

Un brano di Plutarco ("Moralia", 923C-924A) e la storia della dinamica

Lucio Russo

Questo lavoro è dedicato all'interpretazione di alcuni passi, di eccezionale interesse scientifico, del dialogo di Plutarco *De facie quae in orbe lunae apparet* e alla ricerca della loro fonte. La tesi sostenuta è quella che nei passi considerati si accenni ad una teoria scientifica, basata sul principio di inerzia, che era esposta nell'opera perduta di Ipparco *Περὶ τῶν διὰ βαρύτητα κάτω φερομένων*, sulla quale siamo informati esplicitamente solo da Simplicio.

1. Contenuto scientifico del brano di Plutarco.

Il dialogo, ed in particolare il brano di cui ci occuperemo, contenente accenni a questioni di dinamica, ha suscitato grande interesse tra gli scienziati dell'età moderna. Il dialogo fu studiato attentamente, tra gli altri, da Keplero, che ne pubblicò anche una traduzione latina commentata ¹, e da Descartes (come risulta dal confronto tra il brano di Plutarco trascritto più avanti e la discussione del moto di un sasso fatto roteare con una fionda contenuta in *Le Monde... ou Le traité de la Lumière*, cap.7). Alcuni passi dello stesso brano furono inseriti da Newton nella prima stesura (rimasta inedita) dei *Principia Philosophiae Naturalis* ². Questi sono solo alcuni esempi di un interesse molto più diffuso, ma mi sembrano sufficienti per giustificare uno studio accurato del contenuto scientifico dei passi seguenti.

καίτοι τῇ μὲν σελήνῃ βοήθεια πρὸς τὸ μὴ πεσεῖν ἢ κίνησις αὐτῆ καὶ τὸ ῥοιζῶδες τῆς περιαγωγῆς, ὥσπερ ὅσα ταῖς σφενδόνας ἐντεθέντα τῆς καταφορᾶς κώλυσις ἴσχει τὴν κύκλῳ περιδίησιν· ἄγει γὰρ ἕκαστον ἢ κατὰ φύσιν κίνησις, ἂν ὑπ' ἄλλου μηδενὸς ἀποστρέφηται. διὸ τὴν σελήνην οὐκ ἄγει τὸ βάρος, ὑπὸ τῆς περιφορᾶς τὴν ῥοπήν ἐκκρουόμενον· ἀλλὰ μᾶλλον ἴσως λόγον εἶχε θαυμάζειν μένουσαν αὐτὴν παντάπασιν ὥσπερ ἡ γῆ καὶ ἀτρεμοῦσαν.³

Certo la luna è trattenuta dal cadere dallo stesso moto e dalla rapidità della sua rotazione, proprio come gli oggetti posti nelle fionde sono trattenuti dal cadere dal moto circolare. Il moto secondo

¹ Cfr. *Johannis Kepleri Opera Omnia*, ed. Ch. Frisch, Francofurti a. M., 1870, vol. viii.

² I brani sono negli *Scolii classici* di Newton, pubblicati da P. Casini in "Giornale critico della filosofia italiana", 1, LX, 1981, pp. 7-53.

² I brani sono negli *Scolii classici* di Newton, pubblicati da P. Casini in "Giornale critico della filosofia italiana", 1, LX, 1981, pp. 7-53.

³ Plutarco: *De facie...*, 6 (*Moralia*, 923 C-D).

natura guida infatti ogni corpo, se non è deviato da qualcos'altro. Perciò la luna non segue il suo peso, [che è] equilibrato dall'effetto della rotazione. Ma si avrebbe forse più ragione di meravigliarsi se essa restasse assolutamente immobile e fissa come la terra.

Poco dopo, un altro dei personaggi dello stesso dialogo dice ⁴:

φιλοσόφων δ' οὐκ ἀκουστέον, ἂν τὰ παράδοξα παραδόξοις ἀμύνεσθαι βούλωνται καὶ μαχόμενοι πρὸς τὰ θαυμάσια τῶν δογμάτων ἀτοπώτερα καὶ θαυμασιώτερα πλάττωσιν, ὥσπερ οὗτοι τὴν ἐπὶ τὸ μέσον φορὰν εἰσάγουσιν. ἦ τί παράδοξον οὐκ ἔνεστιν; [...] οὐ μύδρους χιλιοταλάντους διὰ βάθους τῆς γῆς φερομένους, ὅταν ἐξίκωνται πρὸς τὸ μέσον, ἴστασθαι μηδενὸς ἀπαντῶντος μηδ' ὑπερείδοντος, εἰ δὲ ῥύμη κάτω φερόμενοι τὸ μέσον ὑπερβάλλοιεν, αὐθις ὀπίσω στρέφεσθαι καὶ ἀνακάμπειν ἀπ' αὐτῶν;⁵ οὐ τμήματα δοκῶν ἀποπρισθέντα ⁶ τῆς γῆς ἐκατέρωθεν μὴ φέρεσθαι κάτω διὰ παντός, ἀλλὰ προσπίπτοντα πρὸς τὴν γῆν ἔξωθεν εἴσω διωθεῖσθαι καὶ ἀποκρύπτεσθαι περὶ τὸ μέσον; οὐ ῥεῦμα λάβρον ὕδατος κάτω φερόμενον εἰ πρὸς τὸ μέσον ἔλθοι σημεῖον, ὅπερ αὐτοὶ λέγουσιν ἀσώματον, ἴστασθαι περικρεμαννύμενον,⁷ κύκλῳ περιπολεῖν, ἄπαστον αἰώραν καὶ ἀκατάπαστον αἰωρούμενον;

Non bisogna dare ascolto ai filosofi se vogliono respingere paradossi con paradossi e, combattendo le stranezze di alcune dottrine, ne inventano di ancora più strane e stravaganti, come costoro che introducono la spinta verso il centro. Quale paradosso vi manca? ... Non che massi incandescenti del peso di mille talenti spinti attraverso le profondità della terra, qualora giungessero al centro si fermerebbero, senza incontrare nulla cui appoggiarsi, e se spinti verso il basso con velocità superassero il centro, si volgerebbero di nuovo indietro e andrebbero su e giù tra questi [punti di svolta]? Non che porzioni di meteore segate da ambo i lati della Terra non sarebbero spinte verso il basso per sempre ma cadendo sulla Terra penetrerebbero dall'esterno verso l'interno e si occulterebbero presso il centro? Non che una corrente impetuosa d'acqua spinta verso il basso, se giungesse al punto centrale, che essi stessi dicono incorporeo, si fermerebbe sospesa, girerebbe in cerchio, oscillando con una incessante e perpetua oscillazione?

⁴ Plutarco: *De facie...*, 7 (*Moralia*, 923F-924A).

⁵ Ho conservato il testo trådito, che sembra più interessante, dal punto di vista scientifico, del testo ottenuto emendando ἀπ'αὐτῶν in ἀφ'αὐτῶν, e proprio per questo motivo preferibile. La natura periodica del moto attorno al centro della Terra è comunque del tutto chiara più avanti, quando Plutarco, a proposito dell'oscillazione della corrente d'acqua, specifica che si tratta di un moto ἄπαστον καὶ ἀκατάπαστον.

⁶ Ho conservato anche qui il testo trådito. L'emendamento ἀποπρησθέντα, proposto da H. Cherniss, mi sembra uno dei tentativi di rendere "comprensibile" questo brano come descrizione di fenomeni naturali reali. L'emendamento diviene inutile se si interpreta il brano come una successione di "paradossi" (come dice lo stesso Plutarco) o di "esercizi" (come diremmo noi) di una teoria scientifica. Uno scienziato può prevedere, usando una teoria, cosa accadrebbe se si segassero simmetricamente due parti della Terra agli antipodi, anche se ovviamente sa benissimo che l'ipotesi è irrealistica.

⁷ Anche qui ho conservato il testo trådito, inserendo solo una virgola, mentre in questo punto viene in genere inserito un ἦ. Plutarco considera in questo passo tre moti possibili: la quiete, il moto circolare uniforme ed il moto oscillatorio. Il sovrapporre le diverse possibilità, senza porle in alternativa, potrebbe essere un modo per sottolineare l'assurdità della "paradossale" teoria riferita. Il personaggio di Plutarco, essendo seguace dell'Accademia ed estimatore di Aristotele, non poteva infatti non giudicare contraddittorio l'ammettere moti diversi in corrispondenza di una stessa forza. L'inserimento dell' ἦ cerca di eliminare la contraddizione, che potrebbe essere volutamente esibita nel testo, senza peraltro riuscirci, poiché, riducendo i casi considerati a due soli, sembra fondato sull'idea che un moto circolare possa essere descritto senza contraddizione come una oscillazione.

Vi sono molti elementi per pensare che Plutarco, nei brani che abbiamo trascritto, riferisca una teoria scientifica. Nello stesso dialogo non solo sono affrontati vari altri argomenti scientifici, in particolare di astronomia e di catottrica, e sono menzionati vari scienziati, ma sono anche citati letteralmente passi dell'opera rimastaci di Aristarco di Samo *Sulle dimensioni e le distanze del Sole e della Luna*. Plutarco stesso, inoltre, presenta i suoi esempi come "paradossi" di un'unica dottrina. Notiamo anche che Plutarco non parla solo genericamente di "centro" della Terra, ma di "punto centrale", usando per "punto" il termine σημείον, che è il termine tecnico proprio della geometria; quanto all'osservazione che è assurdo supporre che un "punto" incorporeo possa esercitare un'influenza su dei corpi, essa è tipica delle critiche scettiche alle teorie scientifiche ⁸.

Vi è un metodo semplice per controllare se l'esposizione di Plutarco è basata su una fonte scientifica: esaminare se le conseguenze, dedotte con i metodi della scienza esatta, di alcune affermazioni di Plutarco sono documentate in altre sue affermazioni. Se troveremo un'unica struttura scientifica coerente non potremo evidentemente attribuirle alla fantasia di Plutarco e dovremo dedurre che Plutarco ha usato una fonte appartenente alla tradizione della scienza esatta ellenistica.

Plutarco afferma: ἄγει γὰρ ἕκαστον ἢ κατὰ φύσιν κίνησις, ἂν ὑπ' ἄλλου μηδενὸς ἀποστρέφεται, "Il moto secondo natura guida ogni corpo, se non è deviato da qualcos'altro."

Se questa frase è la traduzione nel linguaggio letterario di una precisa affermazione scientifica, il significato dell'affermazione originale può essere ricostruito sulla base di alcune altre informazioni fornite da Plutarco.

Va sottolineato innanzitutto che per la fonte di Plutarco il moto circolare della Luna attorno alla Terra non è "secondo natura" (κατὰ φύσιν). Questo punto è di grande importanza perché l'idea che i moti circolari uniformi fossero quelli "naturali" dei corpi celesti (e quindi in particolare della Luna) non solo è in genere attribuita a tutta l'antichità, ma era ancora condivisa da Galileo.

Gli esempi della Luna e del sasso legato alla fionda mostrano quindi che l'effetto del "qualcos'altro" può essere quello di generare un moto circolare uniforme.

Nel caso del masso di mille talenti che, arrivando con velocità al centro della Terra, lo supera, Plutarco considera un moto rettilineo. E' chiaro che non si tratta di un κατὰ φύσιν κίνησις, poiché il masso è "spinto" da quella stessa gravità che impedisce alla Luna di muoversi, appunto, κατὰ φύσιν. Il masso, dopo avere oltrepassato il centro, rallenta fino ad annullare la sua velocità. E' chiaro quindi che un effetto della gravità può essere il rallentamento del moto. Un altro effetto possibile è evidentemente quello di aumentare la velocità: altrimenti lo stesso masso non potrebbe tornare sui suoi passi dopo avere rallentato fino a fermarsi.

E' chiaro dai due punti precedenti che per moti "secondo natura" (κατὰ φύσιν) l'eventuale fonte scientifica di Plutarco avrebbe potuto intendere solo quelli rettilinei uniformi. Poiché è anche chiaro che il "qualcos'altro" può essere la gravità, l'eventuale teoria esposta nella fonte di Plutarco avrebbe dovuto contenere un'affermazione equivalente alla seguente:

⁸ Cfr. Sesto Empirico: *Adversus Mathematicos*, I, iii.

Ogni corpo continua nel suo moto rettilineo uniforme, finché non ne è deviato dalla gravità o da qualcos'altro.

Si tratterebbe evidentemente di un enunciato del principio di inerzia, non rintracciabile nei trattati scientifici ellenistici sopravvissuti.

Un'eventuale teoria scientifica contenente un tale enunciato avrebbe dovuto descrivere l'effetto della gravità con la variazione (in generale sia in modulo che in direzione) della velocità; inoltre la stessa teoria avrebbe dovuto trarne la conseguenza che la stessa gravità è compatibile con diversi moti degli stessi corpi nelle stesse posizioni (a seconda delle diverse velocità iniziali).

Per quanto riguarda il primo punto, notiamo che Plutarco usa la parola φορά e il verbo corrispondente φέρω sempre per moti di corpi che, essendo soggetti alla gravità, hanno per questo motivo una velocità variabile (mentre l'unica volta in cui si parla di un moto non accelerato il termine usato è κίνησις). I moti dei corpi descritti da Plutarco come sottoposti ad una φορά verso il centro della Terra non sono in genere diretti verso il centro: l'unica grandezza fisica che in tutti gli esempi considerati è sempre diretta verso il centro (ed ha quindi sempre la direzione della φορά) non è la velocità, ma quella che noi chiameremmo accelerazione.

Il verbo φέρω ed il sostantivo φορά sono quindi usati in questo brano in un preciso senso tecnico. Plutarco stesso, del resto, sembra suggerire la natura tecnica di questa terminologia, giacché prima introduce il termine φορά con le parole ὅσπερ οὔτοι τὴν ἐπὶ τὸ μέσον φορὰν εἰσάγουσιν ["come costoro che introducono la φορά verso il centro"] e poi usa sistematicamente il verbo φέρω, senza sostituirlo mai, nello stesso significato, con altri verbi di moto. Osserviamo che il significato scientifico del brano di Plutarco si perde in genere nelle traduzioni: ad esempio in quella di H. Cherniss, che nella sua edizione del dialogo⁹ traduce φορά con "motion".

Per quanto riguarda la compatibilità della stessa gravità (e quindi della stessa φορά) con moti diversi, notiamo che Plutarco, nel caso dell'acqua presso il centro della Terra, considera effettivamente tre moti possibili per lo stesso corpo sottoposto alla stessa φορά (verso il centro): la quiete, il moto circolare uniforme attorno al centro e l'oscillazione perpetua attraverso il centro. Come oggi è ben noto agli studenti di meccanica razionale, si tratta effettivamente di tre moti teoricamente possibili per un corpo sottoposto all'azione della forza considerata da Plutarco. Anche nel caso del masso Plutarco aveva indicato non uno ma due moti possibili: la quiete e l'oscillazione.

La coerenza scientifica del brano di Plutarco, sia nelle caratteristiche qualitative dei moti descritti che nelle scelte terminologiche, dimostra l'uso (eventualmente indiretto) di una fonte scientifica. La fonte doveva esporre una teoria dinamica basata sul principio di inerzia e sull'idea che ciò che oggi chiamiamo una "forza" (in particolare la gravità) non determini univocamente il moto, ma solo le variazioni di velocità.

⁹ *Plutarch's Moralia*, vol. XII, with an English Translation by H. Cherniss and W.C. Helmbold, London - Cambridge (Mass.), 1957, pp. 1-223.

2. Il problema della ricerca della fonte di Plutarco.

Dalle considerazioni precedenti emerge la rilevanza, per la storia della scienza, del problema dell'individuazione della fonte dalla quale Plutarco aveva tratto la sua esposizione.

L'interesse, che già abbiamo sottolineato, rivolto nei secoli al dialogo di Plutarco da parte degli scienziati non sembra però essere stato adeguatamente condiviso dagli storici della scienza, che hanno largamente sottovalutato il "De facie", probabilmente a causa della natura letteraria dell'opera. Ad esempio Koyré sottolinea come novità essenziale della scienza moderna il considerare "naturali" solo i moti rettilinei, mentre tutta la fisica "antica" avrebbe opposto al moto circolare, naturale, il moto in linea retta, violento¹⁰. Le chiare affermazioni di Plutarco non sono evidentemente prese in considerazione. Anche gli storici della scienza che si sono occupati del brano che abbiamo trascritto non hanno affrontato il problema della ricerca delle fonti. S. Sambursky, ad esempio, (che pure afferma che i moti descritti da Plutarco gli ricordano esercizi della teoria della gravitazione newtoniana) sembra ritenere che le affermazioni che abbiamo riportato siano il frutto dell'immaginazione di Plutarco¹¹.

Molto più interesse per il dialogo di Plutarco vi è stato naturalmente da parte dei classicisti, che però erano interessati soprattutto ad altri aspetti dell'opera. Anche i lavori dedicati specificamente ai contenuti scientifici delle opere di Plutarco (ed in particolare del dialogo che ci interessa) erano rivolti più all'analisi dell'atteggiamento di Plutarco verso la scienza che ad un uso della sua opera come fonte indiretta sulla scienza ellenistica¹².

Le considerazioni precedenti spiegano forse perché, mentre le fonti dei passi del dialogo con un esplicito contenuto astronomico, riguardanti in particolare l'astronomia lunare, sono state ricercate con cura, sul brano che più ci interessa la letteratura sembra fornire poche indicazioni¹³.

L'ipotesi di Reinhardt che la fonte di alcune affermazioni scientifiche di Plutarco fosse Posidonio¹⁴ è stata successivamente criticata da più autori. Per quanto riguarda gli esempi riferiti da Plutarco di moto di corpi all'interno della Terra, è stato osservato da H. Cherniss che essi ricordano un passo di Platone ("Fedone", 111, d-e), dove anche si parla, tra l'altro, di un fiume oscillante intorno al centro della Terra¹⁵. Platone (che scrive considerazioni analoghe anche in "Timeo", 62c) osserva che un fiume che scendesse fino al centro della Terra, continuando a muoversi in linea retta, si troverebbe in salita. Platone vuole illustrare la relatività del concetto di "basso" e "alto", mentre mancano totalmente nel "Fedone" e nel "Timeo" l'idea del principio di inerzia e quella che esistano diversi moti compatibili con la stessa forza. Manca anche l'idea che una forza possa mutare la velocità solo in

¹⁰ A. Koyré: *Etudes galiléennes*, Paris, 1966 (III, Introd.).

¹¹ Cfr. S. Sambursky: *The physical world of the Greeks*, London, 1956.

¹² Cfr. ad esempio gli atti del IV Convegno plutarco citati nella nota seguente.

¹³ Cfr. H. Görgemanns: *Untersuchungen zu Plutarchs Dialog De facie in orbe lunae*, Heidelberg, 1970; L. Torraca: *L'astronomia lunare in Plutarco*, in "Plutarco e le scienze", Genova, 1992 (atti del IV Convegno plutarco tenuto a Genova - Bocca di Magra dal 22 al 25 aprile 1991). Questo lavoro contiene anche una aggiornata bibliografia sull'argomento.

¹⁴ Cfr. K. Reinhardt: *Kosmos und Sympathie*, Munich, 1926.

¹⁵ *Plutarch's Moralia*, ed. cit., vol. XII, p. 65.

direzione. Mancano cioè tutte le idee nuove che rendono interessanti dal punto di vista scientifico i brani che abbiamo riportato. Mentre è possibile che la fonte di Plutarco avesse presente i passi di Platone nello scegliere i suoi esempi, si può quindi escludere che tale fonte fosse Platone.

3. Altre testimonianze sulla teoria riferita da Plutarco.

Alcune informazioni sulla teoria riferita da Plutarco possono ottenersi confrontando il brano che abbiamo esaminato con varie altre testimonianze.

Si può notare innanzitutto che le opere conservate di Archimede non contengono nulla di analogo alle idee dinamiche esposte nel "De facie". Poiché la teoria può avere evidentemente delle importanti applicazioni alla balistica, possiamo cercare delle informazioni nelle opere tecniche sulle armi da getto. Nei *Belopoiika* di Filone di Bisanzio, in particolare, si parla di ricerche sulla caduta dei gravi. Filone riferisce che le ricerche di balistica erano attive essenzialmente in due centri, Alessandria e Rodi, e discute in dettaglio il problema della dipendenza del tempo di caduta dal peso del grave. Filone accenna alla possibilità che la differenza tra i tempi di caduta possa dipendere dalla diversa capacità dei corpi di fendere l'aria; questa possibilità è però riferita solo come una delle opinioni possibili ed è rifiutata. Nel testo dei *Belopoiika* i termini φορά e φέρω non sono usati come nel brano di Plutarco e non è rintracciabile alcun riferimento al principio di inerzia. Data la natura dell'argomento trattato, sembra ragionevole dedurre che tale principio fosse sconosciuto a Filone. Poiché si suppone che l'opera di Filone sia databile intorno alla fine del III secolo a.C., possiamo considerare probabile che la teoria riferita da Plutarco sia successiva a questa data.

Anche se le idee dinamiche riferite da Plutarco sono lontane da quella che viene generalmente considerata la fisica "antica", è importante notare che la testimonianza di Plutarco non è affatto isolata. Idee molto simili appaiono infatti (oltre che in varie testimonianze sull'astronomia ellenistica di cui ci occuperemo più avanti) sia nella *Meccanica* di Erone che nei *Problemi meccanici* pseudo-aristotelici.

In queste due opere sono contenute delle esposizioni (così simili tra loro da suggerire l'uso di una fonte comune) della cosiddetta "regola del parallelogramma" per la composizione degli spostamenti¹⁶. Osserviamo che si tratta di una regola indispensabile per determinare il moto di un corpo sottoposto ad una φορά, nel senso in cui Plutarco usa questa parola. Nei *Problemi meccanici* la regola viene usata proprio per una parziale formalizzazione matematica del primo esempio di Plutarco: vi si spiega infatti come un moto circolare uniforme possa essere ottenuto sovrapponendo uno spostamento παρά φύσιν verso il centro al moto κατά φύσιν lungo la tangente¹⁷. Il fatto che solo un moto rettilineo sia considerato κατά φύσιν corrisponde esattamente alla terminologia usata da Plutarco e fornisce un'importante conferma dell'esistenza di un'antica dinamica basata su quello che successivamente fu chiamato "principio d'inerzia".

Osserviamo che il principio di inerzia è apparentemente contraddetto dalla necessità di esercitare una forza per spostare dei gravi su un piano orizzontale ed è

¹⁶ (pseudo) Aristotele: *Problemi meccanici*, 848b; Erone: *Meccanica*, I, viii.

¹⁷ (pseudo) Aristotele: *Problemi meccanici*, 849a.

enunciabile se e solo se tra le forze possibili si introducono gli attriti. L'introduzione del concetto di attrito è cioè inscindibilmente legata all'enunciato del principio di inerzia.

Nella *Meccanica* di Erone si usa chiaramente il concetto di attrito¹⁸ e si afferma:

Nous démontrerons que les poids qui ont une telle position [posti cioè su un piano orizzontale privo di attrito] peuvent être mus par une force moindre que toute force donnée.¹⁹

Poiché Erone nel suo trattato si occupa solo di macchine per lo spostamento dei pesi non avremmo potuto aspettarci in quest'opera un enunciato più vicino di questo al principio di inerzia.

Poiché i brani considerati di Erone e dello pseudo-Aristotele, oltre ad essere legati tra loro dal parallelismo dell'esposizione della regola di composizione degli spostamenti, espongono ambedue idee necessariamente connesse al principio d'inerzia, possiamo considerare molto probabile che i due autori avessero usato una fonte che esponeva la stessa teoria accennata anche da Plutarco.

4. L'individuazione di Ipparco come fonte di Plutarco.

Il principale scopo di questo lavoro è quello di proporre la tesi che la fonte delle idee dinamiche riferite da Plutarco nel brano che abbiamo trascritto sia Ipparco, ed in particolare la sua opera perduta sulla gravità. Questa tesi è basata sulla convergenza di quattro ordini di elementi:

1. Un insieme di argomenti indiretti e di indizi che suggeriscono Ipparco come possibile fonte del brano.
2. Elementi positivi forniti da Plutarco stesso nel corso del dialogo.
3. Riscontri tra il brano di Plutarco ed il passo di Simplicio in cui si accenna all'opera di Ipparco sulla gravità.
4. Alcune testimonianze di Plinio e altri autori latini sull'astronomia di Ipparco.

Esaminiamo separatamente i diversi argomenti:

1. Le testimonianze esaminate nel paragrafo precedente fanno ritenere che la teoria che ci interessa sia successiva a Filone di Bisanzio e precedente a Erone di Alessandria, risalga cioè a un'epoca compresa tra la fine del III secolo a.C. e la metà del I secolo d.C.

La tradizione scientifica (ed in particolare astronomica) ellenistica si interrompe alla fine del II secolo a. C.²⁰. E' quindi molto improbabile che un'importante teoria

¹⁸ Erone, *Meccanica*, I, iv, 20-21.

¹⁹ Erone, *Meccanica*, I, iv, 20. Ho trascritto la traduzione francese di Carra de Vaux (extrait du Journal Asiatique, Paris, 1894) del testo arabo della *Meccanica*, di cui non abbiamo l'originale greco.

²⁰ Questa interruzione, dovuta evidentemente alle guerre di conquista di Roma, è spesso passata inosservata. Uno dei tanti modi per rendersene conto è quello di esaminare le date delle osservazioni astronomiche menzionate nell'Almagesto: esse sono distribuite sull'arco di quasi un millennio, con un vuoto di più di due secoli tra l'ultima osservazione citata di Ipparco (del 126 a.C.) e

dinamica applicabile all'astronomia e nota ad Erone possa essere successiva al II secolo a.C. Con ogni probabilità la teoria, essendo successiva a Filone di Bisanzio, risale quindi proprio al II secolo a.C.

Le idee riferite da Plutarco, nonostante il loro enorme rilievo scientifico, ci sono trasmesse da una tradizione molto esile. Esse sembrano ignote alla maggioranza degli scienziati attivi ad Alessandria in epoca imperiale: in particolare sono sconosciute sia a Tolomeo sia a Pappo. Questa circostanza sembra indicare che si tratti di idee che non avevano fatto in tempo ad essere assimilate dalla tradizione scientifica alessandrina prima dell'interruzione dell'attività scientifica ad Alessandria avvenuta nel 145-144 a.C., a causa della persecuzione di Evergete II. L'epoca più probabile per la loro origine sembra quindi essere la seconda metà del II secolo a.C.

La teoria accennata da Plutarco aveva unificato lo studio del moto dei gravi con quello di corpi celesti come la Luna, studiandoli entrambi come casi particolari di moti di corpi soggetti ad una ἐπι τὸ μέσον φορά. Può sorgere il sospetto che l'autore di una tale unificazione possa essere stato Ipparco: cioè il maggiore scienziato dell'epoca, i cui particolari interessi per la Luna sono ben documentati, attivo a Rodi, cioè, a quanto riferisce Filone di Bisanzio, proprio in quello che era stato il principale centro di studi di balistica.

Poiché sappiamo da Tolomeo che ai suoi tempi non tutte le opere di Ipparco erano disponibili ad Alessandria ²¹ e poiché, in particolare, l'opera di Ipparco sulla gravità non è menzionata né da Tolomeo né da altri studiosi alessandrini per secoli, la congettura che Ipparco sia l'autore della teoria riferita da Plutarco spiegherebbe bene l'esiguità della documentazione disponibile sulle idee dinamiche che ci interessano.

Alcune opere di Erone, ed in particolare la *Diottra*, suggeriscono che Erone conoscesse opere di Ipparco ignote a Tolomeo; sembra infatti che sia la diottra che il metodo esposto da Erone in quest'opera per misurare la distanza tra due città su diversi meridiani risalgano ad Ipparco e siano ignoti a Tolomeo ²². Osserviamo che la particolare conoscenza da parte di Erone di opere di Ipparco ignote ad altri studiosi alessandrini potrebbe non essere indipendente dalla ben nota familiarità di Erone con tradizioni scientifiche mesopotamiche. Poiché sappiamo delle relazioni commerciali tra Rodi ed il regno dei Seleucidi e degli importanti rapporti scientifici tra Ipparco ed astronomi mesopotamici ²³, si può pensare infatti che alcune delle

la prima successiva (un'osservazione di Agrippa del 92 d.C.). Non vi sono vuoti confrontabili in nessun altro periodo.

²¹ Tolomeo, dopo avere affermato che Ipparco non aveva elaborato teorie planetarie, aggiunge "almeno nelle opere giunte fino a noi" (*Almagesto*, IX, ii). Mi sembra che questa affermazione acquisti il suo pieno significato alla luce della circostanza che Ipparco aveva compilato una "lista delle proprie opere", nota a Tolomeo e da lui citata (*Almagesto*, III, i).

²² Tolomeo nella *Geografia* sostiene di essere il primo scienziato ad aver risolto il problema di misurare la distanza tra due città non poste sullo stesso meridiano. Il metodo esposto allo stesso fine da Erone, basato, per la differenza di longitudine, sulla differenza dei tempi locali di una stessa eclisse lunare, è attribuito ad Ipparco da Strabone.

²³ Ad esempio l'astronomo Seleuco di Seleucia sul Tigri, a quanto riferisce Strabone, era considerato da Ipparco un'autorità sull'argomento delle maree (Strabone, *Geografia*, I, i, 9). E' inoltre ben noto l'uso sistematico di dati astronomici mesopotamici da parte di Ipparco. Il fatto che l'astronomo Seleuco ci sia presentato da Plutarco come un seguace di Aristarco di Samo (Plutarco, *Platonicae*

opere di Ipparco, soprattutto se successive ai tragici avvenimenti del 145-144, avessero potuto conservarsi in Oriente meglio che in Egitto. L'opera di Ipparco sulla gravità (non menzionata, come abbiamo già osservato, da nessuno studioso alessandrino per molti secoli) è conosciuta da Alessandro di Afrodisia²⁴ e da Simplicio: cioè da due membri della scuola aristotelica originari entrambi dell'Asia Minore. Il fatto che la teoria accennata da Plutarco, ignota a Tolomeo e a Pappo, sembri nota ad Erone ed all'ignoto aristotelico autore dei *Problemi meccanici*, sembra suggerire una possibile correlazione tra la conoscenza di questa teoria e la conoscenza delle opere di Ipparco.

In definitiva, sulla base delle considerazioni precedenti, quella che l'autore della teoria accennata da Plutarco sia Ipparco può essere considerata una congettura allettante; se non altro tra i grandi nomi della scienza ellenistica Ipparco appare il maggiore indiziato.

2. Plutarco fornisce alcuni elementi positivi per l'identificazione della sua fonte. Innanzitutto egli nomina Ipparco nel *De facie*, attribuendogli esplicitamente una teoria ottica. È ancora più significativo che Plutarco, nello stesso dialogo, riporti anche diversi risultati scientifici certamente dovuti ad Ipparco senza nominarlo: in particolare Plutarco mostra di conoscere la possibilità di misurare la parallasse lunare²⁵ ed usa dati numerici contenuti nelle tavole lunari di Ipparco²⁶.

Il personaggio del *De facie* che nel brano trascritto deride, per i suoi "paradossi", la teoria dinamica che ci interessa è Lampria, che nel dialogo parla in prima persona. Lo stesso Lampria, rivolgendosi ad Apollonide (che nel dialogo di Plutarco rappresenta i "matematici"), afferma che la teoria delle deviazioni dei "raggi visuali" è al di là della sua portata ed anche di quella di Ipparco²⁷. Ipparco è quindi individuato come il principale avversario nel corso della stessa polemica antiscientifica cui appartengono le osservazioni sui "paradossi" della teoria che ci interessa.

3. Elementi, a mio parere, decisivi sono forniti da Simplicio, che ci informa che Ipparco aveva scritto un'opera sulla gravità dal titolo *Περὶ τῶν διὰ βαρύτητα κάτω φερομένων* (*Sui [corpi] spinti verso il basso a causa della gravità*)²⁸. Plutarco si esprime più volte in questi termini: quelli del masso, delle meteore e del fiume sono citati proprio come esempi di corpi *κάτω φερομένοι* (*spinti verso il basso*) a causa della gravità. Anche se Lampria introduce la teoria parlando non di "spinta verso il

quaestiones, VIII, i) conferma che anche nel campo dell'astronomia i rapporti tra la scienza mesopotamica e quella sviluppata nei paesi più occidentali fossero reciproci.

²⁴ Come sappiamo dal passo di Simplicio citato più avanti (nel quale Simplicio riporta obiezioni sollevate da Alessandro di Afrodisia contro la teoria di Ipparco).

²⁵ Come osservato da Neugebauer, Plutarco, subito prima di nominare Ipparco, osserva che la parallasse della Luna non è trascurabile, osservazione che sappiamo risalire ad Ipparco. Il passo sulla parallasse della Luna era stato mal tradotto da Cherniss ed il senso della frase è stato chiarito da Neugebauer (O. Neugebauer, *A History of ancient mathematical Astronomy*, Berlin-Heidelberg-New York, 1975, p. 661).

²⁶ Cfr. R. Flacelière, *Plutarque et les éclipses de lune*, "REA" 53, 1951, p. 217; H. Cherniss: *Notes on Plutarch's De facie in orbe lunae*, "Class. Phil.", xvi (1951), p. 145; L. Torraca: art. cit., p. 244.

²⁷ Plutarco: *De facie...*, 4 (*Moralia*, 921 D).

²⁸ Simplicio, *Comment. in Aristot. de caelo*, in *Commentaria in Aristotelem Graeca*, Berlin, 1882-1909, vol. VII, p. 264, 25-26.

basso", ma di "spinta verso il centro" (ἐπὶ τὸ μέσον φορά), lo stesso Lampria critica poi a lungo l'identificazione di un unico punto incorporeo (cioè il centro) con il "basso" (κάτω) ²⁹.

Simplicio accenna alla teoria di Ipparco applicandola al caso del moto di un corpo lanciato verticalmente verso l'alto. Anche se il linguaggio di Simplicio è purtroppo puramente qualitativo, è comunque chiaro che la teoria di Ipparco cercasse di spiegare perché il moto fosse prima diretto verso l'alto con velocità decrescente e poi, verso il basso, con velocità crescente.

A questo punto Simplicio afferma:

τὴν αὐτὴν δὲ αἰτίαν ἀποδίδωσι καὶ τῶν ἄνωθεν ἀφιεμένων.
([Ipparco] riconosce la stessa causa anche per i corpi lasciati cadere dall'alto). ³⁰

La teoria di Ipparco trattava quindi allo stesso modo il moto di un grave lanciato verso l'alto o verso il basso. Questa unificazione diviene facilmente comprensibile se si suppone che Ipparco, oltre ad usare la stessa terminologia riferita da Plutarco, le avesse dato anche lo stesso significato: è chiaro infatti che nei due casi la φορά di Plutarco (ossia, con il linguaggio moderno, l'accelerazione) non cambia, essendo in particolare sempre diretta verso il basso. Naturalmente solo una teoria nella quale i principali enti studiati non sono le velocità ma le loro variazioni può unificare il trattamento dei due moti. D'altra parte la stessa conclusione è suggerita anche dal brano precedente, nel quale Simplicio, riferendo la descrizione di Ipparco del moto del corpo lanciato verso l'alto, aveva insistito sulle variazioni della velocità del corpo.

Un altro passo di Simplicio è particolarmente utile:

περὶ δὲ τοῦ βάρους τὰ ἐναντία τῷ Ἀριστοτέλει φησὶν ὁ Ἰππαρχος· βαρύτερα γὰρ φησι καὶ τὰ πλέον ἀφεστῶτα.

(Anche a proposito del peso Ipparco contraddice Aristotele; egli afferma infatti che i corpi siano tanto più pesanti quanto più sono allontanati [dal centro della Terra].) ³¹

L'affermazione di Ipparco appare inspiegabile se viene riferita a piccoli spostamenti sulla superficie della Terra: non abbiamo certo l'impressione di rendere più pesanti i corpi sollevandoli; l'accelerazione dei gravi in caduta può suggerire piuttosto l'idea opposta (che era stata effettivamente sostenuta da Aristotele). Ipparco doveva quindi riferirsi a variazioni di peso rilevabili solo per variazioni apprezzabili della distanza dal centro della Terra. Se però pensiamo a corpi a grande distanza dalla Terra, l'affermazione di Ipparco appare ancora più strana ³².

²⁹ Plutarco: "De facie...", 10-11 ("Moralia", 925 E e 926 A-B).

³⁰ Simplicio: op. cit., p. 265, 3-4.

³¹ Simplicio: op. cit., p. 265, 9-11.

³² Si potrebbe immaginare l'esistenza di una teoria secondo la quale la Terra attirerebbe i corpi con una forza di richiamo di tipo elastico, che aumenta all'aumentare della distanza. Sembra però estremamente improbabile che Ipparco potesse avere avuto un'idea simile; infatti una tale teoria implica conseguenze astronomiche (che non potevano sfuggire ad Ipparco) lontane sia dal pensiero tradizionale che dalla normale intuizione ed allo stesso tempo non si capisce quali fenomeni osservabili potrebbero essere spiegati in questo modo.

Vi è un solo modo per renderla comprensibile: quello di supporre che Ipparco parlasse del peso di corpi all'interno della Terra, peso che effettivamente diminuisce all'avvicinarsi del corpo al centro (fino ad annullarsi quando il centro è raggiunto)³³. Dobbiamo quindi dedurre che nell'opera di Ipparco si studiasse anche il moto di corpi "spinti verso il basso a causa della gravità" all'interno della Terra (e per i quali le distanze percorse non fossero trascurabili rispetto alla distanza dal centro). E' proprio questo il caso del masso, delle meteore e della corrente d'acqua considerati nel brano di Plutarco. Poiché l'altro esempio di Plutarco riguarda il moto della Luna, argomento sul quale Ipparco è certamente la principale fonte del dialogo³⁴, e d'altra parte Ipparco è anche nominato esplicitamente, la conclusione che Plutarco avesse derivato (eventualmente indirettamente) anche i "paradossi" del brano che ci interessa dall'opera di Ipparco è a questo punto inevitabile.

4. Un'importante conferma della conclusione raggiunta nel punto precedente è fornita da Plinio: nella *Naturalis Historia* cita Ipparco come prima fonte straniera dell'esposizione astronomica contenuta nel II libro della sua opera e gli riserva reiterati ed entusiastici elogi. In particolare Plinio si lamenta che dopo Ipparco non vi fosse stato nessuno in grado di raccogliergli l'eredità scientifica (N.H., II, 95). Poiché Plinio considera la teoria del moto dei pianeti superiori particolarmente geniale³⁵ e relativamente recente (egli afferma di divulgarla per primo), dobbiamo dedurre che la teoria fosse quella di Ipparco. E' quindi particolarmente interessante l'affermazione di Plinio che i pianeti sono deviati dal moto rettilineo dalla forza del Sole (*Naturalis Historia*, II, 69). Plinio riferisce, cioè, applicandolo ai pianeti, esattamente lo stesso argomento esposto da Plutarco nel caso della Luna. Le stesse idee appaiono anche in passi di Seneca, di Vitruvio e di Lucrezio, sempre in riferimento al moto dei pianeti³⁶. Osserviamo che, poiché dopo la cessazione dell'attività scientifica ad Alessandria vi era stato un lungo periodo di pace e di buoni rapporti tra Roma e Rodi, non può stupire troppo che alcune idee di Ipparco avessero avuto più echi nella Roma del I secolo a.C. (epoca, oltre che di Lucrezio e di Vitruvio, anche della fonte di Seneca e probabilmente di Plinio) che nell'Alessandria del II secolo d.C.

La tesi qui esposta può avere importanti conseguenze sulla storia dell'astronomia ellenistica. Infatti si è pensato in genere che Ipparco nella sua opera sulla gravità si

³³ Il fenomeno della diminuzione del peso al diminuire della distanza dal centro della Terra è naturalmente chiaro in ogni teoria che riduca la gravità ad una attrazione reciproca tra corpi. Rimandando ad altra sede l'analisi delle testimonianze che sembrano dimostrare la presenza di una teoria di questo tipo (lontana dalla concezione aristotelica della gravità) nella scienza ellenistica, osserviamo solo che, anche senza possedere teorie del genere, l'annullarsi del peso nel centro della Terra è comunque ovvio per simmetria ed è naturale pensare che un piccolo spostamento dal centro non possa portare a bruschi salti nel peso dei corpi.

³⁴ Come è dimostrabile nei casi, cui abbiamo già accennato, della parallasse lunare e dei valori numerici attinti alle tavole lunari.

³⁵ Secondo Plinio (N.H., II, 67) si trattava di una "subtilitas immensa".

³⁶ Queste testimonianze sono esaminate nei due successivi lavori contenuti in questo stesso fascicolo del "Bollettino".

fosse occupato solo del moto dei gravi sulla superficie terrestre³⁷. Le applicazioni riferite da Plutarco (relative tutte a corpi soggetti ad una ἐπὶ τὸ μέσον φορά, cioè, in termini moderni, ad una forza centrale) suggeriscono invece che la teoria sulla gravità di Ipparco fosse stata applicata subito all'astronomia; questa applicazione, confermata dalle testimonianze degli autori latini citati, può gettare una luce nuova sia sull'astronomia del II secolo a.C. che sull'interesse di scienziati come Newton per i passi di Plutarco.

³⁷ Heath afferma però che "It is possible that even in this work Hipparchus may have applied his doctrine to the case of the heavenly bodies" (Heath: "History of Greek Mathematics", Oxford, 1921, vol. II, p. 256).