# تابش سنکروترونی ــ اولین درس

ذرات باردار در حرکت یک‌نواخت تابش ندارند، اما میدان الکتریکیِ آنها هنگام شتاب‌گرفتن آرایش جدیدی می‌گیرد و این اختلال در شکل میدان الکتریکی که با سرعت نور از بار دور می‌شود همان چیزی‌ست که ما به‌صورت تابش الکترومغناطیسی مشاهده می‌کنیم. برای نمونه در آنتنِ ایستگاه‌های تلویزیونی یا رادیویی بارهای الکتریکی آنتن با بس‌آمد (فرکانس) موجِ آن ایستگاهِ خاص به حرکت متناوب در جهت بالا و پایین واداشته می‌شوند. اگر الکترون آزاد نیز شتاب داده شود به‌همین صورت تابش می‌کند گرچه در این وضعیت چشمه‌ی تابش در حرکت است. تابشِ ذره‌ئی که با سرعت زیاد حرکت کند از دیدگاه مشاهده‌گر درون آزمایشگاه عمدتاً در جهت حرکت ذره است. می‌توانید کامیونی را در نظر بگیرید که با سرعت زیاد در حرکت است و در همه‌ی جهات از آن گوجه‌فرنگی به بیرون پرتاب می‌شود.این هم‌راستاشدن در جهت حرکت به‌ویژه برای ذراتی که با سرعت‌های بسیار نسبیتی حرکت می‌کند بارز می‌شود و تمام تابش در مخروط کوچکی متمرکز می‌شود که زاویه‌ی رأس آن $1/\gamma$ (حدود ۰٫۱ تا ۱ میلی‌رادیان) است ــ $\gamma$ نسبت انرژی ذره به جرم سکون آن است (معمولاً بین $10^3$ و $10^4$). در چشمه‌های تابش سنکروترونی (**حلقه‌های انبارش**) الکترون‌های بسیارنسبیتی ذخیره می‌شوند و در مداری دایره‌شکل چندین ساعت حرکت می‌کنند. شتاب عمود در جهت حرکت که در اثر میدان‌های مغناطیسی در **مغناطیس‌های خم‌کننده‌ی** مسیر به الکترون‌ها وارد می‌شود و باعث می‌شود آنها در مداری دایره‌شکل حرکت کنند عامل تابش است. هم‌چنین می‌توان با کاربرد **دستگاه‌های درون‌خط** با مغناطیس‌های نوسان‌ساز به الکترون‌ها شتاب تناوبی داد. تابش سنکروترونی در صفحه‌ی بردار شتاب که اغلب صفحه‌ی افقی است **قطبش خطی** دارد. بالا و پایین صفحه‌ی نیمساز مغناطیس، **قطبش بیضوی** مشاهده خواهد شد. تابش به‌صورت تپ(پالس)هائی خواهد بود که هر کدام بین ۱۰ تا ۲۰ پیکوثانیه دوام دارد و فاصله‌ی بین تپ‌ها ۲ نانوثانیه یا بیشتر خواهد بود.

**نوسان‌ساز (undulator):** در این دستگاه، باریکه‌ی الکترون را میدان‌های مغناطیسی‌ی ضعیف مرتباً منحرف می‌کنند. این انحراف‌ها باعث می‌شود الکترون (مانند الکترون‌های آنتن) در بس‌آمد حرکت تناوبیش در نوسان‌ساز تابش تولید کند. این بس‌آمد برای ذره برابر با دوره‌تناوب نوسان‌ساز است ($\lambda_p$) که به علت انقباض لورنتز باید بر $\gamma$ تقسیم شود. در دستگاه مختصات آزمایشگاه این طول‌موج برای مشاهده‌گر به‌علت اثر داپلر به‌میزان یک ضریب دیگر $\gamma$ کوچک‌تر می‌شود. به‌این‌ترتیب دوره‌تناوب طولیِ نوسان‌ساز که از مرتبه‌ی چند سانتی‌متر است به‌میزان $\gamma^2$ (از مرتبهٔ $10^6$ تا $10^8$) بار کوچک‌تر می‌شود، چنین طول‌موج‌هائی در گستره‌ی VUV و پرتوهای x قرار می‌گیرد. تفکیک طیفیِ تابش با تعداد دوره‌های نوسان‌ساز متناسب است و طول‌موج آن را می‌توان با تغییر میدان مغناطیسی تغییر داد. بیشتر تابش در زاویه‌ی کوچک $1/\gamma\sqrt{N_p}$ متمرکز است.

**مغناطیس لرزاننده (wiggler):** افزایش شدت میدان مغناطیسی باعث می‌شود حرکت عرضی کاملاً سینوسی الکترون در نوسان‌ساز به‌علت آثار نسبیتی اعوجاج پیدا کند و هم‌آهنگ‌های بالاتر تابش تک‌موج نوسان‌ساز ساخته شود. در نتیجه طیف تک‌فام نوسان‌ساز به طیفی متشکل از خط‌های جدا تبدیل می‌شود. به‌ازای میدان‌های بسیار شدید شمار هم‌آهنگ‌ها بسیار زیاد می‌شود و در نهایت این هم‌آهنگ‌ها به هم می‌پیوندند و طیفی پیوسته به‌وجود می‌آورند که از فروسرخ تا پرتوهای x سخت گسترده است. شدت طیف به‌ازای گسترهٔ بزرگی از طول‌موج‌ها بسیار کند تغییر می‌کند و سپس به‌ازای انرژی‌های بیشتر از **انرژی بحرانی** $\varepsilon \sim B\gamma^2$ به‌شکل نمایی افت می‌کند. در مقایسه با تابش مغناطیس خم‌کننده‌ی مسیر، تابش لرزاننده به‌اندازه‌ی تعداد قطب‌های مغناطیس تقویت شده است و درون زاویه‌ی $K/\gamma$ در حدود چند میلی‌رادیان هم‌راستاشده است.

**مغناطیس خم‌کننده‌ی مسیر (bending magnet):** تابش مانند نور چراغ‌قوه مماس بر مسیر گسیل می‌شود و در صفحه‌ی عمود بر مسیر (اغلب صفحه‌ی عمودی) به‌خوبی هم‌راستاشده است. مشاهده‌گر در ایستگاه آزمایش تنها تابشی را می‌بیند که خاستگاهش بخش کوچکی از مسیر دایره‌شکل است، این بخش را می‌توان به‌صورت قسمتی از مسیر سینوسیِ اعوجاج‌یافته‌ئی توصیف کرد. بنابراین طیف تابش شبیه به طیف تابش مغناطیس لرزاننده‌ئی است که شدت تابش تنها مربوط به یک قطب مغناطیسی است. چون شکل هندسیِ حلقه‌ی انبارش را مغناطیس‌های خم‌کننده‌ی مسیر تعیین می‌کنند، نمی‌توان شدت میدان را به‌دلخواه برگزید در نتیجه انرژی بحرانی فوتون مقداری از پیش‌تعیین‌شده است.

**جابه‌جاکننده‌ی طول‌موج (wavelength shifter):** این مغناطیس یک قطب مرکزی با میدان قوی دارد که دو قطب ضعیف‌تر بیرونی آن را در بر گرفته‌اند تا خمیدگیِ مسیر برخاسته از قطب مرکزی را جبران کنند. شدت میدان را به‌دل‌خواه می‌توان برگزید و انرژی بحرانی را کوک کرد. این دستگاه همراه با فناوری مغناطیس‌های ابررسانا به‌ویژه در حلقه‌های انبارش کم‌انرژی برای افزودن انرژی فوتون به‌کار می‌رود.