

TIỂU LUẬN:  
SỰ HỦY CẶP CỦA ELECTRON VÀ  
POSITRON SẢN RA PHOTON CÙNG  
NHỮNG ỨNG DỤNG THỰC TẾ

Giảng viên hướng dẫn: Giáo sư LÊ VĂN HOÀNG  
Sinh viên thực hiện : NGUYỄN THỊ THẢO DUY  
Mã số sinh viên: K40.102.013

NĂM HỌC: 2016-2017



# TÓM TẮT

Khi đi sâu vào tìm hiểu cấu tạo vật chất, con người dần phát hiện ra thế giới vi mô một thế giới kì lạ liên quan đến những vật không nhìn thấy được. Electron và photon được phát hiện là những bước ngoặt rất quan trọng trong phát triển khoa học của nhân loại. Chúng là những hạt cơ bản già nhất có thời gian sống rất bền. Đây là những loại hạt có nhiều ứng dụng trong thực tế. Nên chúng thường là những đề tài để nghiên cứu cho thế giới vi mô. Có nhiều cách để phát ra photon trong tự nhiên. Trong bài tiểu luận này tôi sẽ tìm hiểu về sự hủy cặp của electron và phản hạt positron của nó để sản xuất ra photon cùng những ứng dụng thực tế từ quá trình này. Một trong những ứng dụng này là kết quả của ngành vật lý positron - một lĩnh vực khá mới mẻ trong ngành lĩnh vực hạt nhân và đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Cho đến nay thì phạm vi ứng dụng của nó rất lớn. Đây là một đề tài đáng để tìm hiểu.

## GIỚI THIỆU TỔNG QUAN

Positron là phản hạt của electron có cùng độ lớn điện tích nhưng trái dấu với electron. Nó tồn tại trong môi trường vật chất sau một khoảng thời gian nó sẽ bị hủy với một electron để phát ra tia gamma. Thời gian sống của positron càng ngắn khi mật độ electron trong vật chất càng lớn.

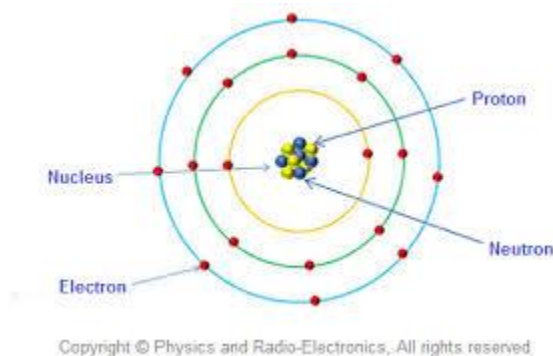
Các positron từ các nguồn phát ra có năng lượng lớn khi vào môi trường vật chất thì chúng va chạm với các electron tự do, các nút mạng tinh thể kết quả là các positron mất dần năng lượng và trở thành positron nhiệt. Khi chúng gặp một electron thì chúng sẽ xảy ra quá trình hủy cặp. Quá trình này sẽ giải phóng ra năng lượng hoặc chúng kết hợp với nhau để tạo nên một trạng thái giả bền được gọi là positronium mà sự hủy cặp này phụ thuộc vào những trạng thái của positronium và sự tương tác của nó với môi trường xung quanh. Có khá nhiều ứng dụng thực tế từ quá trình hủy cặp này. Chúng ta có thể tìm hiểu từ đề tài tiểu luận này ?



## I. LỊCH SỬ TÌM RA ELECTRON VÀ PHOTON

### 1.1 Lịch sử tìm ra electron

- Vào những năm cuối của thế kỉ XIX và đầu XX các khám phá về tia phóng xạ và electron từ nguyên tử phát ra ngoài đã làm đảo lộn toàn bộ quan niệm cho rằng nguyên tử là phần vật chất nhỏ nhất không phân chia được.
- George John Stoney là người đã đề nghị ra electron như là đơn vị điện tích trong điện hóa học .
- Từ khám phá 1869 qua phần lớn 3 thập kỉ sau đó, các nhà khoa học nghiên cứu về tia cathode và kết luận chúng có điện tích âm.
- Đến năm 1897 J.J.Thomson là người đã khám phá ra electron tại phòng thí nghiệm Cavendish của trường đại học Cambridge, trong khi nghiên cứu về “tia cathode”. Ông xác định được tia cathode thật ra gồm những hạt nhỏ tích điện. Ông cho rằng những hạt này cấu tạo nên nguyên tử chúng có khối lượng và mang điện tích âm.



### 1.2 Lịch sử tìm ra photon

- Ánh sáng và các loại bức xạ điện từ được hình thành từ các hạt mang năng lượng nhỏ và gián đoạn gọi là photon hay lượng tử.
- Thế kỉ XVIII ánh sáng hình dung như là các dòng hạt .
- Đầu thế kỉ XIX Thomas Young và August Fresnel minh chứng cho thấy ánh sáng thể hiện tính chất giao thoa và nhiễu xạ .
- Năm 1850 mô hình sóng được chấp nhận rộng rãi.[1]
- Năm 1865 tiên đoán của Maxwell [2] rằng ánh sáng là một sóng điện từ và được xác nhận bằng thực nghiệm vào năm 1888.
- Năm 1900 Max Plank đang nghiên cứu về bức xạ vật đen và đề xuất ra là năng lượng của sóng điện từ có thể giải phóng theo những gói năng lượng mà ông gọi chúng là những lượng tử .



- Năm 1905 Albert Einstein đã tiến xa hơn bằng đề xuất rằng sóng điện từ chỉ có thể tồn tại trong những gói rời rạc này. Ông gọi những gói sóng này là lượng tử ánh sáng. Khái niệm hiện đại về photon dần dần phát triển bởi Einstein để giải thích các quan sát thực nghiệm mà không thể được giải thích thỏa đáng bởi mô hình sóng cổ điển của ánh sáng.

## II. SỰ GIỐNG VÀ KHÁC NHAU CƠ BẢN CỦA ELECTRON VÀ PHOTON

### 2.1 Sự giống nhau

- Đều là những hạt sơ cấp.
- Thể hiện lưỡng tính sóng hạt.
- Tương tác cơ bản là tương tác điện từ.
- Thời gian sống bền.

### 2.2 Những khác nhau cơ bản :

Photon	Electron
-Là loại hạt Boson.	- Là loại hạt Fermion.
-Nhóm Gauge boson.	-Nhóm Lepton.
-Kí hiệu là $\gamma$ .	-Kí hiệu là $e^-$ .
-Khối lượng bằng 0 [3]	-Khối lượng là $0.510\,998\text{ MeV}/c^2$ .
-Điện tích bằng 0.	-Điện tích $-1.602\,176\,487 \times 10^{-19}\text{ C}$ .
-Tương tác cơ bản :điện từ.	-Tương tác cơ bản :hấp dẫn,điện từ,yếu.
-Không có phản hạt.	-Phản hạt là Positron.
-Spin bằng 1 [3].	-Spin là $\frac{1}{2}$ .

## III. SỰ HỦY CẠP

### 3.1 Thế nào là hạt và phản hạt?

#### 3.1.1 Khái niệm:

- Phản hạt của một hạt sơ cấp là một hạt có điện tích bằng về độ lớn nhưng trái dấu với hạt đó.



- Hầu hết các hạt cơ bản đều có phản hạt, riêng photon thì không-phản của photon cũng chính là photon.

### 3.1.2 Phản hạt của electron

- Positron là phản hạt của electron với khối lượng, spin, moment từ giống như electron, chỉ có điện tích là trái dấu nhau.
- Electron tích điện âm, positron tích điện dương nhưng độ lớn điện tích là như nhau.
- Kí hiệu: electron ( $e^-$ ) và phản hạt của nó positron ( $e^+$ )
- Positron là phản hạt đầu tiên được phát hiện đầu tiên trong thế giới vi mô.
- Trong chân không, positron tồn tại rất lâu với thời gian sống vào cỡ  $4,3 \cdot 10^{-23}$  năm.

### 3.2 Thế nào là sự hủy cặp?

Trong ngành vật lý, sự hủy cặp là quá trình xảy ra khi một hạt hạ nguyên tử va chạm với phản hạt tương ứng của chính nó.

Như khi một electron va chạm một positron. Vì năng lượng và động lượng được bảo toàn, nên cặp hạt này chuyển thành các hạt mới. Tuy nhiên chúng không bị mất đi. Các phản hạt có lượng tử số trái dấu hoàn toàn với các hạt, nên tổng lượng tử số của cặp hạt gốc này bằng 0. Chính vì thế bất cứ sự thiết lập của các hạt có thể được sinh ra mà tổng lượng tử số cũng bằng 0 miễn là sự bảo toàn năng lượng và động lượng được tuân theo. Khi một hạt và phản hạt của nó va chạm nhau, năng lượng của chúng được chuyển đổi thành một hạt mang lực hay một photon. Các hạt này sau đó biến đổi thành hạt khác.

Trong sự hủy cặp năng lượng thấp thì thường sinh ra photon, vì chúng không có khối lượng. Tuy nhiên, sự va chạm hạt mang năng lượng cao tạo nên một sự hủy năng lượng lớn các hạt lạ nặng được tạo thành.

### 3.3 Sự hủy cặp của electron và positron sản xuất ra photon

Photon là hạt phi khối lượng, không có điện tích [4] và không bị phân rã tự phát ra trong chân không. Nó là một boson gauge của trường điện từ [5] và do vậy mọi số lượng tử khác của photon đều bằng 0.

Các photon được phát ra từ rất nhiều trong thế giới tự nhiên. Trong quá trình một nguyên tử và một phân tử hoặc hạt nhân chuyển từ trạng thái kích thích có mức năng lượng cao về trạng thái kích thích có mức năng lượng thấp hơn thì các photon với năng lượng khác nhau sẽ bị phát ra từ bức xạ hồng ngoại cho đến tia gamma. Photon cũng được phát ra khi một hạt và phản hạt tương ứng hủy lẫn nhau.



Trong chân không photon chuyển động với vận tốc ánh sáng  $c$ . Từ công thức tương đối tính ta có liên hệ giữa năng lượng và động lượng là:

$$E^2 = p^2 \cdot c^2 + m^2 \cdot c^4$$

Do photon có khối lượng nghỉ bằng không  $m=0$  [6] nên mối liên hệ giữa năng lượng và động lượng của photon là:  $E=p \cdot c$

Năng lượng và động lượng của photon chỉ phụ thuộc vào tần số hay bước sóng của nó :

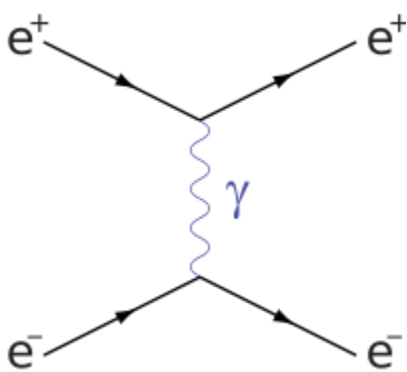
$$E = \hbar \omega = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$p = \hbar \cdot k$$

Với  $k$  là vector sóng ;  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  là hằng số plank rút gọn ,  $\omega$  là tần số góc

Do  $p$  chỉ theo hướng của sự lan truyền photon , độ lớn của động lượng  $p$  sẽ là  $p = \hbar \cdot k = \frac{h}{\lambda}$

Photon cũng mang động lượng góc spin mà không phụ thuộc vào tần số của nó [7]. Photon có độ lớn spin là  $\sqrt{2}\hbar$ . Hình chiếu động lượng theo hướng chuyển động của nó phải có hai giá trị là  $\pm\hbar$ . Hai hình chiếu này gọi là bên phải và bên trái tương ứng với hai trạng thái phân cực tròn của photon [8].



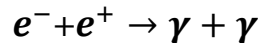
Biểu đồ Feynman mô tả electron và positron trao đổi photon .

Để minh họa ý nghĩa những công thức này sự hủy của một hạt và phản hạt tương ứng trong chân không phải cho kết quả là tạo ra ít nhất hai photon vì những lý do sau. Đối với khối tâm của hệ, tổng động lượng toàn phần phải bằng không, trong khi đối với một photon nó luôn có động lượng. Từ đó theo định luật bảo toàn động lượng đòi hỏi ít nhất hai photon phải được tạo ra cho tổng động lượng toàn phần bằng không. Tuy vậy nếu hệ tương tác với một hạt khác hoặc một trường khác trong quá trình hủy cặp hạt thì có khả năng sinh ra một photon, ví dụ như một hạt positron hủy với một electron liên kết trong hệ

nguyên tử, thì chỉ có thể sinh ra một photon do trường Coulomb của hạt nhân nguyên tử đã phá vỡ đối xứng tịnh tiến. Năng lượng của hai photon có thể xác định từ định luật bảo toàn bốn-động lượng. Nhìn theo một hướng khác, ta



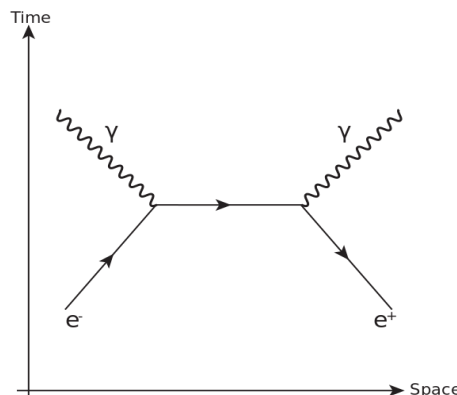
có thể xem photon là phản hạt với chính nó .Và quá trình ngược lại ,sự sinh cặp,thể hiện nổi bật trong cơ chế các hạt photon năng lượng cao như tia gamma bị mất năng lượng khi truyền vật chất .Quá trình ngược lại của sự hủy một hạt photon được diễn ra trong điện trường của một hạt nhân nguyên tử.



Khi một electron mang năng lượng thấp xảy ra quá trình hủy cặp với một phản hạt positron của nó năng lượng thấp thì kết quả là chúng chỉ có thể sản ra một hoặc hai photon tia gamma vì electron và positron không mang đủ khối lượng,năng lượng để sản ra những hạt nặng hơn và sự bảo toàn năng lượng,động lượng tuyến tính cấm kết quả sự hủy cặp chỉ tạo ra một photon. Khi một electron và một positron va chạm để hủy cặp với nhau và tạo ra các tia gamma,năng lượng được sinh ra.Cả hai hạt có năng lượng nghỉ là 0.51 MeV.Khi khối lượng của cả hai hạt được chuyển đổi toàn bộ thành năng lượng,phần năng lượng sinh ra này chính là năng lượng nghỉ.Năng lượng được sinh ra ở dạng tia gamma nói trên .Mỗi tia gamma có năng lượng 0.51 MeV.Vì positron và electron đều cùng ở trạng thái nghỉ trong quá trình hủy cặp,nên hệ không có động lượng trong thời điểm đó .Đó chính là lý do cho sự hình thành của hai tia gamma.Sự bảo toàn moment động lượng sẽ bị vi phạm nếu chỉ có một photon được tạo ra trong phản ứng này.Moment động lượng và năng lượng đều được bảo toàn với 1.022MeV của tia gamma .

Tuy nhiên nếu một hoặc cả hai hạt mang một lượng động năng lớn hơn, nhiều cặp hạt khác sẽ được sinh ra cũng bởi lý do trên ,ngoại trừ trong sự hiện diện của các hạt khác mà có thể sẽ mang đi moment động lượng thặng dư .

Sơ đồ Feynman cho thấy sự hủy cặp electron-positron tạo thành 2 photon khi ở mức tới hạn .Trạng thái tới hạn này thường được hay gọi là positronium.





#### **IV. SỰ SINH CẬP**

Ngược lại khi một photon mang năng lượng cao có thể chuyển hóa thành electron và positron bởi một qui trình gọi là sự sinh cặp.

#### **V. ỨNG DỤNG CỦA PHOTON VÀ ELECTRON TRONG ĐỜI SỐNG**

##### **5.1 Ứng dụng của photon**

Photon có nhiều ứng dụng trong công nghệ kĩ thuật hiện nay như:

- Laser là một ứng dụng cực kì quan trọng từ hiệu ứng phát xạ kích thích của photon.
- Các ống nhân quang điện hoạt động dựa trên hiệu ứng quang điện :một photon va chạm vào một bề mặt kim loại và một electron bị bật ra ,làm khởi phát một luồng khổng lồ các electron trong ống nhân quang điện .
- Các chip CCD sử dụng hiệu ứng tương tự trên chất bán dẫn :một photon tới làm sinh ra điện tích trên một tụ điện vi mô và từ đó có thể ghi lại được.
- Các thiết bị dò khác như máy đếm Geiner sử dụng khả năng photon gây ion hóa các phân tử khí ,dẫn đến hình thành dòng điện mà máy đo được.

##### **5.2 Ứng dụng của electron**

- Electron có nhiều ứng dụng trong cuộc sống như cung cấp điện cho các thiết bị điện trong nhà và các khu công nghiệp hiện nay.Khi các electron dịch chuyển có hướng sẽ tạo nên dòng điện .
- Ống tia âm cực của tivi sử dụng chùm điện tử trong chân không để tạo ra hình ảnh trên màn hình lân quang .
- Tính chất lượng tử của electron được sử dụng trong các thiết bị bán dẫn như transistor.

#### **VI. ỨNG DỤNG CỦA SỰ HỦY CẬP ELECTRON VÀ POSITRON**

Ngày nay với kĩ thuật phát triển của ngành vật lý hạt nhân thì quá trình hủy cặp giữa electron và photon có khá nhiều ứng dụng trong thực tế bằng nhiều phương pháp như:

- Phát hiện chỗ khuyết tật trong vật liệu bằng phương pháp đo thời gian sống, trong công nghiệp để phát hiện lỗ hổng vật liệu . Sự tương tác hấp dẫn giữa electron và positron dẫn đến hệ số tăng cường trong quá trình hủy sẽ được xác định thông qua hàm tương quan cặp hay hàm mật độ tương tác .Từ hệ số tăng cường ta sẽ thu được thời gian sống của positron trong vật liệu .Từ thời gian sống tính toán được có thể so sánh với các kết quả thực nghiệm để



từ đó có thể xây dựng mô hình bán thực nghiệm nghiên cứu cấu trúc tính chất vật liệu ở cấp độ cao hơn.

- Trong y khoa được ứng dụng vào công nghệ máy PET dùng cắt lớp và tái tạo hình ảnh.
- Các phương pháp thí nghiệm dựa trên phổ hủy positron cho ta những thông tin có giá trị rất lớn trong nghiên cứu.

## VII. TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Buchwald,J.Z(1989).The Rise of the Wave Theory of Light Theory and Experiment in the Early Nineteenth Century.University of Chicago Press.ISBN 0-226-07886-8.OCLC 18069573.
2. Maxwell,J.C.(1865). “A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field”.doi:10.1098/rstl.1865.0008.Bài viết này bắt nguồn từ buổi thuyết trình của Maxwell ngày 8/12/1864 tại Hội Hoàng gia.
3. B.H.Bransden and C.J.Joachain.Quantum Mechanics,tr.545.ISBN 0-582-35691-1.
4. Kobychhev,V.V;Popov,S.B.(2005). “Constrain on the photon charge fromm observations of extragalatic sources”.Astronomy Letters 31:147-151.doi:10.1134/1.1883345.
5. Vai trò là boson gause và sự phân cực của photon sem phần Role 5.1 trong Aitchison,I.J.R:Hey,a.j.g(1993).
6. Xem phần 1.6 trong Alonso,M;Finm,E.J.(1968).Fundamental University Physics Volume III:Quantum and Statistical Physics .Addison-Wesley.ISBN 0-201-00262-0.tronomy Letters31:147-151.doi:10.1134/1.1883345.
7. Tính chất này đã được xác nhận bằng thực nghiệm bởi Raman và Bhagavantam năm 1931:Raman,C.V.:Bhagavantam,S.(1931). “Experimental proof of the spin of the photon”
8. Ví dụ phần 1.3.3.2 trong Burgess,C.;Moore,G.(2007).The Standard Model .A Primer.Cambridge University Press.ISBN 0-521-86036-9