به نام خدا

عایق و فشار قوی

فصل دوم
عایق های گازی

مدرس:
بهروز آدینه

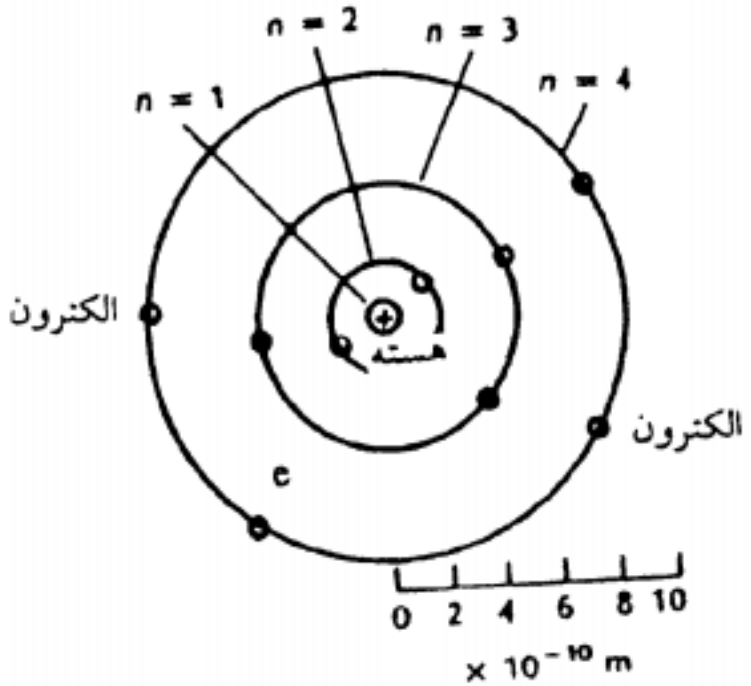
زمستان ۹۴

در مبحث عایق‌های فشار قوی، گازها دارای اهمّیت بالا و کاربردهای فراوانی در صنعت برق می‌باشند. از جمله این کاربردها می‌توان استفاده از آن‌ها را در کلیدهای فشار قوی نام برد. از مهم‌ترین عایق‌های گازی می‌توان به هوا، ازت (N_2)، دی‌اکسیدکربن (CO_2)، هیدروژن (H_2) و هگزافلوئورسولفور (SF6) نام برد. از گاز دی‌اکسیدکربن برای جلوگیری از اکسیداسیون استفاده می‌شود. همچنین هیدروژن دارای گرمای ویژهٔ ۱۵ برابر هوا و گاز SF6 دارای استقامت عایقی ۲ تا ۳ برابر هواست. گاز SF6 از لحاظ حرارتی بسیار پایدار و بدون اثر سوء روی فلزات است. از هیدروژن به‌دلیل خاصیت خوب انتقال گرمایی آن، معمولاً در خنک‌سازی ژنراتورها استفاده می‌کنند.

ایجاد جریان الکتریکی در داخل گازها نیاز به‌وجود ذرّات باردار (یعنی الکترون و یون) دارد. تحت تأثیر یک میدان الکتریکی، ذرّات باردار در راستای میدان الکتریکی حرکت کرده، یک جریان را به‌وجود می‌آورند. در صورتی که یک گاز از کلّیهٔ عواملی که منجر به ایجاد ذرّات باردار در آن می‌شود دور نگاه داشته شود، در آن صورت هیچ‌گونه جریان الکتریکی در آن به‌وجود نمی‌آید. این موضوع را می‌توان در خلاء مطلق (که یک عایق مطلق است)، مشاهده نمود. البتّه ایجاد خلاء مطلق امکان‌پذیر نیست؛ به‌عبارت دیگر، عایق مطلق وجود نخواهد داشت. از طرفی تعداد ذرّات باردار داخل یک گاز در شرایط عادی خیلی کم است؛ بنابراین، گازها، عایق‌های خوبی هستند و جریان‌های الکتریکی در آن‌ها بسیار کم و در حدّ مطلوبی است.

یونیزاسیون در گازها

در مدل اتمی بور، الکترون‌هایی که دور هسته می‌گردند، دارای مدارهای مشخّصی هستند که هر مدار بیانگر سطح مشخّصی از انرژی است. کم‌ترین انرژی مربوط به نزدیکترین مدار به هسته است و مدارهای با شعاع بزرگ‌تر بیانگر سطوح انرژی بالاتری هستند. هر چه الکترون‌ها روی مدارهای بزرگ‌تر حول هسته در گردش باشند، اتم هم دارای انرژی بیشتری است (شکل ۲-۱ را ببینید).



شکل (۲-۱): ساختمان اتم خنثی (اتم A)

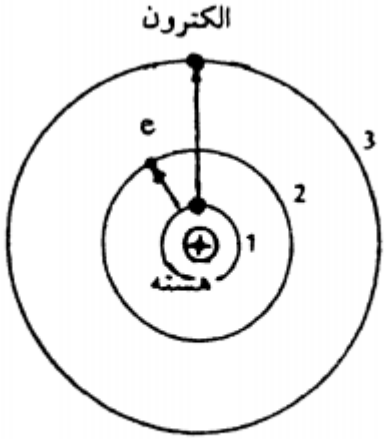
وقتی الکترون‌ها یکی از اَشکال پایدار خود را روی یکی از مدارها دارند، اتم در یک وضعیت پایدار قرار دارد. واحد انرژی الکترون‌ها را جهت سادگی الکترون‌ولت انتخاب می‌کنند(یک الکترون‌ولت، بیانگر مقدار کاری است که توسّط میدان الکتریکی برای انتقال یک الکترون بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل یک ولت انجام می‌شود). مثلاً وقتی می‌گوییم یک الکترون دارای ۱۰eV انرژی است، بدین معناست که این الکترون بین دو نقطه از میدان الکتریکی که دارای اختلاف پتانسیلی برابر با ۱۰ ولت‌اند، حرکت کرده است. رابطهٔ بین الکترون‌ولت با دیگر واحدهای سنجش انرژی را می‌توان از رابطهٔ انرژی الکتریکی بین دو نقطه، و بر اساس معادلهٔ زیر توصیف نمود:

$$W_{AB} = q \int_A^B E.ds = q.V_{AB} \qquad (۱-۲)$$

که در این رابطه، E شدّت میدان، q بار الکترون، و V_{AB} ولتاژ بین دو نقطهٔ A و B است. از آنجا که بار الکترون برابر $q = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$ C است، بنابراین، داریم:

$$۱eV = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\times۱(V) = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹} \text{ Jule یا } (Ws) = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۲} \text{ ergs}$$

معمولاً در عمل، به‌جای انرژی از پتانسیل الکتریکی V بر حسب ولت صحبت می‌شود که مقدار عددی آن برابر مقدار انرژی با واحد الکترون‌ولت است. با توجّه به این‌که الکترون‌ها در هر مداری دارای انرژی معیّنی هستند، بنابراین، برای جدا کردن الکترون از اتم باید از خارج به آن انرژی بدهیم. عمل جدا شدن الکترون از اتم یا مولکول را "یونیزاسیون" و انرژی لازم برای انجام آن را "انرژی یونیزاسیون" (W_i) می‌گویند. چنان‌که ذکر شد، برای سنجش این انرژی، معمولاً پتانسیل یونیزاسیون V_i به‌کار می‌رود که از نظر عددی برابر با همان انرژی یونیزاسیون بر حسب الکترون‌ولت است. قسمتی از اتم را که بعد از یونیزاسیون باقی می‌ماند، یون مثبت می‌گویند که از نظر الکتریکی دارای بار مثبت بوده، مخالف علامت الکترون است. بعد از فرآیند یونیزاسیون، الکترون‌ها و یون‌های مثبت به‌طور مستقل و آزاد حرکت می‌کنند. این ذرّات، تحت تأثیر یک میدان خارجی، می‌توانند شتاب بگیرند و انرژی جنبشی کسب نمایند.



شکل (۲-۲): ساختمان اتم تحریک‌شده (A^*)

اگر بخواهیم علاوه بر الکترون اوّل، الکترون دیگری از مولکول (یا اتم) گاز جدا کنیم، باید انرژی بسیار بیشتری به آن بدهیم. این انرژی را "پتانسیل دوم یونیزاسیون" آن مولکول (یا اتم) می‌گویند. بنابراین، پتانسیل دوم یونیزاسیون خیلی بیشتر از پتانسیل اوّل یونیزاسیون است، اگر انرژی اعمال شده کم‌تر از انرژی لازم برای یونیزاسیون باشد، ممکن است که الکترون فقط از مدار اوّلیهٔ خود به مداری با انرژی بالاتر برود؛ که این فرآیند را تحریک اتم می‌گویند (شکل ۲-۲ را ببینید).

به‌همین ترتیب، یک یون مثبت را نیز می‌توان تحریک نمود، ولی انرژی لازم برای تحریک آن از انرژی یونیزاسیون اتم خنثی بیشتر است. البتّه اتم تحریک شده فقط برای مدّت زمان کوتاهی می‌تواند در حال تحریک شده باقی بماند و پس از آن دوباره به حالت اصلی خود باز می‌گردد. این کار، توأم با آزاد سازی انرژی به‌صورت انرژی نورانی است که فرکانس نور تابیده شده f (چنانچه انرژی اتم در حال تحریک برابر با W_1 و در حالت موقعیّت اصلی آن برابر W_2 باشد)، از رابطهٔ (۲-۲) به‌دست می‌آید.

$$(W_1 - W_2) = h \cdot f \qquad (۲-۲)$$

در این رابطه h ثابت پلانگ و برابر با $۶/۶ \times ۱۰^{-۳۴}$ J.sec می‌باشد. مدّت زمانی که یک الکترون روی مدارهای بالاتر می‌ماند، بسیار کوتاه است که این زمان در حدود $۱۰^{-۸}$ تا $۱۰^{-۷}$ ثانیه است. برای بعضی از اتم‌ها این زمان بیشتر و به حدود $۱۰^{-۲}$ ثانیه می‌رسد. به این حالت از اتم، "حالت نیمه‌پایدار"[۱] (زمان ناپایداری بزرگ‌تر) می‌گویند.

ترکیب مجدّد

ترکیب مجدّد یون مثبت و الکترون آزاد، در اثر برخورد این دو با یکدیگر امکان‌پذیر خواهد بود که در این حالت، دوباره به یک اتم خنثی تبدیل می‌شوند. در اثر این ترکیب مجدّد، انرژی به‌صورت فوتون‌های نورانی آزاد می‌شود که فرکانس آن f و برابر است با:

$$h \cdot f = W_i + \Delta W_i$$

در این رابطه، W_i انرژی یونیزاسیون گاز و ΔW_i اختلاف انرژی جنبشی قبل و بعد از برخورد است. در گازهای الکترونگاتیو، الکترون آزاد نیز می‌تواند با یک اتم خنثی ترکیب شود و اتم خنثی به‌علّت داشتن یک الکترون اضافی به یک یون منفی (که ذرّه‌ای باردار است)، تبدیل شود. این خاصیت فقط در تعدادی از گازها مانند اکسیژن، کلر، فلور و SF6 وجود دارد که به آن‌ها "گازهای الکترونگاتیو" می‌گویند.

انواع یونیزاسیون در گازها

یونیزاسیون در گازها نیاز به شرایطی دارد تا بتواند انرژی لازم را برای یونیزه کردن اتم‌ها و مولکول‌های خنثای گاز را ایجاد کند؛ یعنی انرژیی که بتواند الکترون را از مدار گردشی خود به دور هسته جدا سازد. این انرژی به‌وسیلهٔ عوامل زیر تأمین می‌شود:

۱- برخورد ذرّات داخل گاز با یکدیگر و انتقال انرژی جنبشی (یونیزاسیون ضربه‌ای)؛

۲- تابش نور (یونیزاسیون نوری)؛

۳- حرارت دادن به‌منظور افزایش انرژی جنبشی ذرّات (یونیزاسیون حرارتی)؛

۴- صدور الکترون از سطح فلز الکترود احاطه کنندهٔ گاز (یونیزاسیون سطحی).

در ادامه به توضیح در مورد هر یک از روش‌های فوق می‌پردازیم.

یونیزاسیون ضربه‌ای

اگر ذرّهٔ دلخواهی (مانند یون، الکترون و یا مولکول خنثی) با جرمی برابر m و سرعتی معادل V در مسیر حرکت خود در میدان الکتریکی داخل گاز، به یک اتم خنثی و یا یک مولکول برخورد کند، ممکن است در نتیجهٔ این برخورد، اتم خنثی یا مولکول، یونیزه شود و به یک الکترون و یک یون مثبت تقسیم گردد. شرط لازم برای این عمل آن است که انرژی جنبشی ذرّهٔ در حال حرکت ($\frac{۱}{۲} mV^۲$)، از انرژی لازم برای یونیزه کردن گاز مربوط به آن بیشتر باشد. یعنی:

$$\frac{۱}{۲} mV^۲ \geq W_i \qquad (۳-۲)$$

قابل ذکر است که در این میدان الکتریکی، اگر الکترون یا یون آزاد در مسیر خود با اتمی اصابت نکند، مرتباً از میدان، انرژی بیشتری گرفته و با سرعت بیشتری حرکت می‌کند. به‌عنوان مثال، در صورتی‌که یک الکترون در میدان الکتریکی با شدّت ۳۰۰۰۰V/cm، فاصله‌ای به طول 10^{-3}cm را بدون برخورد با ذرّه‌ای طی کند، انرژی دریافتی آن برابر ۳۰eV خواهد بود.

برای محاسبهٔ شرط یونیزاسیون ضربه‌ای، نیاز به یک سلسله محاسبات است. اگر یک الکترون با جرم m_e با سرعت اولّیهٔ V_{e0} به یک اتم خنثی با جرم m و ساکن برخورد نماید، سرعت آن پس از برخورد V_{e1} و سرعت اتم خنثی بعد از برخورد V_1 می‌گردد که در اثر این برخورد، انرژی Δ از الکترون به اتم خنثی منتقل می‌شود. اگر برخورد مذکور را از نوع الاستیک در نظر بگیریم، آنگاه مجموع انرژی الکترون و اتم، قبل و بعد از برخورد و همچنین اندازهٔ حرکت آن‌ها قبل و بعد از برخورد ثابت می‌ماند. در نتیجه می‌توان نوشت:

اصل بقای انرژی :
$$\frac{1}{2} m_e V_{e0}^2 = \frac{1}{2} m_e V_{e1}^2 + \frac{1}{2} m V_1^2 + \Delta \qquad (۴-۲)$$

اصل بقای اندازهٔ حرکت :
$$m_e V_{e0} = m_e V_{e1} + m V_1 \qquad (۵-۲)$$

از رابطهٔ (۲-۴) می‌توان نوشت:

$$V_{e0}^2 = V_{e1}^2 + \frac{m}{m_e} V_1^2 + \frac{2\Delta}{m_e} \qquad (۶-۲)$$

همچنین از رابطهٔ (۲-۵) داریم:

$$m V_1 = m_e (V_{e0} - V_{e1}) \qquad (۷-۲)$$

با تقسیم طرفین رابطهٔ (۲-۷) بر m_e داریم:

$$\frac{m}{m_e} V_1 = (V_{e.} - V_{e1}) \qquad (۲-۸)$$

طرفین رابطهٔ (۲-۸) را به توان ۲ می‌رسانیم. در نتیجه،

$$(\frac{m}{m_e})^2 V_1^2 = (V_{e.} - V_{e1})^2 \qquad (۲-۹)$$

$$V_1^2 = (V_{e.} - V_{e1})^2 \left[\frac{m_e}{m}\right]^2 \qquad (۲-۱۰)$$

با جایگزینی رابطهٔ (۲-۱۰) در رابطهٔ (۲-۴) داریم:

$$V_{e.}^2 = V_{e1}^2 + (\frac{m_e}{m}) (V_{e.} - V_{e1})^2 + \frac{2\Delta}{m_e} \qquad (۲-۱۱)$$

و در نتیجه،

$$\Delta = \frac{m_e}{2} (V_{e.}^2 - V_{e1}^2) + \frac{m_e^2}{2m} (V_{e.} - V_{e1})^2 \qquad (۲-۱۲)$$

حال برای به‌دست آوردن حدّاکثر انرژی منتقل شده در اثر برخورد می‌توان نوشت که،

$$\frac{d\Delta}{dV_{e1}} = 0 \quad \Rightarrow \quad V_{e1} = \frac{m_e}{m_e + m} V_{e.} \qquad (۲-۱۳)$$

و در نتیجه حدّاکثر انرژی منتقل شده در اثر برخورد برابر است با:

$$\Delta_{max} = \frac{\frac{1}{2} m_e V_{e.}^2}{1 + \frac{m_e}{m}} \qquad (۱۴-۲)$$

با فرض این‌که $m_e << m$ باشد، آن‌گاه $\frac{m_e}{m} \cong 0$ بوده و،

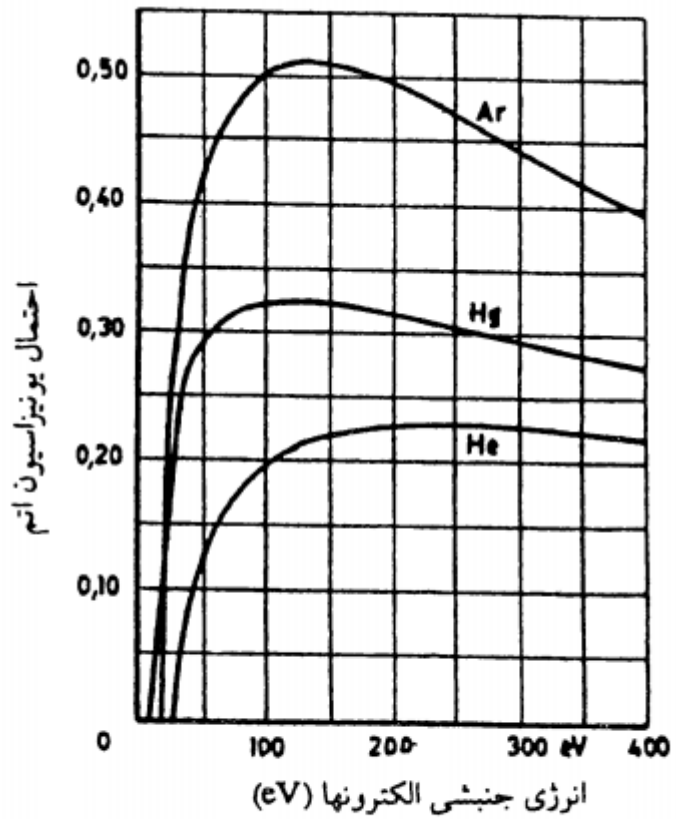
$$\Delta_{max} = \frac{1}{2} m_e V_{e.}^2 \qquad (۱۵-۲)$$

بنابراین، شرط لازم برای یونیزاسیون ضربه‌ای را می‌توان به این صورت بیان نمود که باید $\Delta_{max} \geq W_i$ باشد و یا $\frac{1}{2} m_e V_{e.}^2 \geq W_i$ باشد. البتّه این شرط، کافی نیست؛ زیرا بعضی از ذرّات (الکترون‌ها) با انرژی جنبشی بیشتر از انرژی یونیزاسیون اتم نیز وجود دارند که در عمل برخورد، تمام انرژی خود را منتقل نمی‌کنند. اگر میزان انرژی منتقل شده کم‌تر از انرژی یونیزاسیون باشد، عمل یونیزاسیون صورت نمی‌گیرد. معمولاً هر چقدر سرعت ذرّه بیشتر باشد، فرصت برای انتقال انرژی، کم‌تر است؛ زیرا زمان برخورد، کوتاهتر می‌شود. در عمل، معمولاً ذرّه‌هایی (مانند الکترون) با انرژی جنبشی کم‌تر از انرژی لازم برای یونیزاسیون اتم‌ها و مولکول‌های گاز (W_i در رابطهٔ ۲-۱۵) عمل یونیزاسیون را موجب می‌شوند و این به‌دلیل فرآیندی است که به آن "یونیزاسیون مرحله‌ای" می‌گویند. برای مثال، انرژی یونیزاسیون بخار جیوه برابر ۱۰/۴eV است؛ امّا در عمل، مشاهده می‌شود که برای یونیزه شدن این گاز، انرژی معادل ۴/۶۷eV هم کافی است (۴/۶۷ الکترون‌ولت انرژی محرکی است که الکترون را از یک مدار اصلی اتم خنثی روی مداری با زمان ناپایداری بزرگ‌تر انتقال می‌دهد).

احتمال یونیزاسیون در اثر برخورد

بالا رفتن سرعت ذرّهٔ محرّک (الکترون) در گاز، احتمال برخوردها را زیاد می‌کند؛ یعنی تعداد بیشتری از اتم‌ها شانس یونیزاسیون خواهند داشت و الکترون‌های آزاد بیشتری ایجاد می‌گردد. البتّه تجربه‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که این افزایش الکترون‌های آزاد، تا سرعت معیّنی است و از آن پس با زیادتر شدن سرعت (یعنی اضافه شدن انرژی الکترون‌ها)، احتمال یونیزاسیون کاهش می‌یابد. علّت این موضوع را می‌توان بدین صورت بیان نمود که در بر خورد یک الکترون با یک اتم، میدان‌های الکترومغناطیسی آن‌ها، یکدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در مورد الکترون‌های با سرعت‌های خیلی زیاد، مدّت تأثیر این میدان‌ها بسیار کم می‌شود؛ یعنی انرژی انتقال یافته به اتم، بسیار کوچک خواهد بود.

به‌عبارت دیگر، با افزایش سرعت، مدّت زمان برخورد کاهش یافته، فرصت لازم برای انتقال انرژی و جدا کردن الکترون ایجاد نمی‌شود. شکل (۲-۳)، احتمال یونیزاسیون را بر حسب انرژی جنبشی الکترون‌ها (بر حسب eV) نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳): احتمال یونیزاسیون در اثر برخورد با الکترون‌ها به‌عنوان تابعی از انرژی جنبشی الکترون‌ها

یونیزاسیون ضربه‌ای مرحله‌ای

عموماً یونیزاسیون ضربه‌ای به‌شکل مرحله‌ای و به روش‌های زیر امکان‌پذیر است:

الف) الکترونی (e_1) که انرژی کم‌تری از انرژی لازم برای یونیزاسیون (W_i) دارد، با اتم خنثی (A_1) برخورد می‌کند و الکترونی از آن را به مدار دورتری از هسته انتقال می‌دهد. حال چنانچه الکترون دیگری (e_2) این اتم تحریک شده (A_1^*) را مورد اصابت قرار دهد و انرژی خود را نیز به آن منتقل سازد، اتم پس از این اصابت و یا اصابت‌های بعدی، یونیزه شده، به الکترون (e) و یون مثبت ($\oplus$) تقسیم می‌شود. بدیهی است که در اینجا شرط لازم و کافی برای وقوع پدیدهٔ یونیزاسیون ضربه‌ای مرحله‌ای، زمان‌های بمباران و اصابت‌های متوالی است که باید حدّاقل کوتاه‌تر از زمان پایداری الکترون روی مداری غیر از مدار اصلی خود باشد. از اینجا اهمّیت حالات اتم تحریک شده با زمان ناپایداری بزرگ‌تر، در امکان دادن به تخلیهٔ الکتریکی گازها روشن می‌شود؛ زیرا در این حالات، الکترون به مدّت زمان 10^{-2} ثانیه روی مدار باقی می‌ماند. در روابط زیر، علامت KE مخفّف انرژی جنبشی[1] است.

$$e_1 + KE + A_1 \Rightarrow e_1 + A_1^* \quad \text{(برخورد نوع اوّل)}$$

$$A_1^* + e_2 + KE \Rightarrow \oplus + e + e_2 \quad \text{(برخورد نوع اوّل)}$$

1- Kinetic Energy

ب) بر اثر اصابت یک الکترون آزاد شده (e_1)، با یک اتم تحریک شده در حال برگشت (A_1^*)، اتم، انرژی از خارج گرفتهٔ خود را به الکترون می‌دهد و خود به‌حالت اصلی (A_1) باز می‌گردد. الکترون با گرفتن این انرژی، سرعت بیشتری می‌گیرد و با اصابت بعدی با اتم خنثای دیگری (A_2)، آن را یونیزه می‌کند.

$e_1 + KE + A_1^* \Rightarrow e_1 + KE + A_1$ (برخورد نوع دوم)

$A_2 + e_1 + KE \Rightarrow \oplus + e + e_1$ (برخورد نوع اوّل)

ج) بر اثر برخورد دو اتم تحریک شده با هم (A_1^* و A_2^*) که یکی از آن‌ها در حالت بازگشت به حالت عادی است، انرژی از اتم تحریک شده در حال برگشت، به اتم دیگر منتقل شده، در صورت تأمین انرژی یونیزاسیون، اتم تحریک شده، یونیزه می‌شود.

$A_1 + e_1 + KE \Rightarrow A_1^* + e_1$ (برخورد نوع اوّل)

$A_2 + e_2 + KE \Rightarrow A_2^* + e_2$ (برخورد نوع اوّل)

$A_1^* + A_2^* \Rightarrow \oplus + e + A_2$ (برخورد نوع دوم)

اصابت‌هایی که در آن‌ها یونیزاسیون با انتقال انرژی جنبشی یک ذرّه به ذرّهٔ دیگری انجام می‌شود، اصابت یا برخورد نوع اوّل نام دارد و یونیزاسیون‌هایی که بر اثر برخورد ذرّات و انتقال انرژی پتانسیل یکی به دیگری انجام می‌گیرد، برخورد نوع دوم نام می‌گیرند.

یونیزاسیون نوری

عامل مؤثّر دیگر برای ایجاد ذرّات با بار الکتریکی، یونیزاسیون نوری می‌باشد؛ بدین معنی که یونیزاسیون به‌وسیلهٔ تأثیر نور با طول موج‌های کوتاه انجام می‌گیرد. امواج نورانی با طول موج‌های کوتاه، دارای انرژی زیادی هستند که می‌توانند بر انرژی یونیزاسیون گازها غلبه کنند. برای آنکه تابش نور بر گاز، به یونیزاسیون آن منجر شود، لازم است تا انرژی نورانی (که طبق قانون پلانگ برابر فرکانس نور (f) ضرب در عدد ثابت پلانک (h) می‌باشد)، بزرگ‌تر از انرژی لازم برای یونیزاسیون گاز (W_i) باشد. یعنی،

$$h \cdot f \geq W_i$$

اگر طول موج نور را با λ نشان دهیم، با توجّه به رابطهٔ $\lambda = C/f$ خواهیم داشت:

$$\lambda \leq \frac{C \cdot h}{W_i}$$

در این معادله $C = ۳ \times ۱۰^{۸}$ m/sec سرعت نور است. برای مثال، در مورد بخار سزیم که حدّاقل انرژی یونیزاسیون $W_i = ۳/۸۸$ eV را در بین سایر گازها دارد، حدّاکثر طول موج نوری که بتواند آن را یونیزه کند عبارت است از:

$$\lambda = \frac{۳ \times ۱۰^{۸} \times ۶/۶ \times ۱۰^{-۳۴}}{۳/۸۸ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۳/۱۸۹ \times ۱۰^{-۷} \text{ m} = ۳۱۸۹ \text{ A}^{\circ}$$

چنین طول موجی در محدودهٔ ماوراء بنفش قرار دارد. برای سایر گازها، به‌دلیل داشتن انرژی یونیزاسیون بیشتر، طول موج مورد نیاز، کم‌تر از مقدار فوق خواهد بود. بنابراین، نورهای مرئی (که طول موج آن‌ها بین ۴۰۰۰ تا ۸۰۰۰ انگستروم A° است)، عملاً قادر به یونیزه کردن این گاز و سایر گازها نیستند. منابع معمولی تولید اشعهٔ ماوراء بنفش (لامپ‌های جیوه، کوارتز و غیره) طول موجشان کم‌تر از ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ انگستروم نیست. بنابراین، این منابع تنها قادر به یونیزه کردن گازهایی هستند که انرژی یونیزاسیون آن‌ها از ۶ تا ۸ الکترون‌ولت تجاوز نکند. امّا اغلب گازها دارای انرژی یونیزاسیون بیشتری هستند و بنابراین، به‌وسیلهٔ نور ماوراء بنفش قابل یونیزاسیون نمی‌باشند. امّا در عمل، بنابر دلایلی که ذکر می‌شود، یونیزاسیون نوری در اغلب گازها انجام‌پذیر است:

الف) همانند یونیزاسیون ضربه‌ای، مولکول و یا اتم گاز به‌طور متواتر، نور ساطع شده از اتم تحریک شده‌ای را که به حالت اصلی و معمولی خود باز می‌گردد، دریافت نموده و بالاخره یونیزه شود؛

ب) یک اتم تحریک شده و یک اتم تحریک نشده با هم مولکولی را تشکیل می‌دهند که انرژی یونیزاسیون آن از انرژی یونیزاسیون یک اتم کم‌تر است؛

ج) دلیل دیگر، وجود ذرّات خارجی معلّق در گاز، همانند گرد و غبار و رطوبت است که برای جدا شدن الکترون‌ها از مولکول‌های سطحی این ذرّات، انرژی کم‌تری از انرژی یونیزاسیون گاز لازم است و بر اثر برخورد فوتون‌ها با این ذرّات، الکترون‌های آزاد ایجاد می‌شوند؛

د) علاوه بر امواج ماوراء بنفش، امواج رادیواکتیو، اشعهٔ x، اشعهٔ گاما، و اشعه‌های کیهانی که در فرکانس‌های بالا (طول موج‌های کوتاه) بوده و انرژی زیادی دارند، قادر به یونیزاسیون نوری گازها هستند. در نتیجه، وجود تعداد کمی الکترون آزاد در کلّیهٔ گازها، به‌دلیل آن است که گازها به‌اندازهٔ بسیار کمی در معرض اشعه‌های کیهانی (که کم و بیش از خارج جو وارد جو زمین می‌شوند)، قرار می‌گیرند و تعداد کمی از اتم‌ها را یونیزه می‌کنند.

یکی از منابع مهّم یونیزاسیون نوری در گازها، برگشتن یون‌ها و مولکول‌های تحریک شده به وضعّیت عادی است. در این شرایط، مقدار زیادی فوتون‌های نوری آزاد می‌شوند که تعداد زیادی از آن‌ها انرژی لازم را برای یونیزاسیون گاز دارا هستند. چنان‌که بعداً خواهیم دید، این فوتون‌ها نقش بسیار مهمّی را در توسعه تخلیهٔ الکتریکی ایفا می‌کنند. یونیزاسیون نوری عامل مهمی در مکانیزم شکست الکتریکی تانزند[۱]، پدیدهٔ استریمر[۲] و پدیدهٔ کرونا[۳] است که در ادامهٔ این فصل، آن‌ها را بررسی خواهیم کرد.

1- *Townsend Breakdown*

2- *Streamer Phenomena*

3- *Corona Phenomena*