



Rendiconti  
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL  
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,  
Matematica e Scienze Naturali*  
141° (2023), Vol. IV, fasc. 1, pp. 251-256  
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-55-3

## La relazione fra massa ed energia ( $E = mc^2$ ) negli scritti di Gilbert N. Lewis

GIULIANO MORETTI – RINALDO CERVELLATI

Gruppo Nazionale Fondamenti e Storia della Chimica  
E.mail: giuliano.moretti@fondazione.uniroma1.it • rinaldo.cervellati@unibo.it

**Abstract** – We point out a peculiarity about the fundamental text by Gilbert N. Lewis and Merle Randall «Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances» first published in 1923, second edition published in 1961 revised by Kenneth S. Pitzer and Leo Brewer and published in Italian in 1970. In all the editions, in the paragraph entitled «The internal energy of a system», it is reported that the great discovery of Einstein,  $E = mc^2$ , embodied in the principle of relativity, may be derived by a simple demonstration – published by Lewis in 1908, reference reported in the text – independent of the principle of relativity. In this note we look at the Lewis' paper, and evidence that the demonstration assumed that the light quanta possess a mass against the experimental evidence and the theory of relativity. It is curious that no comments about the simple demonstration reported by Lewis in 1908 was added as a note in the 1961 and 1970 editions of text to highlight the fact that the correct demonstration was only due to Einstein.

**Keywords:** Energy and mass. Total energy of a system.  $E = mc^2$ . Light quanta. Principle of relativity

**Riassunto** – Si mette in evidenza una peculiarità presente nel fondamentale manuale di Gilbert N. Lewis and Merle Randall «Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances» pubblicato nel 1923, seconda edizione pubblicata nel 1961 a cura di Kenneth S. Pitzer e Leo Brewer, e pubblicata in italiano nel 1970. In tutte le edizioni, nel paragrafo dal titolo «The internal energy of a system», viene riportato che la grande scoperta di Einstein,  $E = mc^2$ , legata al principio di relatività, può in effetti essere derivata con una semplice dimostrazione – pubblicata da Lewis nel 1908, riferimento bibliografico riportato nel testo – indipendente dal principio di relatività. In questo contributo commentiamo la dimostrazione di Lewis, e mettiamo in evidenza che la dimostrazione assume che i quanti di luce (fotoni) posseggono una massa, contrariamente a quanto messo in evidenza dai risultati sperimentali e dalla teoria della relatività. È curioso che nessuna nota in relazione alla semplice derivazione di Lewis del 1908 è stata riportata nel testo nelle edizioni 1961 e del 1970 per evidenziare che l'unica dimostrazione corretta è quella riportata da Einstein.

**Parole chiave:** Energia e massa. Energia totale di un sistema.  $E = mc^2$ . Il quanto di luce. Principio di relatività

Questa nostra breve nota intende manifestare una curiosità in relazione al fondamentale manuale di Gilbert N. Lewis e Merle Randall «Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances» la cui I edizione è stata pubblicata nel 1923 [6].

Nel quarto capitolo della II edizione del manuale pubblicata nel 1961 e tradotta in italiano nel 1970 [6] (quinto capitolo nella I edizione del 1923) dal titolo “Il primo principio ed il concetto di energia”, nel paragrafo “L’energia interna di un sistema” troviamo il sottoparagrafo intitolato “Energia e massa” dove sono riportate le seguenti considerazioni:

*“Mentre la quantità di energia ceduta o ricevuta dall’ambiente circostante è una quantità facile da misurarsi, fino a poco tempo fa la determinazione dell’energia totale di un qualunque sistema materiale sembrava superare i limiti delle possibilità umane, e per scopi pratici è tuttora conveniente considerare indeterminata l’energia totale posseduta da un sistema. Tuttavia, è di grande interesse teorico notare che la scoperta di Einstein (Nota 1 a piè pagina: A. Einstein, Ann. Physik, **18**, 639 [1905]) implicita nel principio di relatività ci mostra che qualunque guadagno (o perdita) di energia da parte di un sistema è accompagnato da un corrispondente guadagno (o perdita) di massa, (Nota 2 a piè pagina: Per una dimostrazione semplice di tale affermazione, indipendentemente dal principio di relatività, v. G.N. Lewis, Phil. Mag., **16**, 705 (1908); Science, **30**, 84 [1909]) e quindi che l’energia totale di ogni sistema è misurata semplicemente dalla sua massa.*

*In altre parole, massa ed energia sono diverse misure della stessa grandezza, espressa in unità differenti, ed il principio di conservazione dell’energia non è altro che il principio di conservazione della massa. Le unità di misura sono in realtà molto diverse come ordine di grandezza, differendo per il quadrato della velocità della luce, cosicché 1 g corrisponde a  $9 \times 10^{20}$  erg. Ciò ci dice che anche la più grande quantità di energia svolta nelle ordinarie reazioni chimiche produce variazioni di massa che sono molto al di sotto dei limiti di sensibilità della bilancia più precisa.*

*Invece, le variazioni di massa associate alle grandi quantità di energia coinvolte nelle reazioni e trasformazioni nucleari sono grandi abbastanza da essere pesate. Le sostanze che partecipano ad una reazione nucleare subiscono, dunque, una diminuzione di energia interna (quando viene emessa energia), e la somma dei pesi atomici dei prodotti è sensibilmente più piccola della somma dei pesi atomici delle sostanze di partenza. Per es., dato che un grammo-atomo di elio pesa 0,029 g meno di 4 grammo-atomi di idrogeno, possiamo calcolare*



*Questa enorme quantità di energia (circa 1 milione di milioni di calorie per mole di elio) è ritenuta la principale sorgente di energia solare”.*

L’articolo originale di Lewis [7], senz’altro di interesse, parte dall’assunzione che la luce ha una massa e quindi non può ritenersi completamente corretto alla luce della teoria della relatività. In altre parole, l’unica derivazione corretta della formula  $E = mc^2$  è quella di Einstein del 1905, ottenuta come risultato principale della teoria della relatività ristretta. Einstein continuò a ideare e pubblicare semplici derivazioni della sua formula, negli anni 1906, 1907, 1912 e 1946, ricorrendo a esperimenti mentali o ad abili stratagemmi teorici. Comunque, la dimostrazione rigorosa della formula  $E = mc^2$  richiede un po’ di formalismo, cioè l’uso del vettore energia-quantità di moto nello spazio-tempo, diverso dal concetto di vettore della meccanica classica che ha solo caratteristiche spaziali.

Nonostante ciò, i passaggi matematici dell’articolo di Lewis del 1908 nel Philosophical Magazine sono chiari e ben spiegati a dimostrare, possiamo intuire, che l’autore diceva di sé stesso: “sono un chimico e un fisico”.

Dobbiamo riconoscere che Lewis individua la questione di fondo legata alla derivazione della relazione  $E = mc^2$ : qual è la natura della luce? Nel 1926 propose che la luce fosse formata da elementi strutturali che nominò fotoni, insistendo sulla necessità di introdurre come nuova variabile il numero di fotoni [8]. Come sappiamo il termine fotone fu poi adottato dalla comunità dei fisici per indicare il quanto di luce. Ci sembra utile citare anche il successivo lavoro di Lewis e Tolman del 1909 che riprende l’idea del principio di relatività e della meccanica non newtoniana [9], anche in considerazione dei successivi importanti contributi di Tolman sull’argomento come la relazione fra relatività e termodinamica trattata in un suo testo [10], dedicato proprio a Lewis.

La nostra intenzione è quella commentare l’approccio di Lewis (superato già nel 1905 dalla derivazione basata sulla relatività ristretta, anche se pochi lo capirono nel primo decennio del 1900) e rimarcare che stranamente la nota relativa alla relazione  $E = mc^2$  riportata nella prima edizione manuale “Termodinamica”, che rimanda all’articolo di Lewis, rimase anche nella seconda edizione del 1961, rivista da Kenneth S. Pitzer e Leo Brewer, e nella traduzione italiana pubblicata nel 1970 (curata dal Dott. Giovanni Elefante) e presentata dal Prof. Alfonso Maria Liquori dell’Università di Roma [6].

L'articolo di Lewis [7] si intitola "A Revision of the Fundamental Laws of Matter and Energy".

Nella introduzione si cita la recente pubblicazione di Einstein del 1905 sulla relazione tra massa e energia. Lewis riporta che ha meditato su tale argomento da diversi anni. Recenti esperimenti basati sul fenomeno della radioattività sembrano indicare che la massa di un elettro-ne cambia con la velocità, e quindi mettono in dubbio la validità di alcune delle leggi di natura (la seconda legge della dinamica e la legge dell'energia cinetica, nelle cui espressioni la massa è una grandezza costante). Lewis propone quindi una nuova meccanica, consistente con tutti fatti sperimentali e che si basa sempre sulla validità delle tre grandi leggi di conservazione, cioè la legge di conservazione dell'energia, la legge di conservazione della massa e la legge di conservazione del momento.

L'articolo è diviso in tre sezioni con i seguenti titoli "The Relation of Mass to Energy", "Non-Newtonian Mechanics" e "Further Consequences of the Theory".

Nella prima sezione si riporta l'espressione della forza ( $f$ ) che agisce su un corpo nero sottoposto ad un raggio di luce. L'espressione è stata ottenuta da Maxwell come conseguenza della sua teoria elettromagnetica, e da Boltzmann per mezzo dell'applicazione diretta delle leggi della termodinamica. Tale relazione è

$$f = (1/V) dE/dt \quad (1)$$

dove  $V$  rappresenta la velocità della luce<sup>1</sup> e  $dE/dt$  la velocità con cui il corpo nero riceve energia.

Nichols e Hull hanno verificato la validità della relazione (1) [10].

Il raggio di luce trasporta non solo energia ma anche momento, quindi il corpo nero soggetto alla forza  $f$  acquista momento ( $M$ ) con la velocità

$$f = dM/dt \quad (2)$$

(Il simbolo usato oggi per indicare il momento lineare, più comunemente quantità di moto in italiano, è  $p$ , quindi nel testo da ora in poi si intende sempre  $M = p$ .)

Combinando le equazioni (1) e (2) otteniamo

$$dE/dM = V \quad (3)$$

Il rapporto tra l'energia acquisita e il momento acquisito è uguale alla velocità della luce. Il raggio di luce deve possedere energia e momento secondo lo stesso rapporto, quindi

$$E/M = V \quad (4)$$

A questo punto Lewis scrive «To anyone unfamiliar with the prevailing theories of light, knowing only that light moves with a certain velocity and that in a beam of light momentum and energy are being carried with this same velocity, the natural assumption would be that in such a beam *something possessing mass moves with the velocity of light and therefore has momentum and energy*. Notwithstanding its apparent divergence from commonly accepted light theories, I propose to adopt this view and see whither it leads».

Postulando la validità delle leggi di conservazione riportate sopra si deduce che la luce possiede una massa che si muove alla velocità  $V$ . (Si noti che il simbolo usato per indicare la velocità della luce è da molti anni la lettera  $c$ , quindi nel testo da ora in poi si intende sempre  $V = c$ .)<sup>1</sup> Di conseguenza un corpo che assorbe energia radiante incrementa la sua massa.

La quantità di moto di una massa  $m$  di luce sarà

$$M = mV \quad (5)$$

L'incremento del momento del corpo che assorbe la radiazione sarà quindi

$$dM = V dm \quad (6)$$

Combinando le equazioni (6) e (3) otteniamo

$$dm = dE/V^2 \quad (7)$$

( $V = 3 \times 10^{10}$  cm/s quindi  $dm = 1,111 \times 10^{-21} dE$ , con  $m$  in grammi e l'energia  $E$  in erg)

A questo punto Lewis fa la stessa affermazione di Einstein: se un corpo perde una data quantità di energia perderà di conseguenza una definita quantità di massa, in altre parole la massa di un corpo è la diretta misura della sua energia totale in accordo con l'equazione

$$m = E/V^2 \quad (8)$$

Lewis nota che l'equazione (8) è stata anche ottenuta da Einstein utilizzando le equazioni generali della teoria elettromagnetica con l'aiuto del cosiddetto principio di relatività. Inoltre, afferma che la derivazione di Einstein è approssimata mentre le formule (7) e (8) sono equazioni esatte.

Il collega Stefano Siboni, fisico e storico della fisica dell'Università di Trento, conferma che nel primo articolo di Einstein del 1905 [1] l'equazione (8) si ottiene per approssimazione ed inoltre, secondo alcuni autori, l'articolo sarebbe viziato da un problema di "ragionamento circolare". Si tratta comunque di una relazione

<sup>1</sup> Einstein stesso usò la lettera  $V$  fino al 1907 e da allora in poi la lettera  $c$ , la stessa lettera usata nella teoria di Maxwell per indicare la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche.

approssimata ottenuta usando l'espressione classica dell'energia cinetica per un punto materiale. Derivazioni corrette vennero pubblicate da Einstein nel 1906 [2] e 1907 [3]. Tali articoli sono comunque precedenti l'articolo di Lewis del 1908, dove non vengono neppure citati: Lewis non conosceva questi contributi di Einstein oppure li ha volutamente ignorati?

La seconda sezione, "Non-Newtonian Mechanics", inizia con un notevole commento di Lewis relativo alla natura dello spazio. La geometria euclidea potrebbe non essere valida sia per descrivere l'immenso spazio interstellare sia lo spazio all'interno di un atomo o di un elettrone. (Einstein presenterà la relatività generale nel 1916 e non si parla ancora di galassie.) Come la geometria euclidea anche la meccanica classica (newtoniana) potrebbe essere modificata, ed in effetti i risultati della sezione precedente suggeriscono che la massa di un corpo è proporzionale al suo contenuto di energia. Se un corpo è in moto guadagna energia cinetica e di conseguenza la sua massa deve cambiare in funzione della sua velocità. Questo fatto suggerisce la fondazione di una nuova meccanica non-newtoniana, in cui in tutte le relazioni dove è presente la massa, intesa come costante, si sostituisce la massa derivata dell'equazione (7). Lewis riporta le seguenti relazioni per descrivere le variazioni infinitesime del momento lineare  $dM$  e dell'energia cinetica  $dE'$  di un corpo sottoposto all'azione di una forza costante nella direzione contraria al moto, nell'intervallo infinitesimo di tempo  $dt$  e nell'intervallo infinitesimo di lunghezza  $dl$

$$dM = f dt \quad (9)$$

$$dE' = f dl \quad (10)$$

L'equazione (9) è equivalente alla seconda legge di Newton, con la massa di un corpo definita come rapporto del momento lineare e velocità

$$m = M(v)/v \quad (11)$$

Combinando le equazioni (9) e (10) insieme alla definizione di velocità,  $v = dl/dt$ , otteniamo

$$dE' = v dM \quad (12)$$

Considerando l'equazione (11) si ottiene l'equazione fondamentale che mette in relazione l'energia cinetica di un corpo con la sua massa e velocità

$$dE' = mv dv + v^2 dm \quad (13)$$

Lewis a questo punto usa l'equazione (7), sostituisce  $dE'$  con  $V^2 dm$  ed ottiene

$$V^2 dm = mv dv + v^2 dm \quad (14)$$

Possiamo riscrivere questa equazione nella forma

$$(1 - v^2/V^2) dm = mv dv/V^2 \quad (15)$$

Ponendo  $v/V = \beta$  e considerando la relazione  $-1/2 d(1 - \beta^2) = \beta d\beta$ , possiamo separare le variabili ed integrare l'equazione (15) per ottenere l'equazione generale che mette in relazione la massa di un corpo con la sua velocità

$$m/m_0 = 1/(1 - \beta^2)^{1/2} \quad (16)$$

Questa equazione, corretta anche da un punto di vista relativistico, prevede che per  $\beta \rightarrow 0$  (cioè  $v \rightarrow 0$ ) la massa diventa la massa del corpo a riposo,  $m \rightarrow m_0$ . Quando  $\beta \rightarrow 1$  (cioè la velocità del corpo tende alla velocità della luce) il rapporto  $m/m_0$  tende a infinito. Lewis osserva che solo quando un corpo ha velocità prossime a quelle della luce ( $V = 3 \times 10^{10}$  cm/s) dobbiamo usare l'equazione non-newtoniana, in tutti gli altri casi la massa del corpo risulta praticamente uguale alla massa a riposo e ricadiamo nella familiare meccanica newtoniana.

A questo punto Lewis riporta i risultati sperimentali di Kaufmann relativi alla misura del rapporto tra la carica elettrica e la massa ( $e/m$ ) di elettroni emessi a differente velocità da sostanze radioattive [4,5]. Considerando costante la carica elettrica, l'equazione (16) risulta verificata con un alto grado di accuratezza. Lewis nota che i valori di  $\beta$  osservati rispetto a quelli calcolati con l'equazione (16), usando il valore sperimentale  $m/m_0$ , sono in ogni caso più grandi per il 6-8% suggerendo un errore costante nei risultati di Kaufmann, comunque entro i limiti dell'errore sperimentale.

Nella parte finale dell'articolo Lewis riporta la più semplice e robusta evidenza a sostegno della sua meccanica non-newtoniana: la derivazione dell'equazione dell'energia cinetica.

L'equazione newtoniana  $E' = \frac{1}{2} mv^2$  deve essere sostituita da una equazione che si ottiene dalle equazioni (7) e (16). Dall'integrazione dell'equazione (7) otteniamo

$$m - m_0 = E'/V^2 \quad (17)$$

Il corpo con massa a riposo  $m_0$ , aumenta la sua velocità da  $v = 0$  alla velocità  $v$ , acquista energia (l'energia cinetica viene vista come una sorta di energia interna) e la sua massa diventa  $m$ . Combinando le equazioni (16) e (17), eliminando  $m_0$ , si ottiene l'equazione generale per l'energia cinetica di un corpo in movimento

$$E' = mV^2 [1 - (1 - \beta^2)^{1/2}] \quad (18)$$

Lewis afferma che le equazioni (11), (16) e (18) rappresentano la base della dinamica non-newtoniana, da

cui per  $\beta \rightarrow 0$  (valori della velocità trascurabili rispetto alla velocità della luce) si ottengono le equazioni della meccanica newtoniana. Infatti, espandendo in serie il binomio nell'equazione (18) ( $\beta^2 < 1$ ) si ottiene

$$E' = mV^2 (1/2 \beta^2 + 1/8 \beta^4 + \dots) \quad (19)$$

da cui trascurando i termini del quarto ordine e superiori otteniamo

$$E' = mV^2 (1/2 \beta^2) = 1/2 mv^2 \quad (20)$$

Lewis considera anche l'equazione (18) nel limite per  $\beta \rightarrow 1$  (valori della velocità prossimi alla velocità della luce) e conclude che

$$1/2 mv^2 < E' < mV^2 \quad (21)$$

La sezione termina rimarcando il fatto che qualsiasi massa che si muove alla velocità della luce ha momento  $M = mV$  ed energia cinetica  $E' = mV^2$ , che sono le stesse equazioni ottenute considerando il momento e l'energia di un raggio di luce, equazioni (5) e (8).

(Questa affermazione lascia perplessi in quanto se  $\beta = 1$  la massa del corpo materiale in accordo con l'equazione (16) tende a infinito.)

Nella terza sezione dell'articolo "Further Consequences of the Theory" Lewis dichiara che la teoria proposta ad un primo approccio sembra riproporre la vecchia teoria corpuscolare della luce. In effetti questo non rappresenta il punto principale, la nuova teoria vuole solo fornire conoscenze supplementari alle attuali teorie della luce con lo scopo di fornire una spiegazione meccanica completa ai fenomeni elettromagnetici e viceversa una spiegazione elettromagnetica dei fenomeni descritta dalla meccanica. Lewis sostiene che la sua teoria non implica necessariamente che la luce ha natura corpuscolare, un raggio di luce potrebbe avere anche una struttura continua non materiale nel senso comune del termine.

Riportiamo il commento finale di Lewis:

"According to the equation  $m/m_0 = 1/(1 - \beta^2)^{1/2}$  any body of finite mass increases in mass as it increases in velocity and would possess infinite mass if it could be given the velocity of light. Therefore that which in a beam of light has mass, momentum, and energy, and is travelling with the velocity of light, would have no energy, momentum, or mass if it were at rest, or indeed if it were moving with a velocity even by the smallest fraction less than that of light. After this extraordinary conclusion it would be

at present idle to discuss whether the same substance or thing which carries the radiation from the emitting body continues to carry it through space, or, indeed, whether there is any substance or thing connected with the process.

If we assume an aether pervading space, and assume that this aether possesses no mass except when it moves with the velocity of light, it is obvious that an aether drift could in no way affect a beam of radiation nor could it be detected by any mechanical means. If we are to assume such an aether we may as well assume it to be at rest".

Lewis conclude il suo articolo suggerendo che la meccanica non-newtoniana permette anche di distinguere tra moto assoluto e moto relativo nello spazio: "A body is absolutely at rest when any motion imparted to it increases its mass, or when a certain force will give it the same acceleration in any direction".

Da quanto sopra riportato e commentato risulta evidente che l'articolo di Lewis è senz'altro di interesse e in alcune parti in accordo con i risultati di Einstein. Comunque, solo la relazione generale della relatività ristretta

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 \quad (22)$$

descrive l'energia totale sia di un corpo materiale con quantità di moto  $p$  (momento  $M$  nel lavoro di Lewis) sia di un raggio di luce (fotoni di massa nulla). Nel caso del raggio di luce abbiamo  $m = 0$  ed energia  $E = pc$ . Per un corpo materiale a riposo abbiamo  $p = 0$  ed energia  $E = mc^2$  ( $m$  massa a riposo).

Stupisce un poco il fatto che la nota relativa alla relazione  $E = mc^2$  riportata nel manuale «Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances», che rimanda all'articolo di Lewis, rimase inalterata nella seconda edizione del 1961 (intitolata «Thermodynamics»), rivista da Kenneth S. Pitzer e Leo Brewer, e nella traduzione italiana pubblicata nel 1970. I curatori, a nostro avviso, avrebbero potuto aggiungere una breve nota per spiegare che quanto dichiarato da Lewis nel 1923 era stato ampiamente superato dalla relatività ristretta di Einstein.

### Ringraziamenti

Ringraziamo il revisore anonimo di questo contributo per le osservazioni e i costruttivi commenti che ci hanno permesso di migliorare il manoscritto.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] EINSTEIN Albert, 1905. Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? *Annalen der Physik*, 18, 639.
- [2] EINSTEIN Albert, 1906. Das Prinzip von der Erhaltung der Schwerpunktsbewegung und die Trägheit der Energie, *Annalen der Physik*, 20, 627.
- [3] EINSTEIN Albert, 1907. Über die vom Relativitätsprinzip geforderte Trägheit der Energie, *Annalen der Physik*, 23, 371.
- [4] KAUFMANN Walter, 1902. Die elektromagnetische Masse des Elektrons, *Physikalische Zeitschrift*, 4, 54.
- [5] KAUFMANN Walter, 1906. Über die Konstitution des Elektrons, *Annalen der Physik*, 19, 487.
- [6] LEWIS Gilbert Newton, Merle RANDALL, 1923. *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, McGraw-Hill Book Company, New York. La II edizione viene curata da Kenneth Sanborn Pitzer e Leo Brewer e pubblicata con il semplice titolo *Thermodynamics* nel 1961 sempre da McGraw-Hill Book Company, New York; la traduzione italiana della II edizione americana a cura di Giovanni Elefante, con presentazione di Alfonso Maria Liquori, viene pubblicata nel 1970 per i tipi di Leonardo edizioni scientifiche, Roma.
- [7] LEWIS Gilbert Newton, 1908. A Revision of Fundamental Laws of Matter and Energy, *Philosophical Magazine and Journal of Science (Sixth Series)*, 16, 705.
- [8] LEWIS Gilbert Newton, 1926. The conservation of Photons, *Nature (Letters)*, 118, 874.
- [9] LEWIS Gilbert Newton, Richard Chase TOLMAN, 1909. The Principle of Relativity, and Non-Newtonian Mechanics. *Philosophical Magazine and Journal of Science (Sixth Series)*, 18, 510.
- [10] NICHOLS Ernest Fox, Gordon Ferrie HULL, 1903. The pressure due to radiation, *Physical Review (Series I)*, 17, 26 e 17, 91.
- [11] TOLMAN Richard Chase, 1934. *Relativity Thermodynamics and Cosmology*, The Clarendon Press, Oxford, UK.