

## 2중량자점을 리용한 량자열기관의 효율

리성미, 정금혁

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학과 기술이 매우 빨리 발전하고있는 오늘의 현실은 기초과학을 발전시킬것을 더욱 절실하게 요구하고있습니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 138페이지)

나노구조에서의 열전기수송에 대한 이론적 및 실험적연구는 세계적으로 가장 큰 관심을 모으는 연구분야들중의 하나로 되고있다. 나노구조에서는 위데만-프란츠법칙이 파괴되므로 나노구조를 리용한 직접적이고도 효율높은 열전기변환을 실현할수 있다.[1]

론문에서는 마스터방정식을 리용하여 2중량자점을 리용한 T형량자열기관에서 에너지를 변환물질새와 그 출력 및 효율에 대하여 연구하였다.

T형량자열기관의 모형은 그림 1과 같다.

$T_L, T_R, T_g$  는 각각 왼쪽전극, 오른쪽전극, 아래전극의 온도이고  $J_g$  는 조종극량자점으로부터 아래전극으로 흐르는 열흐름밀도이다.

그림 1에서 우의 두 전극사이의 량자점은 두 전극사이의 전류흐름을 보장하며 아래전극과 결합된 량자점은 아래 및 웃전극사이의 에너지흐름을 보장한다. 여기서  $T_L = T_R = T_c$  이며  $T_g > T_c$  로 가정하겠다. ( $T_c$  는 전도상태에서의 온도)

전극으로부터 전자가 비어있는 전도량자점에 굴절효과에 의하여 뚫고들어갔다고 하자. 이때 조종극전자가 조종극량자점을 차지하면 두 량자점전자들사이의 강한 쿨롱호상작용에 의하여 전도량자점의 전자는 다른 전극으로 넘어가게 된다. 이때  $E_C$  만 한 에너지를 교환한다. 결국 조종극에서의 열흐름이 직접 전도량자점을 통한 전류를 조종하게 된다.

고찰하는 계의 하밀토니안은 다음과 같다.

$$H = H_0 + H_i$$

여기서  $H_0 = \varepsilon_c d_c^+ d_c + \varepsilon_g d_g^+ d_g + U d_c^+ d_c d_g^+ d_g + \sum_{k, \beta=L, R, g} \varepsilon_{k\beta} c_{k\beta}^+ c_{k\beta}$  는 비호상작용부분의 하밀토

니안이며  $\varepsilon_{c(g)}, d_c^+, d_{c(g)}$  는 각각 전도(조종극)량자점전자의 에너지 및 발생소멸연산자,  $U$  는 전도량자점과 조종극량자점의 전자들사이 쿨롱호상작용에너지,  $\varepsilon_{k\beta}, c_{k\beta}^+, c_{k\beta}$  는 각각  $\beta$  전극 ( $\beta=L, R$ )의 운동량이  $k$  인 전자의 에너지와 발생, 소멸연산자이다. 한편  $H_i = \sum_k (V_{kg} c_{kg}^+ d_g + h.c.) + \sum_{\beta=L, R} \sum_k (V_{k\beta} c_{k\beta}^+ d_c + h.c.)$  는 전극과 량자점사이의 호상작용하밀토니안으로서  $V_{kg}, V_{k\beta}$  는 각각 조종극량자점과 전극사이, 전도량자점과  $\beta$  전극사이의 굴이행

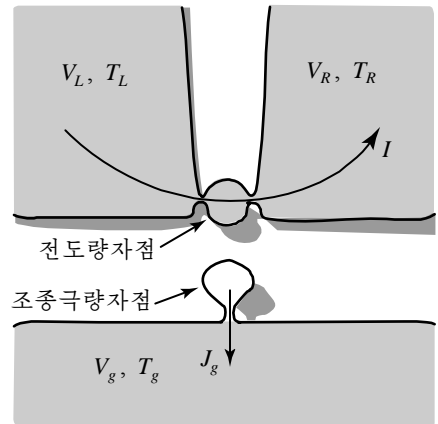


그림 1. T형량자열기관의 모형

행렬원소이다.

이 모형에서는 마스터방정식  $\dot{\rho} = M\rho$  를 리용할수 있으며 여기서는  $M\rho = 0$  의 정상상태풀이에 주목한다.[2] 여기서  $\rho$  는 밀도행렬이다.

편기전압에 따르는 T형량자열기관의 출력과 효율을 그림 2에 보여주었다. 여기서  $\Gamma_\beta = 2\pi \int dk |V_{k\beta}|^2 \delta(\varepsilon - \varepsilon_{k\beta})$  는 반폭함수로서 양자점과 전극사이의 결합을 표시하며  $\Gamma_L = \Gamma_R = \Gamma$  로 놓았다.  $\Delta V$ ,  $\eta_c$  는 각각 전도전극들사이의 전압, 까르노효율이다.

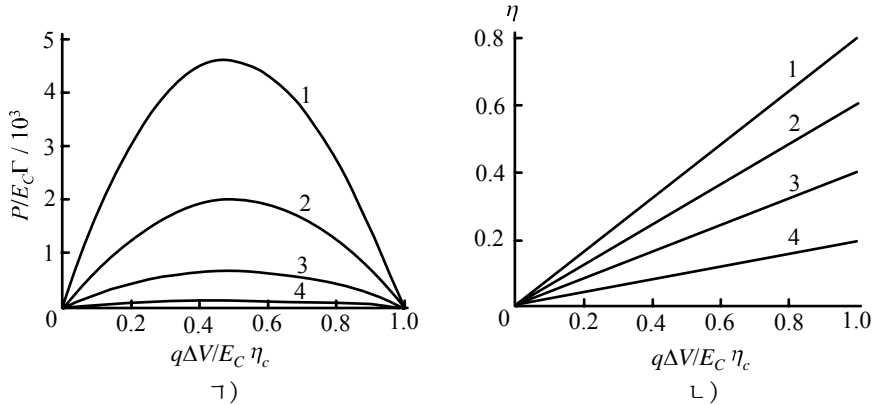


그림 2. 편기전압에 따르는 T형량자열기관의 출력(1)과 효율(2))

$\varepsilon_c = \varepsilon_g = 0$ ,  $E_c = 5\Gamma$ ,  $V_g = V_L$ ,  $T_g = 5\Gamma$  ( $k=1$ ,  $\hbar=1$ ,  $q=1$ ); 1-4는 각각  $T_c = \Gamma, 2\Gamma, 3\Gamma, 4\Gamma$  인 경우

그림 2에서 보는바와 같이 열기관의 출력( $P$ )과 효율( $\eta$ )사이에는 1:1대응관계가 성립하지 않는다. 즉 열기관의 효율이 높아진다고 하여 출력이 높아지는것은 아니다. 그것은 전도양자점을 사이에 둔 두 전극사이의 편기전압이 너무 커지면 편기전압에 의한 전류수송이 우세를 차지하고 조종극량자점의 영향은 점점 무시되어 열전류가 흐르지 않게 되기때문이다. 결국 이것은 양자열기관에서 효율보다 출력에 관심을 돌려야 하며 효율에 관심을 돌리는 경우에도 최대출력점에서의 효율에 주목하여야 한다는것을 보여준다.

## 맺는 말

마스터방정식을 리용하여 2중량자점을 리용한 T형량자열기관의 출력과 효율을 연구하고 출력과 효율사이에 1:1대응관계가 성립하지 않으며 최대출력점에서의 효율에 주목해야 한다는것을 밝혔다.

## 참고 문헌

- [1] G. Benenti et al.; Whitney Physics Reports, 694, 1, 2017.
- [2] M. A. Nielsen et al.; Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press, 386~394, 2010.

## **On the Efficiency of a Quantum Heat Engine with Double Quantum Dots**

*Ri Song Mi, Jong Kum Hyok*

In this paper we studied the power and the efficiency of a quantum heat engine with double quantum dots by using the Master equation and showed that there is no one-to-one correspondence between the power and the efficiency of the engine, thus the efficiency at the maximum power is noticeable.

Keywords: quantum dot, Master equation