

# THÔNG TIN VỀ LUẬN ÁN TIẾN SĨ

1. Họ và tên nghiên cứu sinh: Nguyễn Thị Nguyệt Ánh
2. Giới tính: Nữ
3. Ngày sinh: 11/10/1988
4. Nơi sinh: Nam Định
5. Quyết định công nhận nghiên cứu sinh: 2556/QĐ-ĐHKHTN ngày 26/07/2017 của Hiệu trưởng trường Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc gia Hà Nội.
6. Các thay đổi trong quá trình đào tạo: Quyết định gia hạn số 318/QĐ - ĐHKHTN ngày 01/02/2021 và số 231/QĐ - ĐHKHTN ngày 27/01/2022.
7. Tên đề tài luận án: Ảnh hưởng của sự lượng tử hoá do giảm kích thước lên hiệu ứng Etingshausen và hiệu ứng Peltier trong hệ bán dẫn một chiều.
8. Chuyên ngành: Vật lý lý thuyết và vật lý toán
9. Mã số: 9440130.01
10. Cán bộ hướng dẫn khoa học: Hướng dẫn chính: PGS. TS. Lương Văn Tùng  
Hướng dẫn phụ: GS. TS. Nguyễn Quang Báu
11. Tóm tắt các kết quả mới của luận án:
  - Lần đầu tiên thiết lập được phương trình động lượng tử cho hàm phân bố điện tử trong hệ bán dẫn một chiều (1D) trong dây lượng tử hình trụ (CQW) và dây lượng tử hình chữ nhật (RQW) khi có mặt sóng điện từ mạnh, điện trường không đổi, từ trường mạnh và có kể đến sự giam cầm của điện tử và phonon.
  - Tìm được biểu thức giải tích của các ten-xơ động, hệ số Etingshausen (EC) và hệ số Peltier (PC) trong hệ bán dẫn một chiều (CQW, RQW). Các đại lượng này đều phụ thuộc vào các tham số đặc trưng cho trường ngoài (biên độ, tần số sóng điện từ, điện trường không đổi và từ trường), các tham số cấu trúc vật liệu (bán kính dây, kích thước dây), nhiệt độ T của hệ và đặc biệt là các chỉ số lượng tử đặc trưng cho sự giam cầm của điện tử và phonon.
  - Các kết quả giải tích thu được cho thấy rằng sự lượng tử hóa do giảm kích thước trong CQW và RQW ảnh hưởng rất mạnh mẽ lên EC, PC và có nhiều sự khác biệt so với bài toán tương tự trong bán dẫn khối, hệ một chiều không xét đến sự giam cầm của phonon, trong hệ hai chiều (2D) (siêu mạng pha tạp và hố lượng tử). Nguyên nhân là do sự khác biệt của thể giam cầm với sự có mặt của chỉ số lượng tử  $m_1$ ,  $m_2$  đặc trưng cho sự giam cầm của phonon và chỉ số lượng tử N, n đặc trưng cho sự giam cầm của điện tử. Kết quả cho thấy rằng khi  $m_1$ ,  $m_2$  tiến tới 0 và thừa số dạng điện tử trở về biểu thức như trường hợp không giam cầm thì kết quả thu được sẽ trở về giống trường hợp phonon không giam cầm.

- Kết quả giải tích được tính số, vẽ đồ thị và thảo luận đối với CQW GaAs/AlGaAs, GaAs và RQW GaAs. Các kết quả thu được phù hợp tương đối tốt với một số kết quả thực nghiệm và lý thuyết của các tác giả khác trong các trường hợp riêng. Kết quả cho thấy phonon giam cầm làm thay đổi đáng kể độ lớn của EC và PC trong hệ bán dẫn 1D so với trường hợp phonon không giam cầm và hệ 2D. Ngoài ra, phonon quang giam cầm làm xuất hiện thêm các đỉnh cộng hưởng và khi vật liệu có kích thước càng nhỏ thì các hiệu ứng xảy ra càng rõ nét dưới ảnh hưởng của điện tử giam cầm và phonon quang giam cầm.
- Luận án chỉ ra được điều kiện cộng hưởng từ - phonon (MPR) trong hệ bán dẫn 1D khi có mặt từ trường mạnh, điện trường không đổi, bức xạ laser và có kể đến phonon quang giam cầm. Điều kiện MPR góp phần xác định được vị trí, độ cao và độ dịch chuyển của các đỉnh cộng hưởng khi khảo sát sự phụ thuộc của EC, PC vào trường ngoài và các tham số cấu trúc của vật liệu. Bên cạnh đó, phonon âm giam cầm làm xuất hiện các dao động kiểu Shubnikov-de Haas (SdH) khi khảo sát hệ ở nhiệt độ thấp.
- Luận án góp phần khẳng định sự hiệu quả và đúng đắn của phương pháp phương trình động lượng tử trong nghiên cứu các tính chất động của hệ bán dẫn thấp chiều. Các kết quả của luận án là cơ sở để giải thích các tính chất của hệ bán dẫn 1D dưới tác dụng của trường ngoài khi xét hai cơ chế tán xạ điện tử giam cầm - phonon âm giam cầm và điện tử giam cầm - phonon quang giam cầm.

## 12. Khả năng ứng dụng thực tiễn:

Kết quả của luận án góp phần định hướng cho công nghệ chế tạo linh kiện điện tử trên cơ sở bán dẫn thấp chiều và ứng dụng trong các thiết bị điện tử siêu nhỏ, thông minh, đa năng hiện nay.

## 13. Các hướng nghiên cứu tiếp theo:

Các hiệu ứng từ – nhiệt – điện lượng tử trong các hệ bán dẫn thấp chiều bất đối xứng.

## 14. Các công trình công bố liên quan đến luận án:

[1]. Hoang Van Ngoc, Nguyen Thi Nguyet Anh\*, Tang Thi Dien, Nguyen Quang Bau, Nguyen Vu Nhan (2021), “The Influence of confined acoustic phonon on the quantum Ettingshausen effect in cylindrical quantum wire with an infinite potential in presence of strong electromagnetic wave”, *J. Phys: Conf. Ser.* 1932, 012008. (Scopus)

[2]. Hoang Van Ngoc, Nguyen Thi Nguyet Anh\*, Tang Thi Dien, Nguyen Quang Bau (2022), “Cylindrical quantum wires: the Quantum photo-stimulated Peltier effect under the influence of confined acoustic phonons”, *J. Phys: Conf. Ser.* 2269, 012007. (Scopus)

[3]. Nguyen Quang Bau\*, Tang Thi Dien, Nguyen Thi Nguyet Anh, Nguyen Dinh Nam, Do Tuan Long. (2022), “Influence of confined optical phonons on the Photo -stimulated thermo-magnetoelectric effect in cylindrical quantum wires”, *Phys. Rev. B.* 644, 414220. (ISI)

[4]. Nguyen Thi Nguyet Anh\*, Tang Thi Dien, Cao Thi Vi Ba, Hoang Van Ngoc. (2022), “The Photo-stimulated Peltier Effect in Rectangular Quantum Wires under the Influence of Confined Phonons”, *VNU J. Sci.: Math. Phys.* 38, pp. 11 - 16.

[5]. Nguyen Thi Nguyet Anh\*, Luong Van Tung, Nguyen Quang Bau, Tang Thi Dien. (2023), “Effect of confined optical phonons on photo-stimulated Ettingshausen effect in rectangular quantum wires with a perpendicular magnetic field”, *VNU J. Sci.: Math. Phys.* 39, pp. 27-33.

[6]. Tang Thi Dien, Cao Thi Vi Ba, Nguyen Quang Bau\* and Nguyen Thi Nguyet Anh (2023), “Calculation of parallel Peltier coefficient in rectangular quantum wires under the influence of confined optical phonons and electromagnetic waves by using quantum kinetic equation”, *J. Korean Phys. Soc.*, pp 1-9, <https://doi.org/10.1007/s40042-023-00781-2>. (ISI)

Ngày      tháng      năm 2023

**Người hướng dẫn luận án**

**Nghiên cứu sinh**

## INFORMATION ON DOCTORAL THESIS

1. Full name: Nguyen Thi Nguyet Anh
2. Sex: female
3. Date of birth: 11/10/1988
4. Place of birth: Nam Dinh
5. Admission decision number: No. 2556/QĐ-ĐHKHTN 26/07/2017 of the principal VNU University of Science.
6. Changes in academic process: Decision no 318/QĐ –ĐHKHTN 01/02/2021 and decision no 231/QĐ- ĐHKHTN 27/01/2022.
7. Official thesis title: The influence of quantization caused by size reduction on the Ettingshausen effect and the Peltier effect in one - dimensional system.
8. Major: Theoretical Physics and Mathematical Physics
9. Code: 9440130.01
10. Supervisors: Assoc. Prof. Luong Van Tung

Prof. Nguyen Quang Bau

### 11. Summary of the new findings of the thesis

- For the first time, the quantum kinetic equation for the electron distribution function in cylindrical quantum wires (CQW) and rectangular quantum wires (RQW) was established in the presence of a strong electromagnetic wave, a direct current (DC) magnetic field, strong magnetic field, and the confinement of electrons and phonons.
- Finding the analytical expressions for the kinetic tensors, the Ettingshausen coefficient (EC), and the Peltier coefficient (PC) in one - dimensional semiconductor systems. These quantities all depend on the parameters characteristic of the external field (amplitude, frequency of electromagnetic waves, constant electric and magnetic fields), material structure parameters (wire radius, wire length), the temperatures of the system especially the quantum numbers that characterize the confinement of electrons and phonons.
- The obtained analytical results show that the size quantization reduction in CQW and RQW strongly affects EC and PC, and have more different compared to the bulk semiconductors, in the two dimensions (2D) (doped superlattices and quantum well). The reason is the difference between the quantum  $m_1$ , and  $m_2$  which characterize

phonon confinement, and the quantum numbers  $N$ ,  $n$  which characterize electron confinement. And the results show that when  $L$  goes to 0 and the electron form factor returns to the expression as in the unconfined phonon case, the obtained result will return to the case of the unconfined phonons.

- The analytical results are estimated, graphed, and discussed for CQW of GaAs/ AlGaAs and GaAs, and RQW of GaAs models. The obtained results are in good agreement with both quantitative and qualitative compared to the experimental and theoretical results of the different authors (calculations in 1D do not consider the confinement of phonon and 2D). The results indicate that the confined phonon has changed significantly the magnitude of the EC and the PC in 1D compared to the unconfined phonons case. Additionally, confined optical phonons make more resonance peaks appear, and as the materials have small sizes, the kinetic effects occur more clearly under the influence of electron and phonon confinement.
- The thesis indicated the magneto – phonon resonance (MPR) condition in the 1D system in the presence of a strong magnetic field, a dc electric field, a strong electromagnetic wave and including confined optical phonon. The MPR condition contributes to determine the position, the height and the shifts of the resonance peaks, which obtained when examining the dependence of the EC and PC on the external fields. Besides, confined acoustic phonons gives rise to Shubnikov-de Haas (SdH) type oscillations when investigating low - temperature matter systems.
- The thesis also contributes to confirming the effectiveness and correctness of the quantum kinetic equation method when investigating the kinetic properties in low - dimensional semiconductor systems. In addition, the thesis's results are the basis for explaining the properties of the 1D semiconductor system under the influence of an external field when considering two scattering mechanisms: confined electrons - confined acoustic phonons, and confined electrons - confined optical phonons.

## 12. Practical applicability, if any:

The results of the thesis will contribute to the direction of the technology of manufacturing electronic components on the basis of low - dimensional semiconductors and its application in today's ultra-small, innovative, and versatile electronic devices.

## 13. Further research directions, if any:

Quantum magnetic – thermal – electrical effects in asymmetric low - dimensional semiconductor systems.

14. Thesis-related publications:

[1]. Hoang Van Ngoc, Nguyen Thi Nguyet Anh\*, Tang Thi Dien, Nguyen Quang Bau, Nguyen Vu Nhan (2021), “The Influence of confined acoustic phonon on the quantum Ettingshausen effect in cylindrical quantum wire with an infinite potential in presence of strong electromagnetic wave”, *J. Phys: Conf. Ser.* 1932, 012008. (Scopus)

[2]. Hoang Van Ngoc, Nguyen Thi Nguyet Anh\*, Tang Thi Dien, Nguyen Quang Bau (2022), “Cylindrical quantum wires: the Quantum photo-stimulated Peltier effect under the influence of confined acoustic phonons”, *J. Phys: Conf. Ser.* 2269, 012007. (Scopus)

[3]. Nguyen Quang Bau\*, Tang Thi Dien, Nguyen Thi Nguyet Anh, Nguyen Dinh Nam, Do Tuan Long. (2022), “Influence of confined optical phonons on the Photo -stimulated thermo-magnetoelectric effect in cylindrical quantum wires”, *Phys. Rev. B.* 644, 414220. (ISI)

[4]. Nguyen Thi Nguyet Anh\*, Tang Thi Dien, Cao Thi Vi Ba, Hoang Van Ngoc. (2022), “The Photo-stimulated Peltier Effect in Rectangular Quantum Wires under the Influence of Confined Phonons”, *VNU J. Sci.: Math. Phys.* 38, pp. 11 - 16.

[5]. Nguyen Thi Nguyet Anh\*, Luong Van Tung, Nguyen Quang Bau, Tang Thi Dien. (2023), “Effect of confined optical phonons on photo-stimulated Ettingshausen effect in rectangular quantum wires with a perpendicular magnetic field”, *VNU J. Sci.: Math. Phys.* 39, pp. 27-33.

[6]. Tang Thi Dien, Cao Thi Vi Ba, Nguyen Quang Bau\* and Nguyen Thi Nguyet Anh (2023), “Calculation of parallel Peltier coefficient in rectangular quantum wires under the influence of confined optical phonons and electromagnetic waves by using quantum kinetic equation”, *J. Korean Phys. Soc.*, pp 1-9, <https://doi.org/10.1007/s40042-023-00781-2>. (ISI)

Date:

**Supervisor**

**PhD Student**