

E

R

G

O

B

U

M

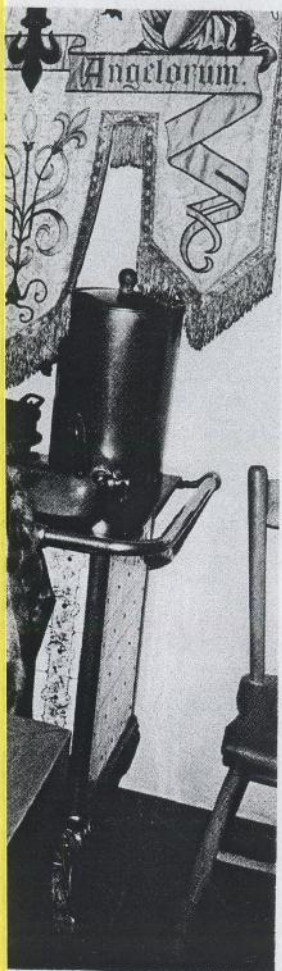


La proprietà dell'area di un buco nero di non diminuire mai ricordava molto da vicino il comportamento di una proprietà fisica chiamata **entropia**, la quale misura il grado di disordine di un sistema. È un dato di comune esperienza che, se si lasciano le cose a se stesse, il disordine tende ad aumentare. (Per rendersene conto, è sufficiente smettere di fare riparazioni in casa!) Si può creare ordine dal disordine (per esempio si può dipingere la casa), ma ciò richiede un dispendio di fatiche e di energia, cosa che conduce a una diminuzione dell'energia ordinata disponibile.





R



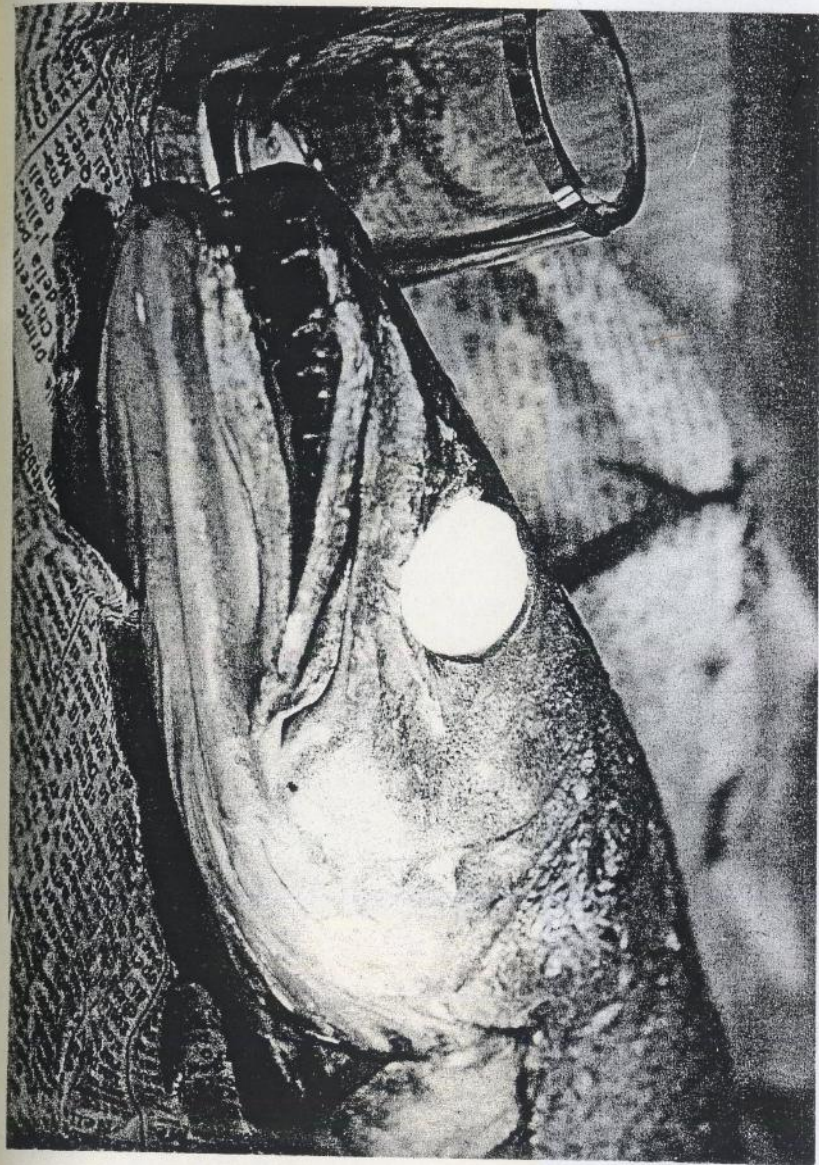
Ma un corpo con una particolare temperatura deve emettere radiazione a un certo ritmo. È un dato di esperienza comune che, se si riscalda un attizzatoio alla fiamma, esso diventa rovente ed emette radiazione, ma anche corpi a temperature inferiori emettono radiazione; normalmente non ce ne rendiamo conto solo perché la quantità di radiazione è troppo piccola. Questa radiazione è richiesta per impedire la violazione della seconda legge. Anche i buchi neri dovrebbero quindi emettere radiazione. I buchi neri sono però, per definizione, oggetti che non dovrebbero



Q




L'esistenza di una radiazione dei buchi neri sembra implicare che il collasso **gravitazionale** non sia così finale e irreversibile come pensavamo un tempo. Se un astronauta cade in un buco nero, la massa del buco nero aumenterà, ma infine l'equivalente in energia di quella massa extra sarà restituito all'universo sotto forma di radiazione. Così, in un certo senso, l'astronauta sarà «riciclato». Questo sarebbe però un tipo molto modesto di immortalità, giacché per l'astronauta qualsiasi concetto personale del tempo verrebbe

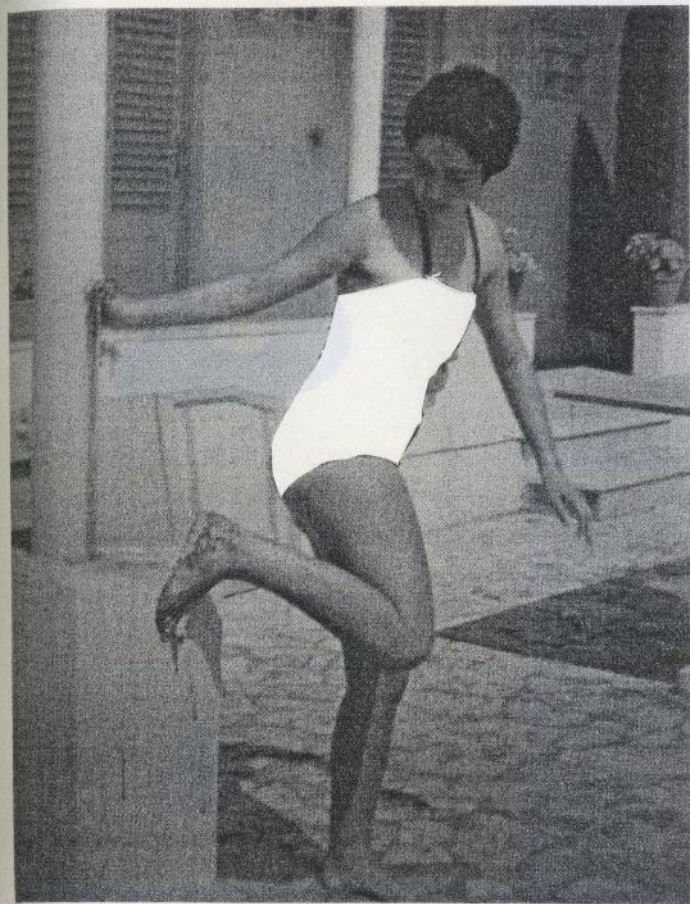




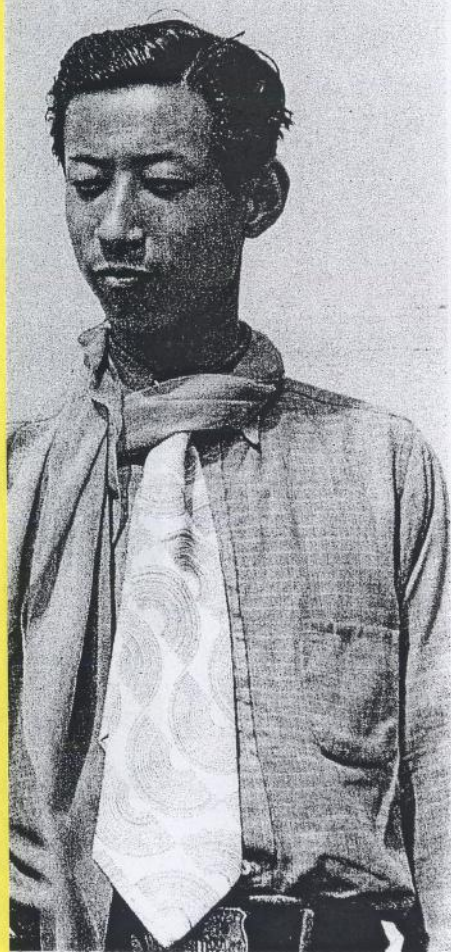




Ma se questi raggi di luce venissero inghiottiti dal buco nero, non potrebbero essere stati sul confine del buco nero. Perciò i raggi di luce nell'orizzonte degli eventi dovrebbero sempre muoversi paralleli fra loro, oppure dovrebbero allontanarsi fra loro. Un altro modo di considerare questa situazione consiste nel vedere l'**orizzonte** degli eventi — il confine del buco nero — come il margine di un'ombra, il margine del destino incombente. Se si guarda l'ombra proiettata da una sorgente lontana, come per esempio il Sole, si vedrà che



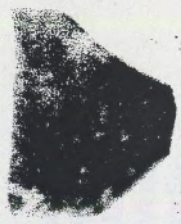
B



I BUCHI NERI NON SONO POI COSÌ NERI


Prima del 1970 la mia ricerca sulla relatività generale si era concentrata principalmente sul problema se ci fosse stata o no una singolarità del *big bang*. Una sera di novembre di quell'anno, poco tempo dopo la nascita di mia figlia Lucy, cominciai però a riflettere sui **buchì neri** mentre mi preparavo per andare a letto. La mia invalidità rende le operazioni relative piuttosto lente, cosicchè avevo molto tempo per pensare. A quell'epoca non c'era una definizione precisa di



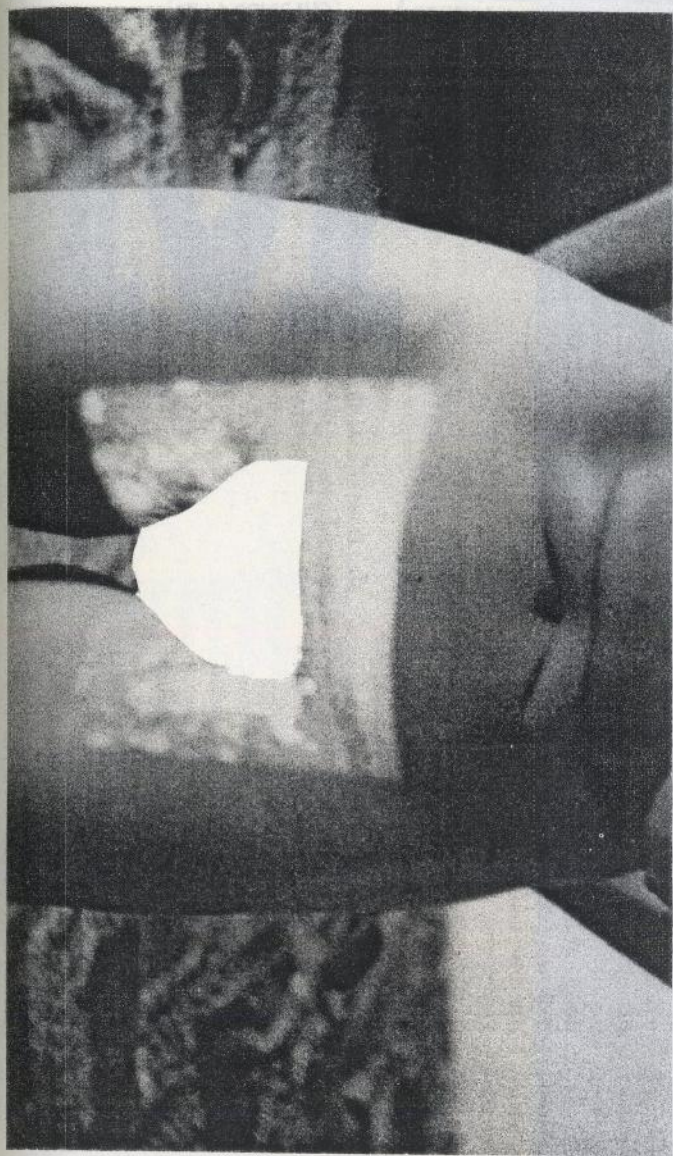


U





Quando anche la ricerca di buchi neri primordiali si rivelasse negativa, come sembra probabile, essa ci fornirebbe ciò nonostante informazioni importanti sulle primissime fasi dell'universo. Se l'universo primordiale fosse stato caotico o irregolare, o se la pressione di materia fosse stata bassa, ci si attenderebbe che fosse stato prodotto un numero di buchi neri primordiali molto superiore al limite già fissato dalle nostre osservazioni del fondo di raggi gamma. Solo se l'universo primordiale fu molto omogeneo e uniforme, e con una grande pressione di materia, diventa possibile spiegare l'assenza di un numero osservabile di buchi neri pri-



M



L'energia positiva della radiazione in uscita sarebbe controbilanciata da un flusso di particelle di energia negativa che cadono nel buco nero. Per l'equazione di Einstein $E = mc^2$ (dove E è l'energia, m la massa e c la velocità della luce), l'energia è proporzionale alla massa. Un flusso di energia negativa nel buco nero ne riduce perciò la massa. Man mano che il buco nero perde massa, l'area dell'oriz-

ACCESE!
L'OCI
TUTE LE
HANNO

AZZA GIOIA
E SI DIAMO PRO-

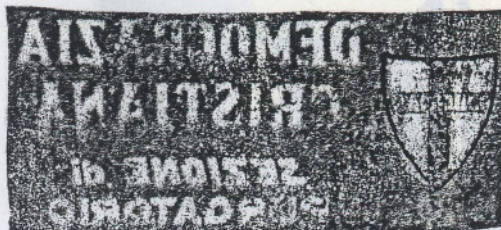
zonte degli eventi si rimpicciolisce, ma questa diminuzione dell'entropia del buco nero è più che compensata dall'entropia della radiazione emessa, così che la seconda legge non è mai violata.

Inoltre, quanto minore è la massa del buco nero, tanto più elevata è la sua temperatura. Così, man mano che il buco nero perde massa, la sua temperatura e il ritmo della sua emissione aumentano, con la conseguenza che esso perde massa ancor più rapidamente.



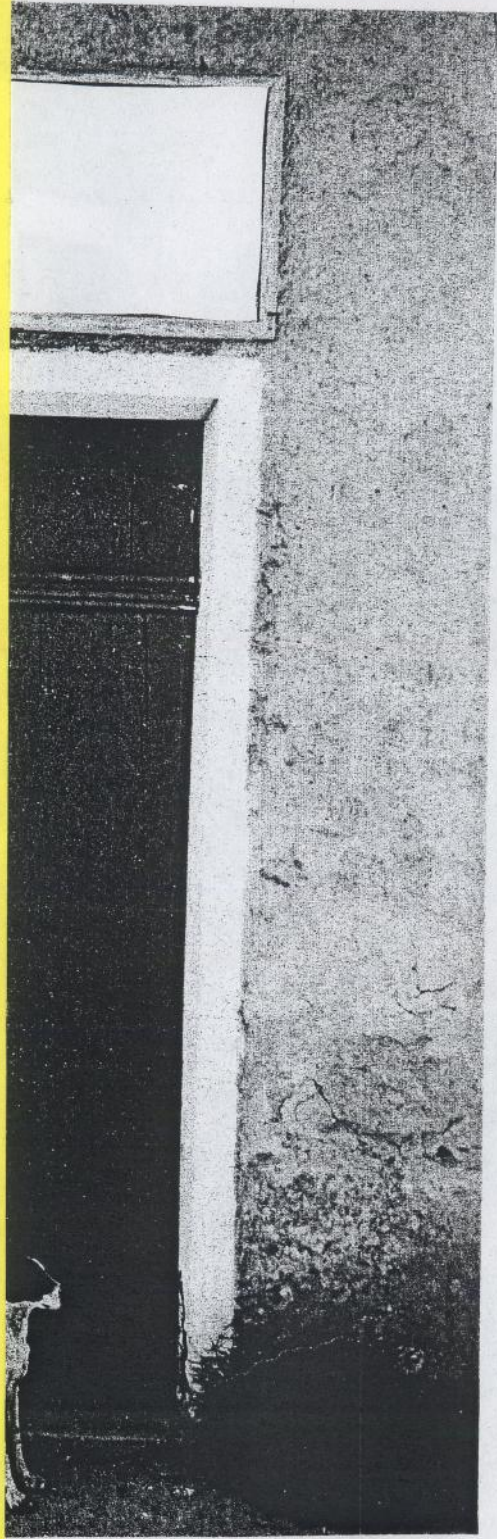


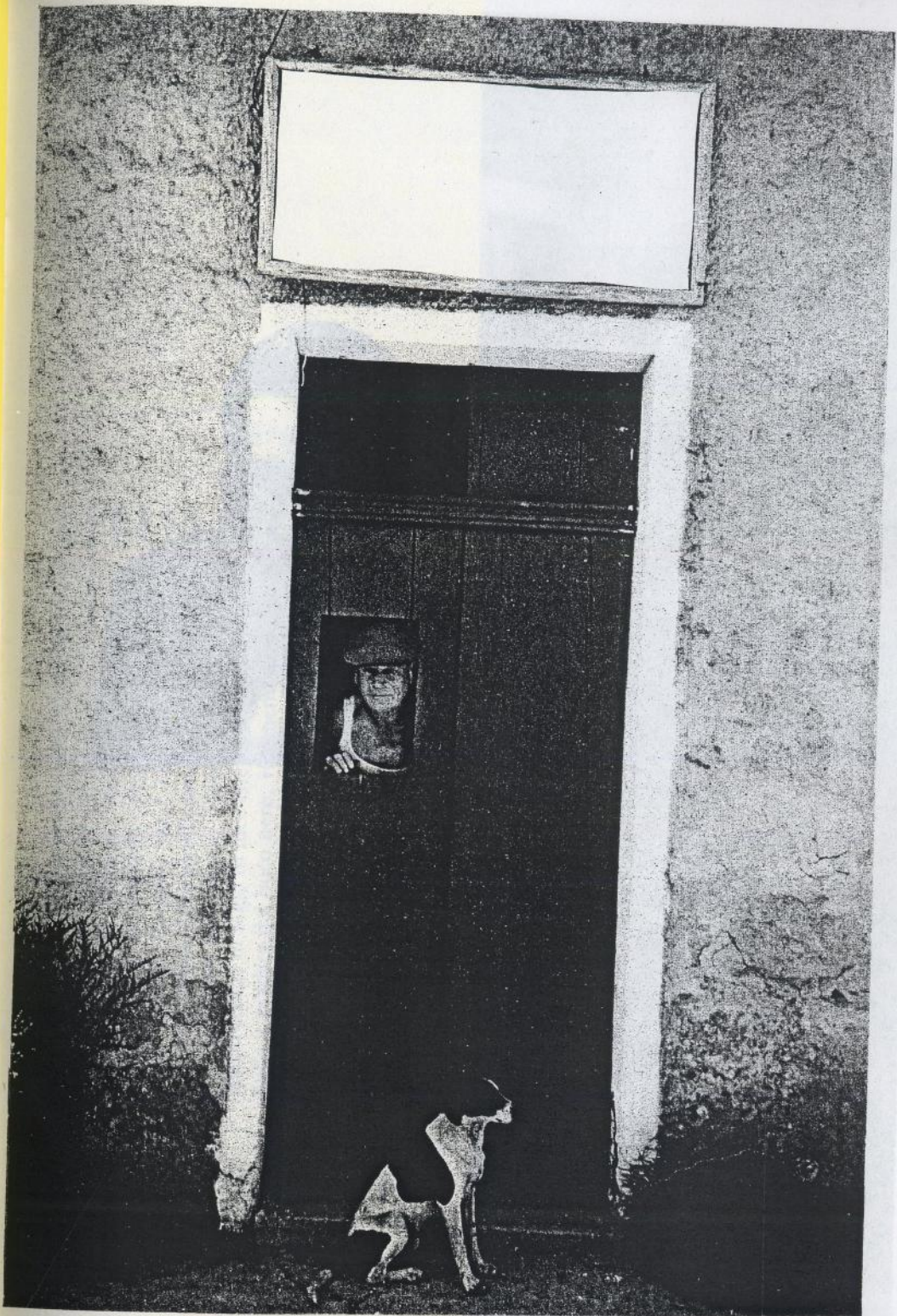
Il libro di una collezione dei fratelli tutti in il per
avvicino di una predizione dipendente la stessa causa
di entrambi le grandi serie di questo periodo, la quale
generale e le meccanica quantistica. In proposito, si
suggerisce anche approssimazioni, in questo caso, si pensa
venga applicata. Come è possibile che un libro come
questo?

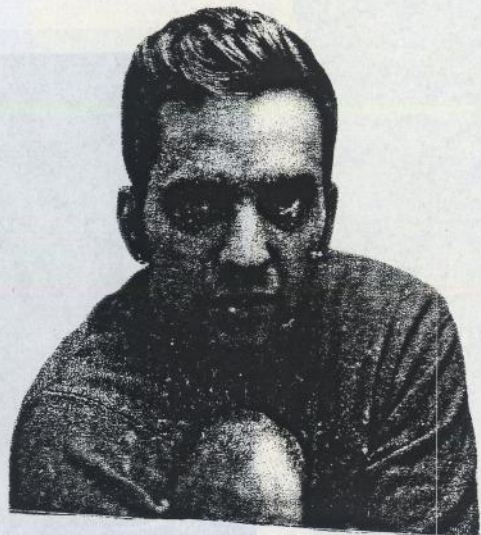


mordiali.

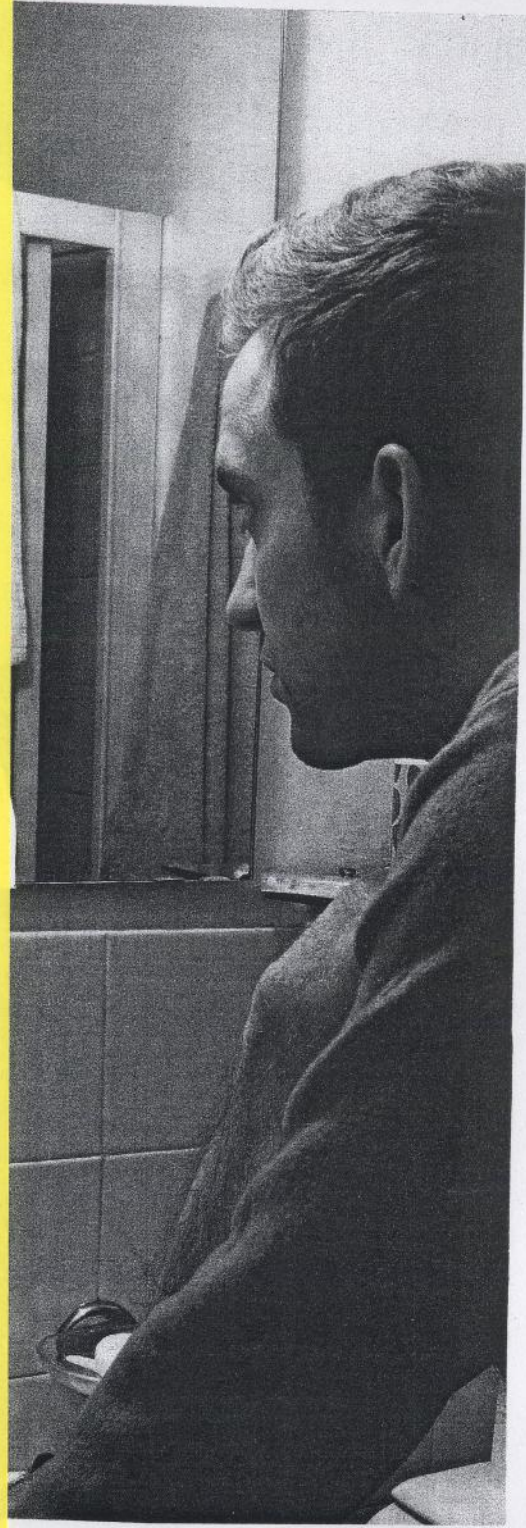
L'idea di una radiazione dei buchi neri fu il primo esempio di una predizione dipendente in modo essenziale da entrambe le grandi teorie di questo secolo, la relatività generale e la meccanica quantistica. In principio quest'idea suscitò molte opposizioni, in quanto sconvolgeva il punto di vista esistente: «Com'è possibile che un buco nero emetta qualcosa?».

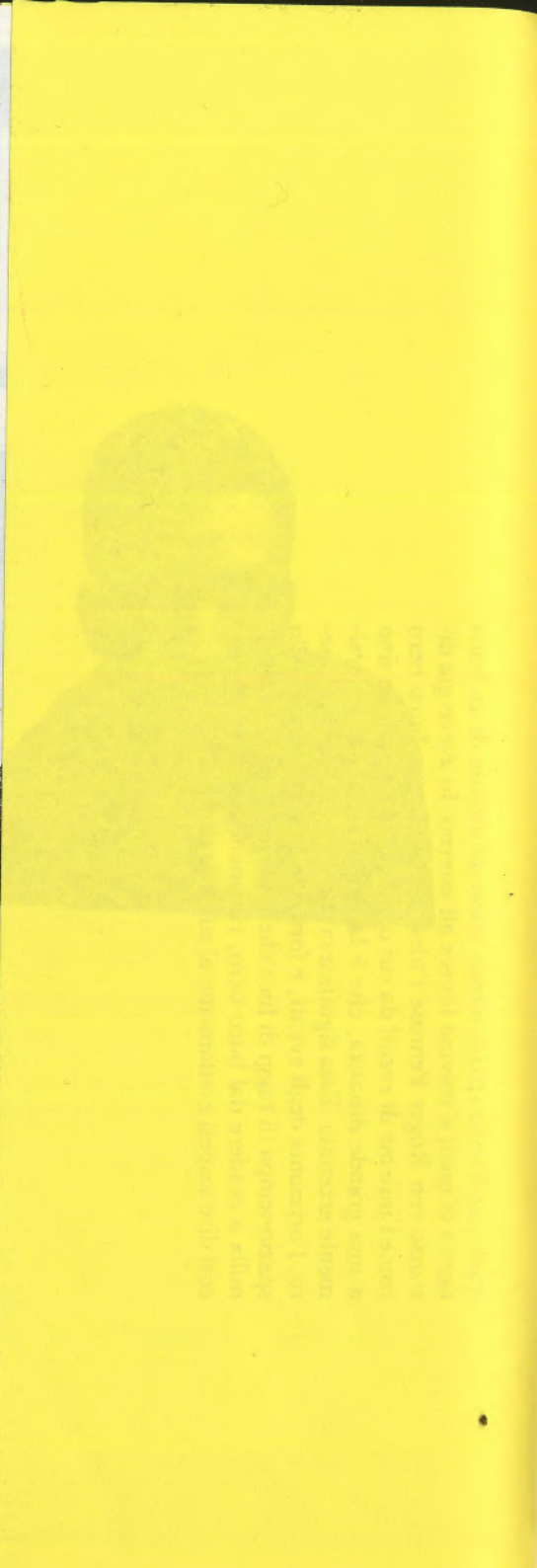
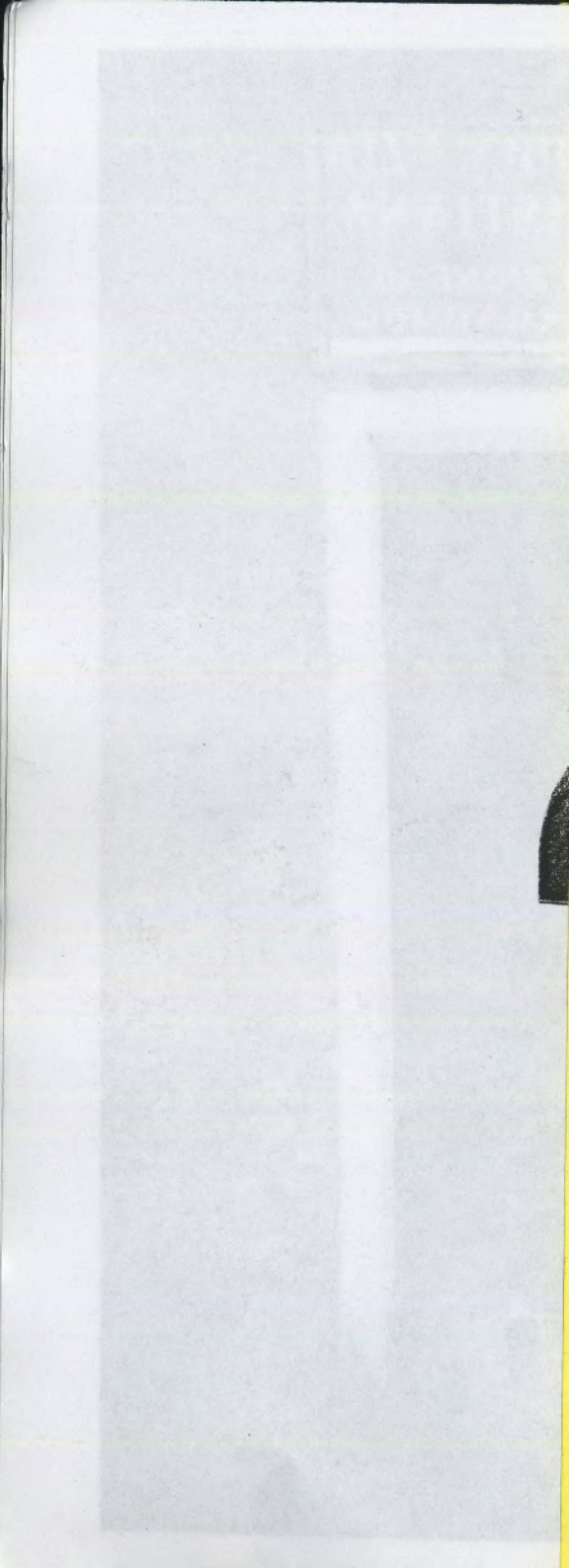


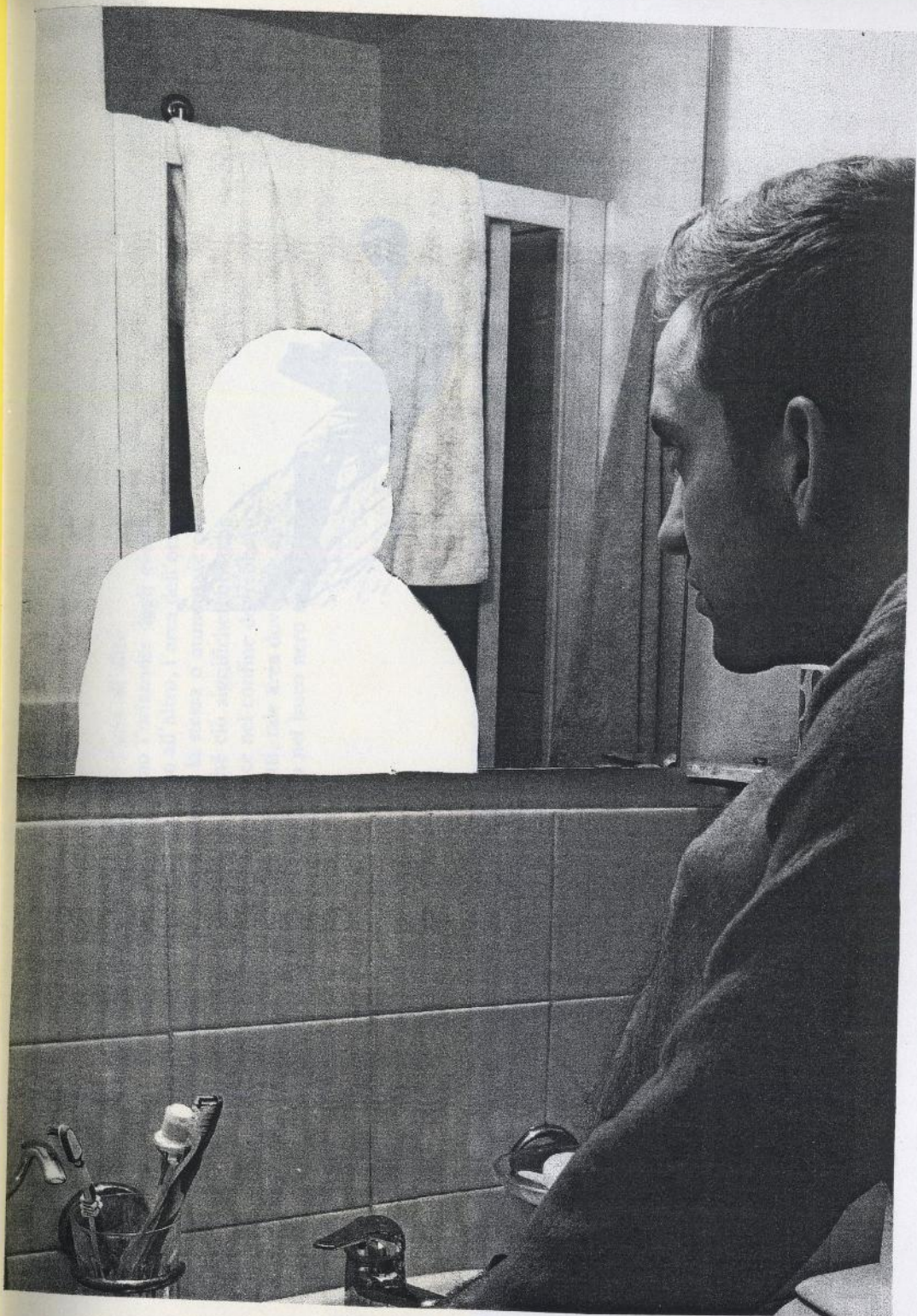




quali punti nello spazio-tempo siano all'interno di un buco nero e di quali si trovino invece all'esterno. Io avevo già discusso con Roger Penrose l'idea di definire un buco nero come l'insieme di eventi da cui non è possibile sfuggire sino a una grande distanza, che è la definizione oggi generalmente accettata. Essa significava che il confine del buco nero, l'orizzonte degli eventi, è formato dalle traiettorie nello spazio-tempo di raggi di luce che non riescono per un non-nulla a evadere dal buco nero, rimanendo per sempre per così dire sospesi esattamente al suo margine



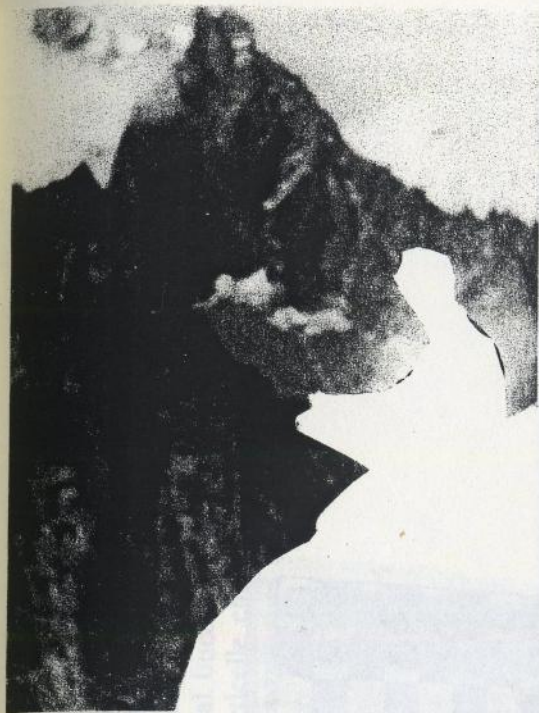




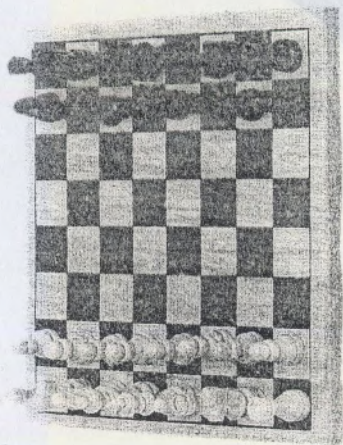


i raggi al bordo non si avvicinano l'uno all'altro.

Se i raggi di luce che formano l'orizzonte degli eventi non possono mai avvicinarsi l'uno all'altro, l'area dell'orizzonte degli eventi può rimanere la stessa o aumentare col tempo, ma mai diminuire, poiché ciò significherebbe che almeno una parte dei raggi di luce nel confine dovrebbero avvicinarsi l'uno all'altro. In effetti, tale area dovrebbe aumentare ogni volta che cadessero nel buco nero materia o energia

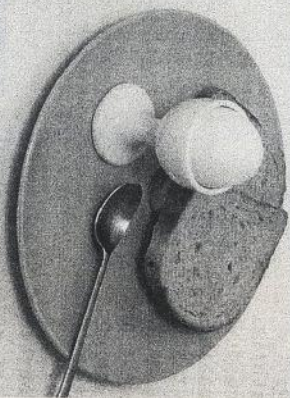
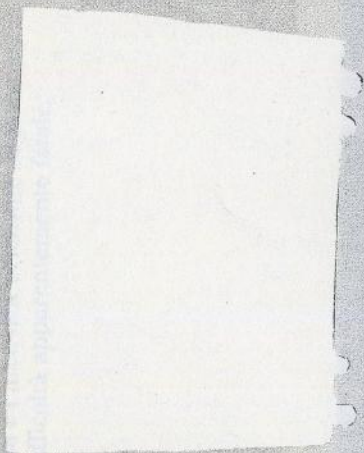
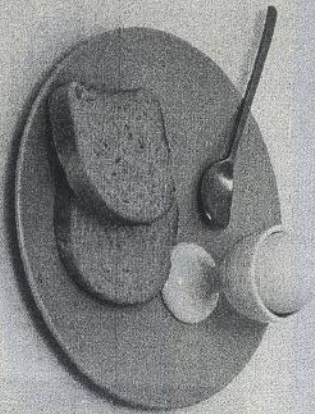


Il
come
vare
signi
generale
armonia
prevedere



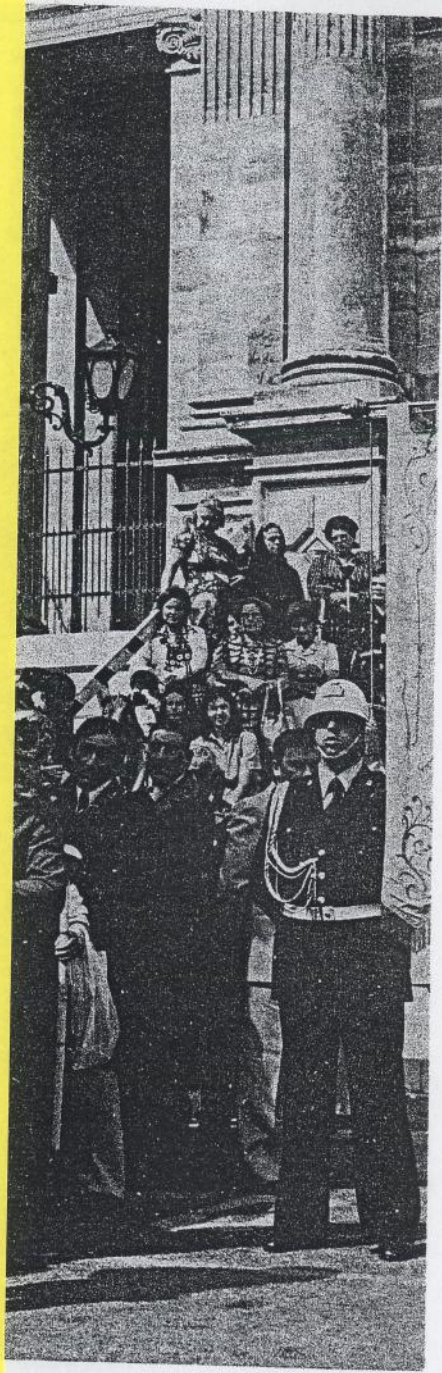
quasi certamente a finire nel momento stesso in cui egli venisse fatto a pezzi dall'attrazione differenziale agente sulle varie parti del suo corpo all'interno del buco nero! Persino i tipi di particelle emessi infine dal buco nero sarebbero in generale diversi rispetto alle particelle che formavano l'astronauta: l'unico carattere dell'astronauta destinato a sopravvivere sarebbe la sua massa o energia.

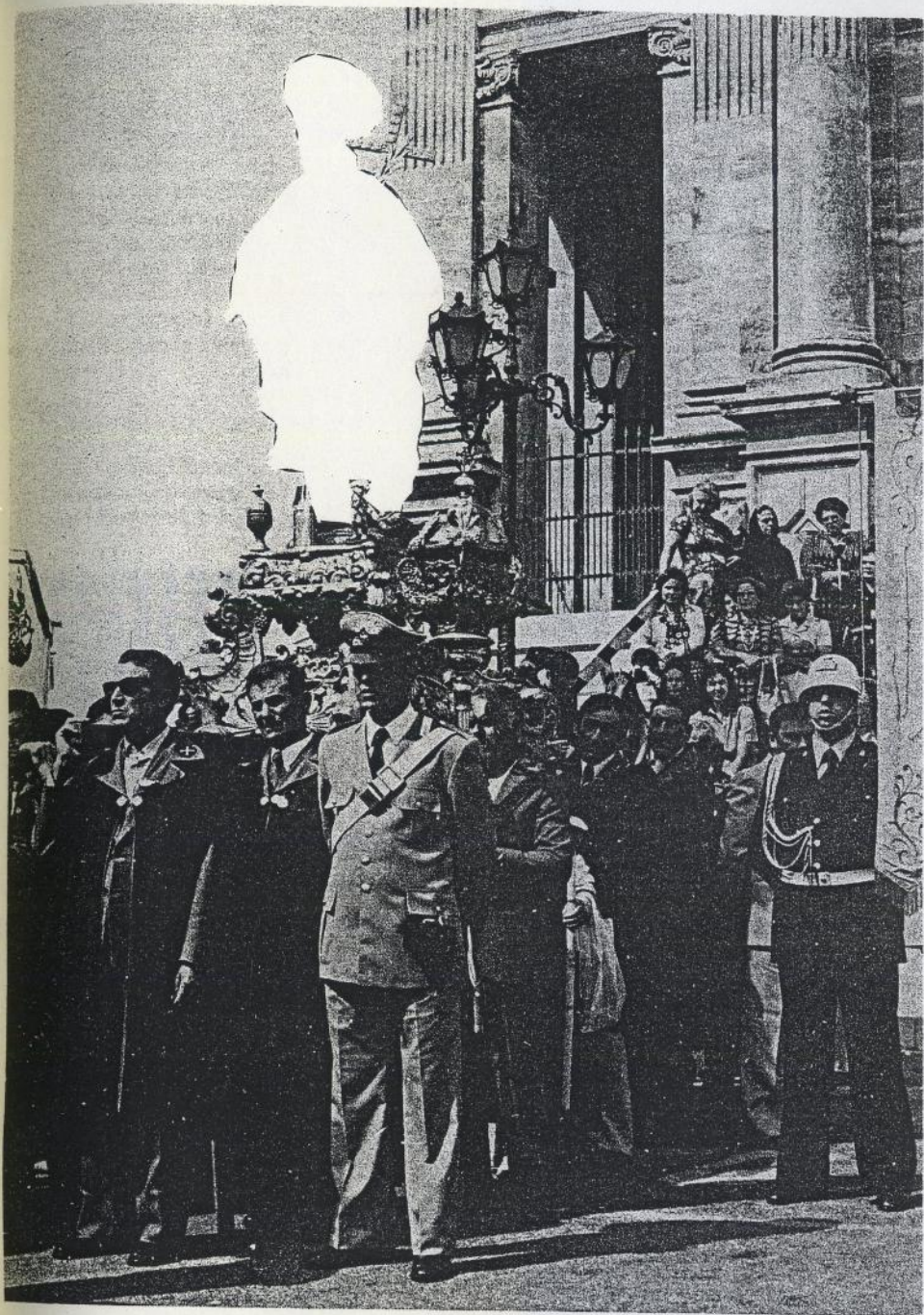


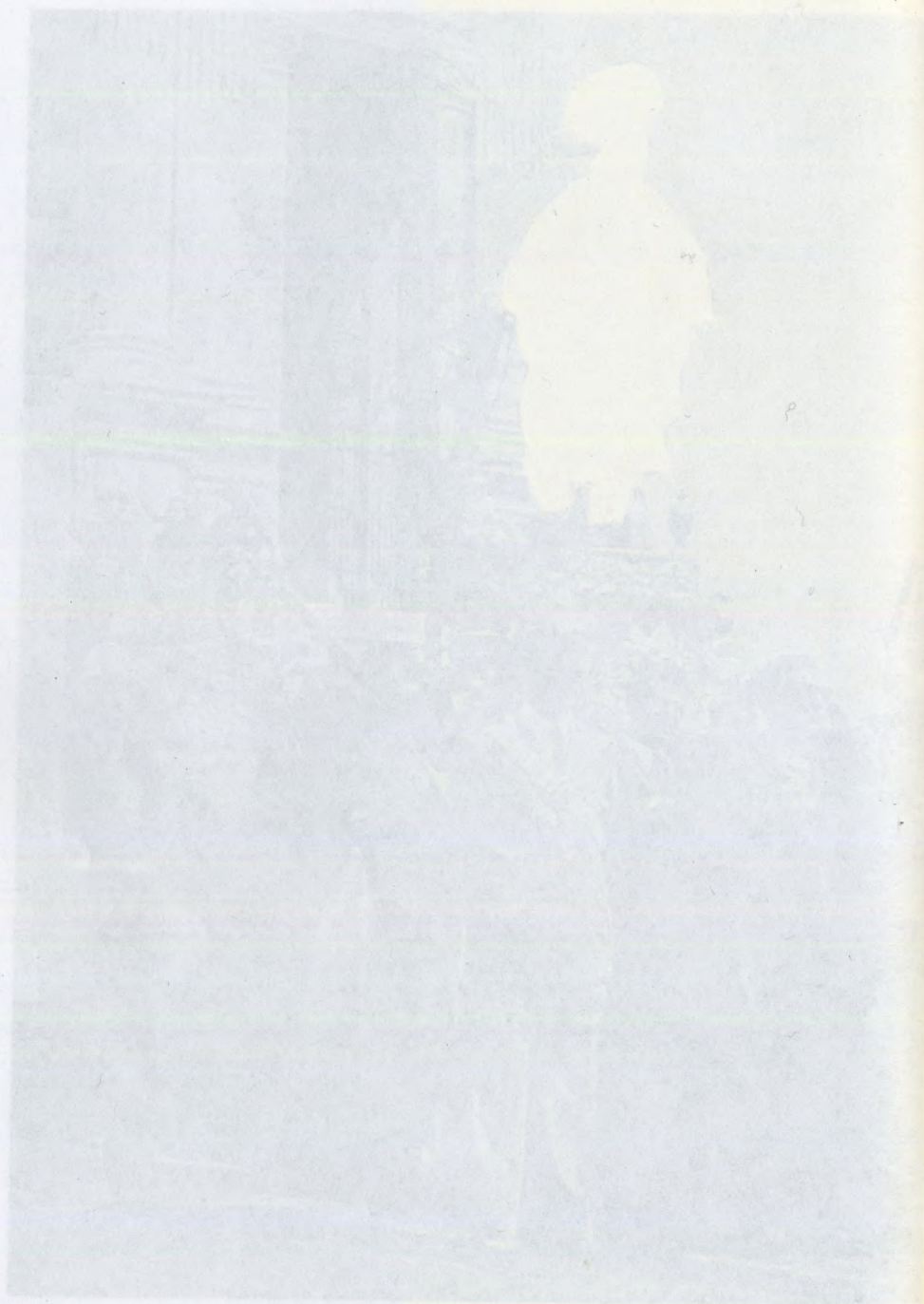




emettere niente. Sembrava perciò che l'area dell'orizzonte degli eventi di un buco nero non potesse essere considerata alla stregua della sua entropia. Nel 1972 scrissi un articolo assieme a Brandon Carter e a un collega americano, Jim Bardeen; in esso sottolineammo che, per quanto somiglianze ci fossero fra l'entropia e l'area dell'orizzonte degli eventi, c'era anche questa difficoltà apparentemente fatale.







Una formulazione precisa di quest'idea è nota come seconda legge della termodinamica. Essa afferma che l'entropia di un sistema isolato aumenta sempre e che, quando si uniscono assieme due sistemi, l'entropia del sistema combinato è maggiore della somma delle entropie dei singoli sistemi. Consideriamo, per esempio, un sistema di molecole di gas in un recipiente. Le molecole possono essere immaginate come piccole palle da biliardo che si urtano continuamente e che rimbalzano sulle pareti del recipiente.

