Shlomo Pines, *Beiträge zur islamischen Atomlehre*,¹ ove si propone l'ipotesi che l'atomismo epicureo possa essere stato la fonte della dottrina dei minimi nel *Kalām* (termine arabo con cui ci si riferisce agli scritti ortodossi di teologia islamica, che ebbero il loro culmine nelle opere di Al-Ghazali). Pines scrive: «L'atomismo di Epicuro potrebbe rappresentare un'ottima approssimazione della dottrina del *Kalām*, se includeva la cosiddetta dottrina dei minimi [...]. Secondo tale teoria, che probabilmente non fu ripresa da Democrito, si suppone che Epicuro insegnasse effettivamente l'eternità e l'indivisibilità degli atomi, ma non ammettesse che questi fossero i costituenti finali della materia». Pines rileva come Epicuro riconoscesse il carattere granulare del tempo, dello spazio e del movimento, così come dei minimi materiali, e conclude:

I minimi (non gli atomi) di Epicuro potrebbero esibire una certa somiglianza con gli *ajza'* [letteralmente: 'parti'] dei Mutakallimun [i commentatori del *Kalam*], specialmente nella relazione oppositiva che intrattengono con i corpi, tra i quali si possono annoverare anche gli atomi. Si può anche riscontrare un'affinità tra le dottrine dello spazio e del tempo elaborate nel quadro dei due sistemi. La scarsità e l'incertezza delle nostre conoscenze circa questo aspetto dell'insegnamento di Epicuro ci impedisce di approfondire tali analogie o di trarre conclusioni ragionevolmente certe.²

¹ S. Pines, *Studies in Islamic Atomism*, engl. transl. by M. Schwarz, Jerusalem, Magnes Press, 1997 (ed. or. *Beiträge zur islamischen Atomlehre*, Berlin, Heine, 1936).

² S. Pines, *Studies in Islamic Atomism*, cit., pp. 97-98.

Ci sono invero buone ragioni di supporre che l'idea che il tempo proceda per intervalli discreti derivi effettivamente dall'epicureismo, com'è stato tramandato, per esempio, da Simplicio (*in Ph.* 934,23-30). Nella tradizione islamica questa nozione aveva implicazioni teologiche. Dal momento che il tempo non era considerato continuo, non vi erano garanzie che gli istanti successivi fossero in relazione gli uni con gli altri, così che il mondo sarebbe potuto cambiare radicalmente da un minimo temporale all'altro, addirittura cessando di esistere. Secondo i pensatori islamici Dio interveniva a ogni istante per garantire che gli atomi perdurassero e, dunque, creava di nuovo il mondo in ogni momento. In conseguenza, di contro alla visione teistica secondo cui l'atto della creazione divina è individuale, nel quadro di questa dottrina (il cui nome arabo è *khalq fi kull waqt*) esso si ripete all'infinito e l'universo dipende in ogni istante dalla volontà di Allah. Tale concezione, designata talvolta con il termine 'occasionalismo', fu criticata dagli aristotelici e respinta, in Occidente, da Maimonide ne *La guida dei perplessi* (173), cui Tommaso d'Aquino, a sua volta, dovette molto.

Nonostante alcuni tentativi di confutare la critica aristotelica dell'occasionalismo, le teorie di Aristotele finirono per affermarsi e predominarono fino all'inizio dell'età moderna, quando emerse una nuova forma di materialismo. Apostolo di questa nuova concezione fu Pierre Gassendi, prevosto e filosofo francese vissuto dal 1592 al 1655, che avviò la propria carriera intellettuale con una critica della fisica aristotelica; scrisse poi un commentario al decimo e ultimo libro delle *Vite dei filosofi* di Diogene Laerzio, dedicato a Epicuro. L'opera principale di Gassendi è il *Syntagma Philosophicum*, in vari volumi, oltre a un trattato più breve intitolato *Philosophiae Epicuri Syntagma*. Quest'ultimo fu adattato da Walter Charleton e pubblicato a Londra nel 1654 con il titolo di *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana or A Fabrick of Science Natural, upon the Hypothesis of Atoms Founded by Epicurus, Repaired by Petrus Gassendi, Augmented by Walter Charleton*. Sulla scorta di Gassendi, Charleton ammetteva la divisibilità infinita solo in matematica, mentre nel caso degli oggetti fisici riteneva inevitabile l'esistenza di un minimo indivisibile. Credeva di avere risolto così i paradossi di Zenone contro il movimento (p. 23). In questo modo, però, Charleton eliminava tacitamente la distinzione epicurea tra l'atomo in quanto tale e la parte minima, che nel suo argomento non aveva alcun ruolo. Cito da Charleton: «nella misura in cui gli atomi sono corpi piccolissimi, e diametralmente opposti ai punti immaginari, essi devono avere dimensioni reali e, di conseguenza, una terminazione di queste dimensioni in estremità e superfici; vale a dire, essi devono avere una figura determinata» (p. 111). Da questo momento in poi le nozioni epicuree dei minimi spaziali e temporali e l'idea del moto saltatorio piuttosto che continuo degli atomi furono abbandonate dalla scienza moderna, anche in conseguenza dell'invenzione del calcolo infinitesimale da parte di Leibniz e Newton. La fisica non avrebbe più avuto bisogno dei minimi fino al ventesimo secolo, in quella che ho definito la sua fase post-moderna, quando un'influenza diretta dell'epicureismo antico è chiaramente fuori questione. E tuttavia, vi sono alcune incredibili somiglianze che ora osserveremo più da vicino.

Il problema fondamentale dei minimi epicurei è che questi ultimi sembrano violare le leggi non solo della fisica ma anche la matematica. Se si tratta di entità minime dotate di estensione, ma rispetto alle quali è impossibile concepire qualcosa di più piccolo, allora dovrebbero avere dimensioni interne di qualche tipo. Per esempio, se immaginiamo un mi-

nimo a forma di cubo, i lati devono essere inferiori alla diagonale: quale di queste lunghezze è quella minima? A proposito dei minimi epicurei, Anthony Long e David Sedley commentano così:

Un'ulteriore conseguenza dovrebbe essere la falsità della geometria convenzionale. Se, per esempio, esistesse il quadrato geometricamente perfetto, i suoi lati e la sua diagonale sarebbero incommensurabili; ciò sarebbe incompatibile con la teoria dei minimi, secondo la quale, come abbiamo visto, tutte le grandezze hanno un sottomultiplo comune. Ci sono buone prove storiche che Epicuro accettasse questa conseguenza [...] ma nessuna che egli abbia elaborato nel dettaglio una geometria alternativa.³

Un altro dilemma che ha messo alla prova la teoria epicurea dei minimi riguarda il moto degli atomi. È tramandato da Sesto Empirico (*Contro i matematici* X 144-147), ed è uno dei miei preferiti: immaginiamo che due atomi siano separati da nove minimi spaziali; immaginiamo poi che si stiano avvicinando frontalmente l'uno all'altro, muovendosi esattamente alla stessa velocità (questo in conformità con il principio epicureo della *isotakheia*, secondo il quale tutti gli atomi si muovono a velocità uniforme). Tale velocità si determina nel rapporto di un minimo spaziale diviso per un minimo temporale, ed è probabilmente ciò che aveva in mente Epicuro, altrimenti un atomo potrebbe trovarsi, per esempio, a metà strada in un minimo spaziale senza avere ancora completato un'unità minima di tempo. In queste condizioni, trascorso un istante temporale, i due atomi si troverebbero a distanza di sette minimi; trascorsi due istanti, a distanza di cinque; trascorsi tre istanti, a distanza di tre minimi; infine, trascorsi quattro istanti, si troverebbero esattamente alla distanza di un minimo spaziale l'uno dall'altro. E adesso? Si chiede a questo punto Sesto. Gli atomi non possono incontrarsi a metà del minimo spaziale che li separa, perché i minimi non hanno parti. Ma non è neppure possibile che un atomo salti oltre il minimo spaziale, mentre l'altro rimane immobile, poiché questo violerebbe il principio della velocità uniforme. È dunque impossibile che i due atomi si incontrino. E allora? Rimbalzano? Ma non si sono scontrati. Si fermano immobili lì dove sono? Anche questo è impossibile, perché gli atomi devono essere sempre in movimento. È questo, l'affascinante dilemma di Sesto.

Quest'ultimo è fondato sul fatto che i minimi sono considerati come quantità ordinarie: è possibile congiungerli gli uni agli altri per produrre diverse lunghezze o volumi, dando luogo così a tutti i paradossi che derivano dall'immaginare oggetti con estensione reale, com'è evidentemente nel caso dei minimi epicurei, che si comportano come punti privi di dimensione in grado di essere moltiplicati all'infinito senza dare luogo a un ente finito. Ma tra gli enti finiti, come quelli ipotizzati da Sesto, e i punti di dimensione nulla non esiste forse una via di mezzo che possa scagionare Epicuro dall'accusa di ignorare le verità matematiche elementari? Io credo di sì e che – fatto piuttosto curioso – vada ricercata nell'analisi che Epicuro elabora non degli ordini di grandezza inferiori, ma di quelli superiori.

Al pari di altri pensatori, Epicuro distingueva tra quantità finite e infinite. Tuttavia, egli introdusse anche quello che sembra un ordine di grandezza intermedio, descritto come «non in senso stretto (o 'semplicemente', o 'alla lettera, letteralmente': *haplôs*) infinito» o

³ A.A. Long, D.N. Sedley, *The Hellenistic philosophers*, vol. 1, *Translations of the principal sources, with philosophical commentary*, Cambridge, Cambridge University Press, 1987, p. 44.

come «inconcepibilmente» grande (*ouk haplôs apeiroi alla monon aperilêptoi: Lettera a Erodoto 42*). Secondo Epicuro, alcuni aspetti dell'universo si misurano con questa particolare quantità, come ad esempio le vaste distanze cosmiche (menzionate nella discussione sulla velocità alla quale viaggiano gli atomi: *Lettera a Erodoto 42; 46-47*; cfr. *Lucr. IV 141-217*), e soprattutto la varietà delle forme assunte dagli atomi. Il numero degli atomi nell'universo è naturalmente infinito, lo stesso vale per il numero di atomi presente in qualsiasi forma; la varietà delle forme, però, non è infinita. E tuttavia, non è neppure in senso stretto finita. È, per così dire, da qualche parte nel mezzo: non infinita, ma ciononostante incalcolabilmente grande. Di che quantità si tratta?

Naturalmente può essere considerata non come vera e propria categoria matematica, ma semplicemente come un numero molto grande, talmente grande da riuscirci difficile immaginarlo. Se pensiamo a tutti i granelli di sabbia di una spiaggia o a tutte le stelle di un cielo notturno – e stiamo parlando di un cielo antico, non inquinato dalle luci moderne, in cui le stelle sembrano davvero impossibili da contare – ci rendiamo conto di non essere in grado di afferrare un numero così grande, ma sappiamo perfettamente che si tratta di un numero finito: se avessimo abbastanza tempo, potremmo in effetti determinare esattamente quante siano le stelle visibili. Per quanto grande, abbiamo a che fare con un numero finito. Com'è noto, il grande matematico tedesco Georg Cantor distinse tra infiniti numerabili e non: l'insieme dei numeri interi rappresenta un infinito numerabile, perché essi si possono ordinare in sequenza, sebbene sia impossibile esaurirli; l'insieme dei numeri reali, che include numeri irrazionali come la radice quadrata di due e il pi greco (che esprime il rapporto tra la lunghezza della circonferenza di un cerchio e il suo diametro), è invece non numerabile, dal momento che non è possibile ordinare i numeri reali in alcuna sequenza coerente. Nessuna di queste due categorie corrisponde comunque all'ordine di grandezza di Epicuro, poiché quest'ultimo è una quantità esplicitamente descritta come non infinita (o non in senso-stretto infinita). Sembra essere una quantità essenzialmente non numerabile ma finita. Possiamo supporre che a Epicuro servisse postularla per una serie di ragioni – per esempio, perché gli consentiva di negare che gli atomi potessero combinarsi e produrre qualsiasi tipo di oggetto nel mondo visibile, tesi chiaramente falsa, in quanto smentita dall'esperienza del fatto che in natura non tutto è possibile. In ogni caso, non si tratta di un concetto matematicamente coerente.

Ebbene, di recente è emerso che l'intuizione di Epicuro in effetti era corretta, nel senso che l'ordine di grandezza ibrido ipotizzato dal filosofo esiste davvero. Solo pochi anni fa i matematici hanno scoperto – o forse è più esatto dire 'hanno ideato' o 'definito' – precisamente questo tipo di valore, una quantità o un numero non infinito e nondimeno teoricamente (non solo praticamente) incomputabile: si chiama 'costante Omega' o anche 'numero di Chaitin', poiché introdotto da Gregory Chaitin. Cito da un suo articolo comparso sulla rivista *Scientific American*: «Omega è un numero perfettamente definito e specifico, ma impossibile da calcolare». ⁴ Non ambisco a comprendere i procedimenti matematici che definiscono questa quantità né intendo suggerire l'idea che Epicuro abbia avuto in mente una definizione comparabile a quella moderna. Tuttavia, a oggi, la sua nozione di una quantità incalcolabilmente grande non sembra dover essere respinta come semplice assurdità.

⁴ G. Chaitin, *The Limits of Reason*, «Scientific American», CCXCIV, 2006, 3, p. 79.

Anche gli Stoici avevano riconosciuto una quantità intermedia tra il finito e l'infinito. Plutarco, nel *De communibus notitiis adversus Stoicos* (1079 b-c), riferisce quanto segue:

«Quando ci viene chiesto», dice Crisippo, «se siamo composti di parti, di quante siano e di quali e quante parti esse stesse siano composte, dobbiamo operare una distinzione: da un lato, diremo che l'intero corpo si compone di testa, torso e arti, e che non vi è nulla da aggiungere. Tuttavia, se estendono la domanda fino a includere le parti ultime», prosegue, «non dobbiamo rispondere così; piuttosto, non dobbiamo dire né di quali parti siamo composti né di quante, se il loro numero sia finito o infinito».

Plutarco condanna tale risposta come evasiva: «Se, come tra il bene e il male vi è l'indifferente, esiste un termine intermedio tra il finito e l'infinito, [Crisippo] avrebbe dovuto risolvere l'enigma dicendo di che cosa si tratta» (1079 c). Forse Plutarco aveva frainteso la posizione degli Stoici. In ogni caso, Epicuro era inequivocabile.

Che importanza ha questa apparente dimostrazione della validità dell'ordine di grandezza ipotizzato da Epicuro? E più nel dettaglio, in che modo essa risolve le incoerenze matematiche implicate dalla dottrina epicurea dei minimi estesi? La risposta, credo, è che in effetti esiste una relazione tra questi due concetti matematici innovativi – il quasi-infinito, una grandezza inconcepibilmente grande, e gli enti quasi-infinitesimali detti minimi. Da anni, ormai, sostengo che il minimo epicureo è esattamente l'inverso della grandezza incomputabile ma non in senso stretto infinita. In altre parole, è uno fratto il numero Omega. A Epicuro, insomma, non era semplicemente bastato introdurre nella sua teoria fisica i minimi – una nozione che credo abbia derivato direttamente dagli argomenti esposti nel sesto libro della *Fisica* di Aristotele. Come aveva immaginato una grande quantità situata tra il finito e l'infinito in senso stretto, così aveva supposto l'esistenza di un minimo che si trovasse tra il finitamente piccolo e lo zero (che è l'inverso dell'infinito). I due concetti non sono indipendenti l'uno dall'altro.

Per apprezzare le implicazioni dell'interdipendenza di questi due ordini di grandezza, vale la pena chiedersi quanti minimi ci siano in un atomo. Abbiamo solide testimonianze del fatto che questo numero debba essere maggiore di uno. Lucrezio definiva questi enti come parti minime (*minimae partes*: Lucr. II 485; cfr. I 599-614), che non hanno esistenza indipendente, isolata, al pari dei punti matematici, come aveva osservato Aristotele. In questo senso gli atomi non sono composti di minimi; i minimi sono sempre già presenti nell'atomo. Analogamente, ci sono infiniti punti in una linea, ma non è possibile raggruppare i punti per formarne una: se li mettessimo uno accanto all'altro, finirebbero semplicemente per sovrapporsi, poiché i punti non hanno bordi, come aveva osservato ancora una volta Aristotele. Lo stesso vale per i minimi epicurei: nemmeno questi ultimi possono avere bordi, altrimenti sarebbero divisibili, almeno in linea teorica. Può allora esistere un atomo composto di due o tre minimi? Sembra che Lucrezio suggerisca questa possibilità, nel corso dell'esperimento mentale con cui intende dimostrare che gli atomi non possono variare in un numero infinito di forme. Scrive Lucrezio (II 485-491):

supponi che i corpi primi siano formati da tre parti minime, o accrescile di poche altre; certo quando avrai sperimentato in ogni modo tutte quelle parti di un unico corpo, collocandole in alto e in basso, trasmutandole da destra a sinistra, per vedere qual forma esteriore dia a tutto il corpo ciascuna disposizione, quanto al

resto, se per caso vorrai ottenere figure diverse, ti sarà necessario aggiungere altre parti; poi seguirà che in simile modo la disposizione esiga altre parti, se per caso vorrai ancora variar le figure,⁵

col risultato che gli atomi finiscono per acquisire una dimensione visibile – enorme, in effetti.⁶ L'esito sarebbe questo se gli atomi variassero in un numero infinito, piuttosto che inconcepibilmente grande, ma non in senso stretto infinito, di forme. Per produrre un numero inconcepibilmente grande di forme, comunque, c'è bisogno che almeno qualche atomo (anzi, un numero inconcepibilmente grande di atomi) sia composto di un numero inconcepibilmente grande di minimi. Se ciascun atomo contenesse soltanto un numero finito di minimi, ci sarebbe un numero finito, e dunque concepibile, di forme. Mi rendo conto che il mio argomento corre il rischio di diventare altrettanto incomprensibile della grandezza di Epicuro, passo dunque subito alla conclusione: io dico che tutti gli atomi, anche i più piccoli, contengono un numero di minimi inconcepibilmente grande ma non in senso stretto infinito. Non vi è sottoinsieme di forme atomiche costituite da un numero finito di minimi.

Se la mia interpretazione della teoria di Epicuro è corretta, allora i minimi non sono semplicemente piccoli; al contrario, se anche i più piccoli corpuscoli in natura sono costituiti da un numero incomputabilmente grande di minimi, questi ultimi devono essere di qualità diversa rispetto agli oggetti ordinari. Pensate, per esempio, all'obiezione che Long e Sedley hanno sollevato contro la dottrina epicurea: «Se [...] esistesse il quadrato geometricamente perfetto, i suoi lati e la sua diagonale sarebbero incommensurabili; ciò sarebbe incompatibile con la teoria dei minimi, secondo la quale [...] tutte le grandezze hanno un sottomultiplo comune».⁷ Ma cosa accadrebbe se non solo l'atomo stesso, ma qualsiasi sua parte, come i lati o le diagonali, contenesse un numero di minimi nient'affatto determinato, bensì inconcepibilmente grande? Non sarebbe possibile calcolare il rapporto tra il numero di minimi nella diagonale e quello di minimi nel lato: entrambi i numeri sarebbero incomprensibili – e non solo perché molto grandi, ma perché non computabili. Non si tratterebbe di un numero infinito, come nel caso dei punti, ma sarebbe comunque impossibile determinarlo. I minimi non costituiscono quantità ordinarie.

⁵ Lucrezio, *De rerum natura*, a cura di A. Fellin, Torino, Utet, 1976, pp. 159-161 (*Fac enim minimis e partibus esse | corpora prima tribus, vel paulo pluribus auge; | nempe ubi eas partis unius corporis omnis, | summa atque ima locans, transmutans dextera laevis, | omnimodis expertus eris, quam quisque det ordo | formai speciem totius corporis eius, | quod super est, si forte voles variare figuras, | addendum partis alias erit*).

⁶ Cfr. Lucr. I 615-627, trad. it. di A. Fellin, p. 103: «D'altra parte se non ci sarà un minimo, tutti i corpi più piccoli saranno composti di infinite parti, poiché il mezzo d'una metà potrà sempre ridursi a mezzo, né alcuna cosa segnerà un limite. Che differenza ci sarà allora fra la somma del tutto e la cosa più piccola? Non ce ne sarà alcuna: sebbene l'intero universo sia profondamente infinito, tuttavia i corpi più piccoli saranno egualmente composti di infinite parti. Ma poiché la retta ragione protesta e rifiuta d'ammettere che la mente vi creda, vinto dovrai riconoscere che esistono cose non più composte di parti e dotate di natura minima. Poiché esse esistono, anche quegli elementi devi ammettere che esistono, e che sono solidi e eterni» (*Praeterea nisi erit minimum, parvissima quaeque | corpora constabunt ex partibus infinitis, | quippe ubi dimidia pars semper habebit | dimidiam partem nec res praefiniet ulla. | ergo rerum inter summam minimamque quod escit, | nil erit ut distet; nam quamvis funditus omnis | summa sit infinita, tamen, parvissima quae sunt, | ex infinitis constabunt partibus aequae. | quod quoniam ratio reclamat vera negatque | credere posse animum, victus fateare necessest | esse ea quae nullis iam praedita partibus extent | et minima constant natura. quae quoniam sunt, | illa quoque esse tibi solida atque aeterna fatendum*).

⁷ A.A. Long, D.N. Sedley, *The Hellenistic philosophers*, cit., p. 44.

Oltretutto, questa concezione dei minimi si può applicare non solo agli atomi ma anche allo spazio e al tempo. Quanti minimi spaziali in un centimetro? Un numero inconcepibilmente grande. Quanti minimi temporali in un secondo? Stessa risposta. E questo vale anche per un millimetro e un nanometro, per un millisecondo e un nanosecondo. Potrebbe essere vero che gli atomi si muovano alla velocità di un'unità spaziale per un'unità di tempo, ma qualsiasi distanza si immagini contiene già un numero inconcepibilmente grande di tali minimi. Così, quando ci chiede di pensare a due atomi che si trovino esattamente a nove minimi di distanza l'uno dall'altro, Sesto sta di fatto ponendo un insieme falso di condizioni iniziali. Dal momento che ogni distanza immaginabile contiene un numero quasi, ma non in senso stretto, infinito di tali intervalli, non è possibile determinare nemmeno se si tratti di un numero pari o dispari. E quando si ha a che fare con fenomeni naturali di livello microscopico, le cose non vanno come ci si aspetterebbe sulla base dell'esperienza ordinaria. Un solo esempio, cruciale, però, per la fisica epicurea: a livello atomico, il moto non è continuo, ma avviene per minuscoli salti, in conseguenza della natura granulare del tempo e dello spazio. Per i minimi non valgono dunque le leggi ordinarie della geometria, come sostenevano i critici di Epicuro, ma questo accade perché a tale livello è la natura stessa a essere diversa.

A questo punto, devo rilevare che Elizabeth Asmis, esperta studiosa di Epicuro, ha proposto una correzione alla tesi che ho appena esposto, alla quale non ho ancora avuto occasione di rispondere. In una recensione al volume *Epicurus on Eidola: Peri phuseos Book II. Update, Proposals, and Discussions*, curato da Francesca Guadalupe Masi e Stefano Maso (Amsterdam, Hakkert, 2015), Asmis osserva: «l'analisi audace e innovativa di Konstan è illuminante, ma solleva alcune questioni». E aggiunge: «le difficoltà sono inevitabili, considerato che, almeno stando alle fonti, Epicuro ha proposto una soluzione profondamente idiosincratica ai problemi profondamente sconcertanti relativi all'infinito».⁸ Nello specifico, Asmis si chiede:

Quanto è precisa la corrispondenza del minimo all'incomprensibilmente grande [...]? Ci si aspetterebbe che il correlativo (o 'inverso') dell'inconcepibilmente grande fosse l'inconcepibilmente piccolo, entrambi intesi come ordini di grandezza che hanno estensione, ma confini indeterminati. Il minimo non corrisponde a questa descrizione: è esso stesso un confine, non avendo estensione, ma contribuendo all'estensione del tutto di cui è parte.⁹

Di seguito Asmis suggerisce:

D'altronde, esiste un candidato perfetto per l'inconcepibilmente piccolo: il tempo necessario a un singolo atomo per percorrere una qualsiasi distanza determinata (περιληπτόν) di spazio vuoto. Questo tempo è descritto come «impossibile da abbracciare con il pensiero» (ἀπερινόητον, *Lettera a Erodoto* 46). La sua estensione è qualcosa di molto, molto piccolo i cui confini sono indeterminabili. Suggestivo, quindi, una revisione della proposta di Konstan. L'«inverso» dell'incomprensibilmente grande è l'incomprensibilmente piccolo, non il minimo. Entrambi hanno estensione, e ciò che li rende 'impensabili', ἀπερίληπτα, è che sono rispettivamente troppo grande e troppo piccolo perché si possano assegnare loro confini determinati.¹⁰

⁸ E. Asmis, *Book Review*: F. Guadalupe Masi, S. Maso (eds.), *Epicurus on Eidola. Peri phuseos. Book II. Update, Proposals and Discussions* (Amsterdam, Hakkert, 2015), «Revue de philosophie ancienne», xxxiv, 2016, 1, p. 95.

⁹ *Ibid.*

¹⁰ *Ibid.*

Asmis ha certamente ragione nel supporre, come io stesso ho scritto, che il termine *aperinoētos* indichi chiaramente un intervallo temporale molto piccolo, nel quale i *simulacra* coprono tratti di spazio grandi ma limitati.¹¹ Il problema, per come la vedo io, è che il minimo, come inteso da Asmis, continua a sottrarsi alla logica matematica e non permette di rispondere alle obiezioni poste dai critici di Epicuro. Qual è dunque il significato della parola *aperinoētos*, attestata un'unica volta nelle opere di Epicuro a noi pervenute? Nell'articolo suggerivo che il termine indichi «un periodo di tempo analogo al limite percettibile degli oggetti visibili, che [Epicuro] avrebbe più tardi paragonato ai limiti teorici degli atomi, cioè, ai *minimi* veri e propri».¹² L'inverso di tale minimo percettibile, di contro al minimo teorico, sarebbe un oggetto troppo grande per essere colto come unità (come nel caso dell'idea aristotelica di un animale di diecimila stadi: *Po.* 1451 a), ma non la quantità specificamente matematica del non-in-senso-stretto infinito. Ma per giungere a una soluzione definitiva, il problema richiede ulteriori approfondimenti.

Nel 1854, il grande matematico tedesco Bernhard Riemann (1826-1866) tenne una lezione intitolata *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen*, pubblicata postuma nel 1867,¹³ in cui affermava:

Ora, sembra che i concetti empirici su cui sono basate le misurazioni spaziali, in particolare i concetti di corpo solido e di raggio luminoso, cessino di valere nell'infinitamente piccolo: di conseguenza si può benissimo concepire che nell'infinitamente piccolo le relazioni metriche dello spazio non siano in accordo con i postulati della geometria, e di fatto si sarebbe costretti a fare questa ammissione non appena essa permettesse una più semplice spiegazione dei fenomeni.¹⁴

Riemann, che aveva studiato con Carl Friedrich Gauss, fu uno dei matematici, come Nikolai Ivanovich Lobačevskij, che trasformarono la geometria sfidando il lungo dominio del modello euclideo (si dice che William Kingdon Clifford, che tradusse in inglese il saggio di Riemann, avesse definito Lobačevskij 'il Copernico della Geometria'). Questi matematici prepararono il terreno alle grandi scoperte dell'inizio del ventesimo secolo, incluse la relatività e la meccanica quantistica, che insieme assorbito il vecchio modello newtoniano, fino ad allora dominante. In effetti, la fiducia nella teoria di Newton era così radicata che, si racconta, nel 1900, il matematico e fisico scozzese William Thomson Kelvin, da cui prende il nome l'unità di misura della temperatura, abbia dichiarato: «Ormai in fisica non c'è nulla di nuovo da scoprire. Tutto ciò che resta da fare sono misurazioni sempre più precise».¹⁵ A dire il vero, Kelvin non affermò mai nulla di simile, ma queste parole rendono comunque molto bene l'idea di come, all'epoca, la fiducia nella fisica classica fosse pressoché assoluta.

¹¹ D. Konstan, 'Minima' and the speed of images in Epicurus, in F. Guadalape Masi, S. Maso (eds.), *Epicurus on Eidola. Peri phuseos. Book II. Update, Proposals and Discussions*, Amsterdam, Hakkert, 2015, p. 142.

¹² *Ibid.*, p. 143.

¹³ B. Riemann, *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen*, «Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen», XIII, 1867, pp. 133-150; in trad. it., *Sulle ipotesi che stanno alla base della geometria e altri scritti scientifici e filosofici*, a cura di R. Pettoello, Torino, Bollati Boringhieri, 1994.

¹⁴ B. Riemann, *Sulle ipotesi che stanno alla base della geometria*, in A. Einstein, *Relatività: esposizione divulgativa e scritti di Descartes, Newton, Lobačevskij, Riemann, Helmholtz, Maxwell, Poincaré, Einstein su Spazio Geometria Fisica*, a cura di B. Cermignani, trad. it. di V. Geymonat, Bollati Boringhieri, 1967, p. 220.

¹⁵ Questa presunta affermazione di Kelvin sarebbe stata formulata in un discorso tenuto alla British Association for the Advancement of Science nel 1900.

Ancora una volta, come nel caso della relazione tra la nozione epicurea di un ordine di grandezza inconcepibilmente grande ma non in senso stretto infinito e la costante Omega, non intendo suggerire che Epicuro abbia precorso i tempi, anticipando le scoperte moderne – o, come preferisco definirle, post-moderne – nel campo della geometria e della fisica (uso qui il termine ‘moderno’ nella sua accezione francese e mi riferisco al periodo che va dalla fine del Rinascimento fino al diciannovesimo secolo). Né Riemann né altri, per quanto mi risulta, sono stati in alcuna misura ispirati dalle opere di Epicuro, né hanno mai sospettato che egli avesse avuto uno sguardo così radicale sulla natura. Piuttosto, direi che non è forse un caso che un’adeguata comprensione di uno dei principi fondativi dell’atomismo epicureo (se ho ragione a identificarlo come tale) sia divenuta possibile solo con l’affermarsi, in matematica e in fisica, di una nuova epoca, post-euclidea e post-newtoniana. La filosofia di Epicuro si sviluppò in un’epoca in cui la matematica euclidea stava cominciando ad affermarsi, ma non era ancora universalmente condivisa, come sarebbe stato in seguito.¹⁶ A quel tempo, una teoria come quella di Epicuro, o del resto come quella degli Stoici, era ancora in competizione con la concezione dei numeri e della geometria che avrebbe prevalso poi per duemila anni, facendo sembrare i minimi epicurei assurdi e indegni di considerazione. È questa la ragione per cui sono critico, per esempio, nei confronti dell’importante e pluripremiato libro di Stephen Greenblatt dal titolo *Il manoscritto. Come la riscoperta di un libro perduto cambiò la storia della cultura europea*. Greenblatt scrive: «Nel Rinascimento, qualcosa si ribellò alle restrizioni costruite nei secoli intorno alla curiosità, al desiderio, all’individualità, all’interesse costante per il mondo materiale, ai bisogni del corpo».¹⁷ Greenblatt attribuisce un ruolo importante nella genesi di questo nuovo impulso alla riscoperta del poema di Lucrezio e della sua filosofia materialista. A mio avviso, invece, almeno nell’ambito della fisica, il retaggio dell’epicureismo nella prima età moderna era ambiguo e anche laddove era riconosciuto e apprezzato, per esempio da Gassendi e seguaci, veniva seriamente frainteso, proprio perché incompatibile con l’altra grande tradizione antica, rappresentata da Euclide e dagli altri eccezionali matematici e scienziati teorici, specialmente nel campo dell’ottica. La storia ha, in un certo senso, perso un’occasione – ma questo è nella sua natura, che sia storia della politica o, appunto, della scienza.

¹⁶ Vd. anche A. Angeli, T. Dorandi, *Gli Epicurei e la geometria: Un progetto di geometria antieuclidea nel Giardino di Epicuro?* in M. Beretta, F. Citti (a cura di), *Lucrezio, la natura e la scienza*, Firenze, Olschki, 2008, pp. 1-9, e Th. Bénatouil, *Les critiques épicuriennes de la géométrie*, in P.-E. Bour, M. Rebuschi, L. Rollet (eds.), *Construction. Festschrift for Gerhard Heinzmann*, London, College Publications, 2010, pp. 151-162. B. Holmes, *Michel Serres’s Non-Modern Lucretius: Manifold Reason and the Temporality of Reception*, in J. Lezra, L. Blake (eds.), *Lucretius and Modernity: Epicurean Encounters Across Time and Disciplines*, Hampshire, Palgrave MacMillan, 2016, pp. 21-37, ha osservato che Michel Serres adotta una prospettiva più radicale, secondo cui la fisica di Lucrezio è in effetti corretta, di contro al newtonianismo moderno; secondo Serres, scrive Holmes, Lucrezio «propone una fisica del flusso e della turbolenza che è sostenuta dalla matematica di Archimede e ratificata come scientifica dalla fisica del ventesimo secolo, nella svolta dai solidi ai fluidi e dalla meccanica classica alla teoria del caos. In opposizione alle interpretazioni di Lucrezio basate sulla critica letteraria e la storia culturale, Serres reintroduce uno schema di valutazione estremamente critico della verità nel senso di un allineamento tra teoria e realtà fisica: Lucrezio ha ragione» (*ibid.*, p. 22, citando M. Serres, *La naissance de la physique dans le texte de Lucrèce*, Paris, Minuit, 1977 [trad. it. di P. Cruciani, A. Jeronimidis, *Lucrezio e l’origine della fisica*, Palermo, Sellerio, 1980]). Come Holmes, anch’io sono molto scettico circa la ricostruzione proposta da Serres della fisica di Lucrezio.

¹⁷ Trad. it. di R. Zuppet, Milano, Rizzoli, 2012, p. 17 (ed. or. *The Sverve: How the World Became Modern*, New York, Norton & Company, 2011).

Poiché ho menzionato l'elegante studio di Greenblatt, il cui titolo si può rendere in italiano con 'il brusco scarto' (*swerve*), è inevitabile pensare, appunto, allo scarto, per il movimento casuale e arbitrario degli atomi ridicolizzato sia dagli antichi che dai moderni, finché l'era della meccanica quantistica non sembrò fornire una giustificazione a tali aleatori movimenti nella natura. Vorrei tuttavia concludere questo percorso nella fisica epicurea e in ciò che a essa seguì con una rapida analisi del concetto di peso: come sappiamo, a differenza di Democrito, Epicuro attribuì un peso agli atomi. Aristotele aveva spiegato il peso con la dottrina dei luoghi naturali: gli oggetti pesanti cadono verso il centro dell'universo, che secondo Aristotele è finito e limitato, mentre quelli più leggeri salgono verso la periferia. Poiché si pensava che la terra si trovasse al centro dell'universo, la teoria si prestava a essere sfruttata come semplice spiegazione del concetto di gravità, ovvero la tendenza degli oggetti pesanti a cadere. Quando Epicuro abbracciò l'idea di un universo infinito e complessivamente uniforme, vennero a mancare le condizioni stesse di tale attività direzionale e si rese necessario trovare una spiegazione alternativa della gravità. Le teorie materialiste più antiche richiamarono il concetto di vortice,¹⁸ che in effetti può spiegare perché alcuni oggetti convergano sul fondo mentre altri fluttuino verso la superficie esterna di un mezzo rotante, com'è stato dimostrato da Einstein in un celebre saggio.¹⁹ Una volta che la teoria del vortice tramontò nella filosofia classica, Epicuro dovette cercare una o più cause alternative della distribuzione verticale degli oggetti nel mondo e, in particolare, della loro evidente tendenza, salvo ostacoli, a cadere. A proposito degli atomi, Epicuro ipotizzò che si muovessero tutti in modo continuo ed esattamente alla stessa velocità: nel vuoto, non ci sarebbe alcuna differenza di velocità tra atomi più grandi e più piccoli, indipendentemente dalla loro direzione di movimento. Perché, però, privilegiare una direzione, quella discendente, rispetto alle altre? Nell'universo nulla suggerisce un orientamento di questo tipo. Premesso che l'atomo ha un peso, si pongono due questioni: per prima cosa, come fa l'atomo, per così dire, a sapere in quale direzione deve cadere? E poi: siccome è evidente che alcuni oggetti si sollevano, perché spinti verso l'alto dalla materia più pesante presente nell'ambiente circostante, come nel caso delle bolle nell'acqua (in virtù del processo che Epicuro chiamava *ekthlipsis* o 'estrusione'), oppure perché lanciate verso l'alto, come si fa con una palla, come mai poi si girano e cominciano a scendere, come impone la gravità?

Molti anni fa, David Furley ha affrontato questo problema nel primo saggio del suo *Two Studies in the Greek Atomists* (Princeton, Princeton University Press, 1967), spiegando che Epicuro, al paragrafo 61 della *Lettera a Erodoto*, identifica due tipi di moto: «il moto verso il basso, che è dovuto al peso, e il moto verso l'alto o di lato, che avviene per gli urti» (p. 122). Secondo la lettura di Furley, il moto discendente «può essere contrastato solo per collisione con un altro atomo che si sta muovendo verso l'alto o lateralmente; il moto ascendente o laterale, invece, può essere contrastato per collisione o per riaffermazione del peso» (p. 123). Come osserva Furley, con la 'riaffermazione del peso', come lui la chiama, «ci si aspette-

¹⁸ Ad es. quelle di Anassimandro e Anassimene: vd. L. Perilli, *La teoria del vortice in Anassimandro e Anassimene: la testimonianza di Epicuro*, «Wiener Studien», CV, 1992, pp. 5-18; Id., *La teoria del vortice nel pensiero antico. Dalle origini a Lucrezio*, Pisa, Pacini, 1996.

¹⁹ A. Einstein, *Die Ursache der Mäanderbildung der Flussläufe und des sogenannten Baerschen Gesetzes*, «Naturwissenschaften», XIV, 1926, pp. 223-224 (e cfr. *La causa della formazione dei meandri nelle correnti liquide e la così detta legge di Baer*, in *Idee e opinioni*, trad. it. di F. Fortini, C. Losurdo, Milano, Schwartz, 1957, pp. 231-233).

rebbe una lenta decelerazione, seguita da un'accelerazione in un'altra direzione, ma ciò è escluso» (*ibid.*), perché gli atomi si muovano sempre a velocità costante. Piuttosto, rileva Furley, «il moto a velocità massima in una direzione è istantaneamente seguito da un moto a velocità massima nell'altra direzione» (*ibid.*). In apparenza, questo improvviso e inspiegabile mutamento di direzione, motivato da nulla più che un appello al peso atomico, somiglia a una versione estrema dello scarto. Gli atomi cominciano a cadere in un momento o in un luogo specifico? Se sì, quando e dove? Se invece no, perché allora i critici dello scarto, come Cicerone, non hanno discusso l'arbitrarietà di quest'altro movimento?

Quando ho cominciato a esaminare il problema, mi sono concentrato in particolare sulla proposizione che chiude il resoconto epicureo del peso nella *Lettera a Erodoto* (61). La traduzione di Furley suona così: «For as long as one of these two motions is in force the atom will move as quick as thought, until there is a counterblow, either from something outside, or else from its own weight acting against the force of the object which hit it» (p. 122). Ciò che ha attirato la mia attenzione è stata l'affermazione che il peso agisce «against the force of the object which hit it» (in italiano: «contro la forza del corpo che lo ha percosso»). In base a questo, mi è parso che quella che Furley chiama «riaffermazione del peso» risultasse da collisioni, proprio come le altre alterazioni di direzione.

Assumiamo che sia corretto dire che il peso, ovverosia il movimento discendente degli atomi, è in qualche modo funzione delle collisioni; rimane però un problema: perché gli atomi dovrebbero prediligere una direzione specifica quando rimbalzano gli uni sugli altri? Non è necessario immaginare che, a seguito di ogni impatto, gli atomi che si urtano si muovano dritti verso il basso; per dare conto dell'orientamento direzionale dell'universo è sufficiente che, in termini statistici, gli atomi emergenti dagli urti continui che hanno luogo nei corpi composti esibiscano un vettore costante. Calcolate la media di tutti i moti degli atomi che rimbalzano gli uni sugli altri in un determinato oggetto: ne risulterà una direzione preponderante, anche se di poco. Questa direzione, poi, è discendente per definizione. È una proprietà intrinseca dell'universo e degli atomi, un semplice fatto di natura.

L'idea che la natura stessa abbia un orientamento verticale, che si manifesta come effetto del peso quando gli atomi collidono, potrebbe sembrare bizzarra, proprio come l'idea dello scarto o dei minimi stessi. E tuttavia, ancora una volta, la fisica moderna (o, come l'ho definita, post-moderna) ha riconosciuto un effetto simile in natura, per quanto questo possa sembrare strano. Sto pensando alla perdita di quella proprietà che in fisica è definita 'parità'. A quanto pare, quando le particelle subatomiche emergono da determinati tipi di reazione, la loro rotazione non esibisce la simmetria prevista. Di nuovo, la matematica implicata in questa dimostrazione va oltre le mie competenze, faccio quindi riferimento alla voce di Wikipedia sull'«esperimento di Wu», che prende il nome dalla fisica Chien-Shiung Wu: «I risultati dell'esperimento di Wu rendono possibile una definizione operativa di sinistra e destra [...]. In precedenza, se gli scienziati sulla Terra avessero comunicato con quelli di un altro pianeta appena scoperto, senza mai essersi incontrati di persona, non sarebbe stato possibile né agli uni né agli altri determinare in maniera non ambigua l'altrui destra e sinistra. Grazie all'esperimento Wu è ora possibile comunicarsi il significato delle parole sini-

stra e destra in modo chiaro ed esatto». ²⁰ In un articolo dal titolo affascinante, [Quarks Know Their Left from Their Right](#), che suona un po' come la misteriosa conoscenza che ho attribuito agli atomi pesanti di Epicuro (l'articolo è stato pubblicato su *Science*, la rivista dell'American Association for the Advancement of Science, il 5 febbraio 2014), Adrian Cho scrive:

Un tempo, i fisici pensavano che ogni forza obbedisse alla simmetria. Così, per esempio, un sistema fisico si sarebbe dovuto comportare esattamente come la sua immagine speculare – un tipo di simmetria definita parità. Però, nel 1957, i fisici scoprirono che la parità viene violata nel caso delle interazioni deboli di particelle. Per esempio, immaginate di dirigere contro il nucleo un flusso di elettroni destrorsi e di guardarli rimbalzare. Se osservate questo minuscolo tiro a segno in uno specchio, vedrete elettroni levogiri che saltano via dal bersaglio. Se l'interazione tra elettrone e nucleo fosse specularmente simmetrica, la dispersione di elettroni destrorsi e levogiri dovrebbe essere la stessa.

In effetti, però, questo non avviene: piuttosto, «gli elettroni destrorsi e quelli levogiri rimbalzano dal bersaglio in maniera differente, producendo una leggera asimmetria nello schema di dispersione». Questo fenomeno, che ha sbalordito l'intera comunità scientifica, non è più sorprendente dell'idea che lo schema di dispersione delle particelle emergenti da collisioni a livello atomico sia asimmetrico – il che, per come la vedo io, rappresenta una descrizione del tutto adeguata dell'effetto del peso nel sistema epicureo.

Abbiamo visto che la fisica epicurea ha avuto un singolare destino. Alcune delle sue idee più radicali, in particolare quelle riguardanti i minimi temporali e spaziali, sono penetrate nella visione islamica dell'universo, con la differenza, naturalmente, che la responsabilità dell'apparente uniformità dell'universo dopo ciascun istante discontinuo era attribuita a Dio. La dottrina emerse anche nell'Occidente latino, ma fu soppiantata dall'aristotelismo che si affermò a partire dal tredicesimo secolo. La teoria atomistica di Epicuro fu riscoperta nel diciassettesimo secolo, quando l'anti-aristotelico Pierre Gassendi la riportò in auge, ma scomparve, a quel punto, l'idea che l'universo fosse essenzialmente granulare o quantico e la nuova fisica, rappresentata soprattutto dalle scoperte di Isaac Newton, e l'invenzione del calcolo infinitesimale non lasciarono spazio alcuno al moto discontinuo in intervalli spazio-temporali minimi ma estesi. Solo il superamento della fisica classica, agevolato dalle nuove geometrie, in seguito al quale si sono prodotte teorie originali, quali la costante Omega e la teoria dei quanti, per non parlare della violazione di parità, ha reso possibile una rivalutazione delle teorie di Epicuro, ora considerate razionali e coerenti, per quanto soltanto apparentemente assimilabili a quelle della fisica odierna. Al di là delle differenze e dei divari – ovviamente enormi – tra atomismo antico e scienza moderna, è tuttavia possibile considerare questi due momenti della storia delle idee, fra i quali si estende la lunga epoca della modernità, come capaci di ospitare concezioni che rivelano la misteriosa natura dell'universo che abitiamo.

david_konstan@brown.edu
(New York University)

²⁰ Vd. la sezione [Mechanism and consequences](#) della voce *Wu experiment* di Wikipedia (pagina consultata il 17 agosto 2017).