

# فیزیک ذرات و فن آوری‌های نوظهور

تدوین و گردآوری

دکتر کریم قربانی

عضو هیأت علمی دانشگاه اراک



## انتشارات دانشگاه اراک

|                     |  |
|---------------------|--|
| سرشناسه             | قربانی، کریم، ۱۳۵۵ - گردآورنده   |
| عنوان و نام پدیدآور | فیزیک ذرات و فن‌آوری‌های نوظهور / تدوین و گردآوری کریم قربانی.   |
| مشخصات نشر          | اراک: دانشگاه اراک، انتشارات، ۱۴۰۳.  |
| مشخصات ظاهری        | ۹۳ ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (بخشی رنگی).  |
| فروست               | انتشارات دانشگاه اراک؛ شماره انتشار ۲۳۹/۶.   |
| شابک                | ۹۷۸-۶۲۲-۸۱۵۴-۱۵-۲  |
| وضعیت فهرست‌نویسی   | فیپا   |
| موضوع               | ذره‌های بنیادی<br>Particles (Nuclear physics)<br>شتاب‌دهنده‌ها<br>Particle accelerators<br>آشکارسازها<br>Detectors |
| شناسه افزوده        | دانشگاه اراک، انتشارات، Arak University Press  |
| رده‌بندی کنگره      | QC۷۹۳/۲  |
| رده‌بندی دیویی      | ۵۳۹/۷۲   |
| شماره کتابشناسی ملی | ۹۶۲۵۷۰۴  |

---

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.

---

عنوان: فیزیک ذرات و فن‌آوری‌های نوظهور  
تدوین و گردآوری: دکتر کریم قربانی  
نوبت چاپ: اول  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳  
شمارگان: ۲۰۰ نسخه  
ناشر: انتشارات دانشگاه اراک  
چاپ و صحافی: انتشارات دانشگاه اراک

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

قیمت: ۱۴۰۰۰۰ تومان

اراک، میدان بسیج، بلوار کربلا، دانشگاه اراک، ساختمان کتابخانه مرکزی و مرکز اسناد، طبقه دوم، اتاق شماره ۲، انتشارات دانشگاه اراک  
پست الکترونیک: [press@araku.ac.ir](mailto:press@araku.ac.ir) - تارنما: <https://press.araku.ac.ir>



## فهرست مطالب

### مقدمه گردآورنده

|   |    |
|---|----|
| فصل اول - سرن: گذشته، حال و آینده.....                      | ۹  |
| ۱-۱ مقدمه.....  | ۹  |
| ۲-۱ آزمایش‌های اصلی در سرن و کشف ذره هیگز.....              | ۹  |
| ۳-۱ دستاوردهای سرن تاکنون.....                              | ۱۱ |
| ۴-۱ برنامه‌های آینده سرن.....                               | ۱۲ |
| ۱-۴-۱ استراتژی برای آینده.....                              | ۱۳ |
| ۲-۴-۱ اجرای استراتژی.....                                   | ۱۳ |
| ۳-۴-۱ چشم انداز.....  | ۱۴ |
| <br>  |    |
| فصل دوم - مهندسی مورد نیاز فیزیک ذرات.....                  | ۱۷ |
| ۱-۲ مقدمه.....  | ۱۷ |
| ۲-۲ تاریخچه.....  | ۱۸ |
| ۳-۲ یک شتاب دهنده چه کاری انجام می دهد؟.....                | ۱۸ |
| ۱-۳-۲ باریکه.....   | ۱۹ |
| ۲-۳-۲ محفظه خلاء.....                                       | ۱۹ |
| ۳-۳-۲ سیستم شتاب دهنده.....                                 | ۲۰ |
| ۴-۳-۲ میدان‌های مغناطیسی.....                               | ۲۱ |
| ۵-۳-۲ تغذیه DC.....   | ۲۲ |
| ۶-۳-۲ برخورد باریکه‌ها.....                                 | ۲۲ |
| ۴-۲ الزامات مهندسی.....                                     | ۲۴ |
| ۱-۴-۲ طرح اولیه.....  | ۲۴ |
| ۲-۴-۲ طراحی مفهومی.....                                     | ۲۵ |
| ۳-۴-۲ توسعه‌فنی، نمونه‌سازی، هزینه‌یابی و پیشنهاد ساخت..... | ۲۶ |
| ۴-۴-۲ ساخت و ساز و تدارکات.....                             | ۲۷ |

|    |   |
|----|---|
| ۲۷ | ۵-۴-۲ نصب و راه اندازی.....                                   |
| ۲۸ | ۶-۴-۲ خنک کننده و راه اندازی سخت افزار.....                   |
| ۲۸ | ۷-۴-۲ راه اندازی باریکه.....                                  |
| ۲۹ | ۸-۴-۲ عملیات گرفتن داده‌های فیزیکی.....                       |
| ۳۰ | ۵-۲ شرح سیستم به سیستم کاربری‌ها در شتاب‌دهنده.....           |
| ۳۰ | ۱-۵-۲ نقشه برداری، ژئودزی.....                                |
| ۳۱ | ۲-۵-۲ سیستم برودتی.....                                       |
| ۳۲ | ۳-۵-۲ آهنرباها.....   |
| ۳۸ | ۴-۵-۲ ثبات باریکه و محافظت.....                               |
| ۳۸ | ۶-۲ مبدل‌های قدرت.....  |
| ۳۹ | ۱-۶-۲ مبدل قدرت سوئیچینگ با ترانسفورماتور فرکانس بالا.....    |
| ۳۹ | ۲-۶-۲ مبدل قدرت سوئیچینگ با ترانسفورماتور ۵۰ هرتز.....        |
| ۳۹ | ۳-۶-۲ دقت بالا در مبدل‌های قدرت برای شتاب دهنده‌های ذرات..... |
| ۳۹ | ۴-۶-۲ کنترل مبدل قدرت دیجیتال.....                            |
| ۴۰ | ۵-۶-۲ اندازه‌گیری جریان در شتاب دهنده‌های ذرات.....           |
| ۴۱ | ۷-۲ خلاء فوق العاده بالا.....                                 |
| ۴۱ | ۱-۷-۲ تابش سینکروترونی.....                                   |
| ۴۲ | ۲-۷-۲ ابر الکترونی.....                                       |
| ۴۳ | ۳-۷-۲ پمپ خلاء.....   |
| ۴۳ | ۸-۲ ناپایداری‌های باریکه.....                                 |
| ۴۴ | ۱-۸-۲ فرکانس رادیویی.....                                     |
| ۴۷ | <b>فصل سوم- آشکارسازها و کاربرد آنها.....</b>                 |
| ۴۷ | ۱-۳ مقدمه.....  |
| ۴۸ | ۲-۳ آشکارسازهای ذرات برای تصویربرداری پزشکی.....              |
| ۴۸ | ۱-۲-۳ محفظه چند سیمی تناسبی.....                              |
| ۵۰ | ۲-۲-۳ تاونسند و تصویربرداری PET.....                          |
| ۵۳ | ۳-۳ هادرون درمانی.....  |
| ۵۴ | ۱-۳-۳ پروژه PIMMS.....  |

|      |  |
|------|--|
| ۵۶   | ..... پروژۀ کلیدی ENLIGHT ۲-۳-۳  |
| ۵۷   | ..... تصویربرداری پزشکی برای رادیوتراپی ۴-۳                            |
| ۵۹   | ..... افق‌های جدید در تصویربرداری CT ۱-۴-۳                             |
| ۶۱   | ..... سخن آخر ۵-۳  |
| <br> |  |
| ۶۷   | ..... فصل چهارم- تابش سینکروترون و کاربردهای آن ۶۷                     |
| ۶۷   | ..... ۱-۴ مقدمه ۶۷   |
| ۶۷   | ..... ۲-۴ تابش سینکروترون و مشخصات آن ۶۷                               |
| ۶۹   | ..... ۳-۴ تاسیسات سینکروترون ۶۹  |
| ۷۰   | ..... ۴-۴ یک سینکروترون چگونه کار می‌کند و چرا SR منحصر به فرد است؟ ۷۰ |
| ۷۱   | ..... ۵-۴ کاربرد در پژوهش ۷۱   |
| ۷۱   | ..... ۱-۵-۴ فیزیک ۷۱   |
| ۷۲   | ..... ۲-۵-۴ علم مواد ۷۲  |
| ۷۵   | ..... ۳-۵-۴ علوم زیستی ۷۵  |
| ۷۷   | ..... ۴-۵-۴ پزشکی ۷۷   |
| ۷۸   | ..... ۵-۵-۴ شیمی ۷۸  |
| ۷۹   | ..... ۶-۵-۴ محیط زیست ۷۹   |
| ۷۹   | ..... ۷-۵-۴ علوم زمین ۷۹   |
| ۷۹   | ..... ۶-۴ کاربردهای صنعتی ۷۹   |
| ۸۰   | ..... ۱-۶-۴ تکنیک‌های صنعتی ۸۰   |
| ۸۲   | ..... ۲-۶-۴ کاربردها در صنایع مختلف ۸۲                                 |
| <br> |  |
| ۸۹   | ..... منابع ۸۹   |



## مقدمه گردآورنده

کشف قوانین حاکم بر دنیای زیراتمی از طریق آزمایش‌های پیچیده فزاینده‌ای انجام می‌شود که طیف گسترده‌ای از انرژی را پوشش می‌دهد و این کشف می‌تواند در محیط‌های مختلف اتفاق بیفتد. از شتاب دهنده‌های ذرات گرفته تا آشکارسازهای زیرزمینی، ماهواره‌ها و آزمایشگاه‌های فضایی. دستیابی به این برنامه‌های تحقیقاتی مستلزم استفاده از تکنیک‌های جدید، مواد جدید و ابزار دقیق پیشرفته در آشکارسازهای معمولاً بزرگ مقیاس است. بنابراین فیزیک ذرات در خط مقدم پیشرفت تکنولوژی قرار دارد و همچنین منجر به کاربردهای بسیاری در زندگی بشر می‌شود.

امروزه ابزارهای فیزیک ذرات تجربی در بیمارستان‌ها و در همه جای تحقیقات زیست پزشکی یافت می‌شوند. باریکه‌های ذرات به سلول‌های سرطانی آسیب می‌رسانند، زیرساخت‌های محاسباتی با کارایی بالا اکتشاف داروهای جدید را تسریع می‌بخشند، و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری مربوط به نحوه برهم‌کنش ذرات با ماده، برای مدل‌سازی اثرات تابش بر بافت‌های بیولوژیکی استفاده می‌شود. همچنین طیف متنوعی از آشکارسازهای الهام گرفته از فیزیک ذرات، از محفظه‌های سیمی گرفته تا کریستال‌های سوسوزن تا آشکارسازهای پیکسلی، همگی جایی خاص در تصویربرداری از بدن انسان پیدا کرده‌اند.

بزرگترین شتاب دهنده ساخته شده توسط انسان واقع در سرن<sup>1</sup> به طور فعال کاربردهای پزشکی فناوری‌های خود را از دهه ۱۹۷۰ دنبال کرده است. در آن زمان انتقال دانش، عمدتاً به طور تصادفی، از طریق ابتکار محققین به شحصه اتفاق می‌افتاد. یک نمونه برجسته، جرج چارپاک فیزیکدان متخصص آشکارسازها است که با قدرت خلاقیت بالای خود اتاقک تناسبی چند سیمی<sup>2</sup>، MWPC، را در سال ۱۹۶۸ در سرن اختراع کرد و به خاطر آن برنده جایزه نوبل شد. توانایی MWPC برای ثبت میلیون‌ها رد از ذرات در ثانیه، عصر جدیدی را برای فیزیک ذرات گشود. اما چارپاک تلاش کرد تا اطمینان حاصل کند که این فناوری می‌تواند در خارج از حوزه فیزیک ذرات نیز مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال کاربرد آن در تصویربرداری پزشکی است، جایی که حساسیت بالای اختراع او وعده کاهش دوز پرتو در طی مراحل تصویربرداری را می‌داد. او سال ۱۹۸۹ شرکتی تأسیس کرد که یک فناوری تصویربرداری برای رادیوگرافی را توسعه می‌داد. سرن به پیروی از او، از آن زمان به ساختن فرهنگ کارآفرینی ادامه داده است.

---

1- CERN-The European Organization for Nuclear Research

2- MultiWire Proportional Chamber

یکی از سوالاتی که از ذهن دانشجویان و حتی محققین خطور می‌کند این است که فایده انجام کارهای پژوهشی محض در زندگی روزمره چیست؟ وقتی تحقیقات بنیادی فیزیک ذرات در سرن در اوایل دهه نود میلادی در حال انجام بود هیچ کس انتظار ظهور و پیدایش <sup>1</sup>WWW یا اینترنت را در سرن نداشت. هرچند انگیزه اصلی ابداع اینترنت در ابتدا سرعت بخشیدن به انتقال داده‌ها و اطلاعات بین دانشگاه‌ها و موسسات پژوهشی بود، امروزه اینترنت نقش اساسی و انکارناپذیر در زندگی روزمره بشر بازی می‌کند و همچنین بدون آن پیشرفت‌های علمی در تمام ابعاد با چالش بزرگی مواجه می‌شود. اینها نمونه‌هایی بودند از فن‌آوری‌هایی که در مراحل مختلف تحقیقات فیزیک ذرات به وجود آمدند و سپس زمینه انتقال آنها به کاربردهای روزمره فراهم گردید. هدف پیش بینی شده در این کتاب آشنا کردن خواننده با بخشی از کاربردهایی است که فن‌آوری‌های پیشرو در فیزیک ذرات در اختیار ما قرار می‌دهد و موجب بهبود شرایط زندگی بشر می‌شود.

در پایان لازم می‌دانم از انتشارات دانشگاه اراک، به خصوص آقای دکتر محسن نصرآبادی و خانم فریده احمدی کمال تشکر را داشته باشم.

کریم قربانی  
بهار ۱۴۰۳