

## valor medio di un'osservabile

$$\langle A \rangle = \int dq \int dp A(q, p) \rho(q, p, t)$$

Energia di un insieme canonico:

$$E \equiv \langle H \rangle = \frac{\int dq \int dp H(q, p) e^{-\beta H(q, p)}}{\int dq \int dp e^{-\beta H(q, p)}}$$

Nota la funzione di partizione, si possono costruire le **funzioni di stato** della termodinamica

energia:  $E = -\frac{\partial}{\partial \beta} \ln Z$

entropia:  $S = \frac{E}{T} + k \ln Z$

energia libera (di Helmholtz) :  $F = E - TS = -kT \ln Z$

energia libera (di Gibbs) :  $G = F + pV = -kT \ln Z + pV$