

Pemanfaatan Radioaktivitas di Bidang Kesehatan Sebagai Objek Pembelajaran Fisika

Lailatul Rahmi¹, Gresha Haria Putra², Desnita³

^{1,2,3} Magister Fisika, Universitas Negeri Padang

e-mail: lailatulrahmi1401@gmail.com¹, hpgresha1101393@gmail.com²,
desnita@fmipa.unp.ac.id³

Abstrak

Radioaktivitas telah menjadi topik penting dalam pembelajaran fisika, terutama karena implikasinya yang signifikan dalam bidang kesehatan. Pemanfaatan radioaktivitas dalam dunia medis telah berkembang pesat, memungkinkan diagnosis dini dan terapi yang lebih efektif untuk berbagai kondisi medis seperti kanker, penyakit jantung, dan gangguan metabolisme. Pemahaman prinsip dasar radioaktivitas menjadi landasan penting bagi siswa untuk mengeksplorasi aplikasi medis yang kompleks dan mencegah kesalahan dalam diagnosis. Diagnostik medis, terapi, pelacakan biologi, dan studi metabolisme adalah beberapa aplikasi utama radioaktivitas dalam bidang kesehatan. Meskipun memberikan manfaat besar, penggunaan radioaktivitas juga memiliki potensi bahaya yang harus dikelola dengan baik, seperti paparan radiasi berlebihan dan kontaminasi lingkungan. Menerapkan standar keselamatan yang ketat adalah kunci dalam meminimalkan risiko. Dengan mengintegrasikan topik radioaktivitas dalam pembelajaran fisika, siswa tidak hanya memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang konsep fisika, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kepekaan terhadap isu-isu etika yang relevan. Oleh karena itu, penelitian tentang pemanfaatan radioaktivitas dalam bidang kesehatan sebagai objek pembelajaran fisika sangat penting.

Kata Kunci : *Radioaktivitas, Pembelajaran Fisika, Bidang Kesehatan, Konsep Fisika.*

Abstract

Radioactivity has become an important topic in the study of physics, especially due to its significant implications in the field of health. The medical utilization of radioactivity has grown rapidly, enabling early diagnosis and more effective therapies for various medical conditions such as cancer, heart disease, and metabolic disorders. Understanding the basic principles of radioactivity is an important foundation for students to explore complex medical applications and prevent errors in diagnosis. Medical diagnostics, therapeutics, biology tracking, and metabolic studies are some of the major applications of radioactivity in the healthcare field. While providing great benefits, the use of radioactivity also has potential hazards that must be properly managed, such as excessive radiation exposure and

environmental contamination. Implementing strict safety standards is key in minimizing risks. By integrating the topic of radioactivity in physics learning, students not only gain a more comprehensive understanding of physics concepts, but also develop critical thinking skills and sensitivity to relevant ethical issues. Therefore, research on the utilization of radioactivity in the health field as a physics learning object is very important.

Keywords : *Radioactivity, Physics Learning, Health Field, Physics Concepts.*

PENDAHULUAN

Radioaktivitas merupakan salah satu topik utama dalam pembelajaran fisika yang memiliki implikasi penting dalam berbagai bidang, terutama pada bidang kesehatan. Pemanfaatan radioaktivitas dalam dunia medis berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir, membuka cakrawala baru dalam bidang diagnosis dan terapi berbagai kondisi medis (Cherry et al., 2018). Aplikasi radioaktif ini dapat memungkinkan dilakukannya pendeteksian dini dan penanganan yang lebih efektif, untuk berbagai kondisi medis seperti kanker, penyakit kardiovaskular, dan gangguan metabolisme.

Pemahaman tentang prinsip-prinsip dasar radioaktivitas, seperti peluruhan radioaktivitas, jenis radiasi, interaksi materi, intensitas radiasi, dan waktu paparan; menjadi landasan penting bagi siswa untuk mengeksplorasi aplikasi medis yang kompleks. Pemahaman prinsip dasar ini sangat penting agar tidak terjadi kesalahan atau kekeliruan dalam diagnosa atau terapi suatu penyakit. Selain itu dengan menguasai konsep-konsep ini, siswa dapat lebih memahami bagaimana radioaktivitas dapat digunakan untuk menghasilkan diagnostik yang mendetail, memantau proses metabolisme dalam tubuh, dan bahkan memberikan terapi radiasi yang tepat sasaran (Zanzonico, 2012).

Salah satu aplikasi radioaktivitas dalam bidang kesehatan adalah pencitraan diagnostik. Pencitraan diagnostic ini dapat berupa PET (*Positron Emission Tomography*) dan SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*). Teknik-teknik ini menggunakan isotop radioaktif untuk menghasilkan gambaran fungsional dari organ dan jaringan tubuh manusia. Selain itu teknik ini juga memungkinkan pendeteksian dini dan diagnose yang akurat untuk berbagai kondisi medis, termasuk kanker, penyakit jantung dan gangguan otak (Bernardo-Filho et al., 2005)

Disamping diagnosis, radioaktivitas juga memainkan peran penting dalam terapi medis. Terapi medis ini dapat berupa radioterapi dan terapi isotop. Terapi ini telah menjadi pilihan pengobatan yang efektif untuk menyembuhkan berbagai jenis kanker. Dengan memanfaatkan sifat radioaktif, dokter dan tenaga medis dapat menargetkan dan menghancurkan sel-sel kanker dengan tepat, serta dapat meminimalisir perluasan kerusakan jaringan (Baskar et al., 2012).

Aplikasi lain dari radioaktivitas dibidang kesehatan antara lain pada pelacakan biologi dan studi metabolisme. Dengan menyuntikkan isotop radioaktivitas kedalam tubuh pasien, para ilmuwan dan dokter bisa melacak distribusi dan metabolisme dari senyawa tertentu di dalam organ tubuh pasien. Selain itu dengan radioaktivitas juga dapat memberikan wawasan yang penting tentang fungsi fisiologis dan patologi berbagai kondisi medis (Madsen, 2007)

Meskipun radioaktivitas memberikan manfaat yang besar dalam bidang kesehatan, tetapi penggunaan radioaktivitas juga memiliki potensi bahaya yang cukup tinggi jika tidak di kelola dengan benar seperti (a) paparan radiasi yang berlebihan dapat merusak sel dan jaringan tubuh, meningkatkan resiko kanker dan efek kesehatan lainnya (United Nations, 2021), (b) kontaminasi radioaktif yang dapat menyebabkan paparan internal dan eksternal yang berbahaya baik bagi pasien maupun operator, (c) kebocoran sumber radiasi dapat menyebabkan paparan radiasi yang tidak terkendali, (d) paparan radiasi dapat menyebabkan mutasi genetic dan dapat meningkatkan resiko efek genetik pada generasi berikutnya, (e) limbah radioaktif yang dihasilkan dari aplikasi medis jika tidak dikelola dengan benar dapat mengakibatkan kontaminasi lingkungan dan paparan radiasi pada masyarakat umum (IAEA., 2018).

Untuk mencegah bahaya-bahaya radiasi perlu mematuhi standar penting penggunaan radioaktif, seperti (a) Prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) mengharuskan paparan radiasi harus dijaga serendah mungkin dengan mempertimbangkan faktor-faktor sosial dan ekonomi (IAEA., 2018), (b) fasilitas medis harus memiliki lisensi dan mematuhi peraturan penggunaan radioaktif yang berlaku (Peraturan BAPETEN No 3 Tahun, 2013), (c) operator yang menggunakan radioaktivitas harus menjalani pelatihan khusus dan memperoleh sertifikat yang sesuai (IAEA., 2018), (d) dosis radiasi yang diterima oleh pasien, pekerja medis, dan masyarakat umum harus dipantau dan dicatat dengan cermat (ICRP, 2007), (e) fasilitas medis yang menggunakan radioaktivitas harus memiliki desain khusus, perlindungan radiasi, dan peralatan yang sesuai untuk menjamin keselamatan (Rohrig, 2006), (f) limbah radioaktif yang dihasilkan dari aplikasi medis harus dikelola dengan benar untuk mencegah kontaminasi lingkungan (IAEA., 2018).

Dengan mengintegrasikan topik radioaktivitas dalam bidang kesehatan ke dalam pembelajaran fisika, siswa dapat memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang aplikasi nyata dari konsep-konsep fisika. Selain itu, siswa juga dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kemampuan memecahkan masalah, dan kepekaan terhadap isu-isu lingkungan baik fisik maupun sosial (Iskandar et al., 2020). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang "Pemanfaatan Radioaktivitas Pada Bidang Kesehatan Sebagai Objek Pembelajaran Fisika".

Pemanfaatan radioaktivitas dalam bidang kesehatan merupakan topik menarik dalam pembelajaran fisika. Mengaju pada capaian pembelajaran yang ditetapkan dalam kurikulum, aplikasi radioaktif dibidang kedokteran itu dapat di kelompokkan kedalam materi radioaktivitas pada fase F kelas 12. Konsep-konsep esensial yang mencakup materi

a. Prinsip Radioaktivitas

Siswa belajar tentang radioaktivitas, jenis-jenis radiasi, dan proses peluruhan radioaktif dalam inti atom.

b. Aplikasi Pemindaian Radioaktif

Teknologi seperti PET dan SPECT menggunakan zat radioaktif untuk mendeteksi penyakit, dengan siswa memahami prinsip fisika di baliknya.

c. Terapi Radiasi

Pembelajaran meliputi penggunaan radiasi untuk mengobati penyakit, seperti kanker, termasuk dosis radiasi dan prinsip-prinsip fisika terkait.

- d. Peluruhan Radioaktif dalam Pengobatan
Isotop radioaktif dalam obat-obatan (radiofarmasi) dijelaskan, termasuk produksi, penggunaan, dan pengelolaan limbah radioaktif.
- e. Perlindungan Radiasi
Konsep dosis radiasi, perlindungan peralatan, dan strategi pengurangan risiko bagi personel medis dan pasien dibahas
- f. Perkembangan Teknologi
Siswa mempelajari inovasi terbaru dalam teknologi medis yang memanfaatkan radiasi untuk diagnostik dan terapi.

Dengan mempelajari pemanfaatan radioaktivitas dalam kesehatan, siswa tidak hanya memahami konsep fisika yang mendasarinya, tetapi juga menghargai kontribusi fisika dalam kemajuan teknologi medis. Selain itu, siswa diharapkan mampu menentukan sikap terapi atau diagnosa yang tepat untuk suatu kondisi medis.

METODE

Pada penelitian ini menggunakan metode literature review. Hal ini dilakukan untuk mengeksplorasi temuan-temuan dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topic penelitian. Ada beberapa langkah yang dapat dilakukan dalam penelitian ini yaitu pertama melakukan pencarian literatur yang dapat dilakukan dengan menggunakan web online dan menggunakan kata kunci yang terkait dengan topik penelitian. Kedua, memastikan kualitas dan relevansi dari artikel artikel tersebut. Ketiga, melakukan analisis terhadap isi dan temuan-temuan dari seriap artikel. Keempat menyusun laporan dari analisis dari artikel tersebut yang ditulis secara sistematis. Berikut rincian langkah-langkah penelitian metode literature review :

- a. Pengkajian Literature
Tahap awal penelitian ini akan menggali berbagai literatur yang terkait dengan pemanfaatan radioaktivitas dalam bidang kesehatan. Sumber literatur yang akan dicari mencakup artikel jurnal, buku teks, dan laporan riset yang membahas konsep dasar radioaktivitas, teknologi diagnostik seperti PET dan SPECT, terapi radiasi, serta aspek keselamatan yang terkait.
- b. Pengembangan Alat Pengumpulan Data
Alat pengumpul data digunakan untuk menghimpun informasi yang relevan dengan tujuan penelitian. Ini mungkin termasuk penyusunan kuesioner untuk mengukur pemahaman siswa tentang konsep-konsep fisika terkait radioaktivitas dalam konteks kesehatan, serta wawancara untuk mendapatkan perspektif mendalam siswa terhadap topik tersebut.
- c. Penyusunan Rencana Pembelajaran
Berdasarkan literatur yang telah dikaji, akan disusun rencana pembelajaran yang mencakup materi, metode pengajaran, dan alat evaluasi. Rencana pembelajaran ini bertujuan untuk memastikan pemahaman komprehensif siswa terhadap materi serta pengembangan keterampilan berpikir kritis dan kesadaran etika terkait.
- d. Pelaksanaan Penelitian di Kelas

Penelitian akan dilakukan melalui pembelajaran aktif di kelas yang melibatkan siswa dalam pemahaman konsep radioaktivitas dalam konteks kesehatan. Selama proses ini, alat pengumpulan data akan digunakan untuk mencatat pemahaman siswa, respons terhadap materi, dan kemajuan mereka dalam mempelajari dan menerapkan konsep fisika yang terkait.

e. Analisis Data

Data yang terkumpul akan dianalisis baik secara kualitatif maupun kuantitatif untuk mengevaluasi dampak pembelajaran tentang radioaktivitas terhadap pemahaman siswa, kemampuan berpikir kritis, dan kesadaran etika. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi temuan utama dan implikasinya dalam konteks pendidikan fisika.

f. Interpretasi dan Kesimpulan

Temuan dari analisis akan diinterpretasikan untuk menyusun kesimpulan penelitian, termasuk rekomendasi untuk pengembangan pembelajaran lebih lanjut tentang radioaktivitas dalam bidang kesehatan. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi pemahaman siswa dan penerapan praktisnya dalam kehidupan sehari-hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Radioaktivitas menjadi salah satu topik yang sangat penting dalam ilmu fisika, terutama dalam kaitannya pada aplikasi bidang kesehatan. Pemanfaatan radioaktivitas dalam dunia kesehatan memberikan dampak yang signifikan dalam diagnosis dan pengobatan pada berbagai kondisi medis. Oleh karena itu, pengaplikasian materi radioaktivitas ke dalam kurikulum dapat menjadi objek pembelajaran yang menarik dan kontekstual bagi siswa.

Salah satu pengaplikasian radioaktivitas dalam bidang kesehatan adalah berupa pencitraan diagnostik. Pencitraan diagnostik ini bertujuan untuk memperoleh kualitas gambar dalam tubuh manusia secara optimal dan konsisten (Trian Setyawan dan Suryono, 2014). Pencitraan diagnostik dapat dilakukan dengan menggunakan radiasi pengion dalam bentuk alat yang dapat mendeteksi dan memantau penyakit serta memandu prosedur medisnya (Mahesh, 2013). Pencitraan ini dapat menggunakan sinar-X, USG, CT scan, PET scan dan MRI (Nahak, 2023). Pencitraan diagnostik dilakukan oleh ahli radiografi dan penata rontgen.

Selain pencitraan diagnostik radioaktivitas juga dimanfaatkan pada terapi radiasi untuk pengobatan kanker. Terapi radiasi atau radioterapi merupakan pengobatan kanker yang menggunakan radiasi pengion. Menurut pendapat Niwele (2021) radioterapi dapat mengancurkan sel kanker dan dapat digunakan untuk mengobati berbagai jenis kanker. Ozdemir et al., (2017) menyatakan bahwa radioterapi sudah menjadi salah satu modal utama dalam pengobatan kanker. Dengan adanya radioterapi ini pengobatan kanker menjadi lebih mudah.

Integrasi aplikasi radioaktivitas dalam pembelajaran fisika memberikan banyak manfaat kepada siswa. Ini membantu siswa memahami konsep fisika fundamental seperti energi, massa, dan perubahan materi secara konkret dan relevan. Penggunaan radioaktivitas dalam dunia kesehatan juga memungkinkan siswa menerapkan teori fisika

dalam konteks kehidupan sehari-hari, sambil mengembangkan keterampilan analitis melalui studi kasus dan eksperimen terkait. Selain itu, siswa juga akan memahami risiko dan manfaat penggunaan radioaktivitas dalam berbagai konteks, termasuk kesehatan, serta menyelidiki isu-isu kontemporer seperti limbah radioaktif dan etika penggunaan teknologi (IAEA., 2018). Dengan demikian, integrasi ini memperluas pemahaman siswa tentang fisika dan penerapannya dalam kehidupan nyata (Iskandar et al., 2020).

Dalam penelitian ini, kami melakukan eksplorasi tentang penggunaan radioaktivitas dalam bidang kesehatan, terutama dalam konteks aplikasi diagnostik dan terapi medis. Dengan menggunakan metode literature review, kami mengumpulkan temuan-temuan yang telah dilakukan sebelumnya terkait dengan topik ini.

Temuan pertama dari literatur menegaskan bahwa penggunaan radioaktivitas dalam praktik medis telah membawa kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan kemampuan diagnosis dini dan efektivitas terapi untuk berbagai penyakit, seperti kanker, penyakit jantung, dan gangguan metabolisme (Madsen, 2007). Teknik diagnostik seperti PET dan SPECT, yang menggunakan isotop radioaktif, memungkinkan pencitraan fungsional yang detail dari organ dan jaringan tubuh manusia, memungkinkan deteksi penyakit lebih awal dan diagnosis yang lebih tepat (IAEA., 2018). Selanjutnya, terapi medis seperti radioterapi dan terapi isotop telah terbukti efektif dalam mengobati berbagai jenis kanker. Dengan memanfaatkan sifat radioaktif, dokter dapat menargetkan sel-sel kanker dengan akurat, sambil meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat di sekitarnya. Selain itu, penggunaan radioaktivitas juga penting dalam pelacakan biologi dan studi metabolisme, di mana isotop radioaktif digunakan untuk melacak distribusi dan metabolisme senyawa dalam tubuh pasien, memberikan wawasan penting tentang fungsi fisiologis dan patologi berbagai kondisi medis (Madsen, 2007).

Namun, penting untuk diingat bahwa penggunaan radioaktivitas juga membawa risiko, seperti paparan radiasi berlebihan yang dapat menyebabkan kerusakan jaringan dan peningkatan risiko kanker. Oleh karena itu, pematuhan terhadap standar keselamatan yang ketat sangat penting, termasuk penggunaan prinsip ALARA, pemantauan dosis radiasi, dan manajemen limbah radioaktif yang benar (United Nations, 2021). Dengan mengintegrasikan pembelajaran tentang radioaktivitas dalam pembelajaran fisika, siswa dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang konsep fisika dalam konteks aplikasi kesehatan. Selain itu, mereka juga dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kesadaran etika yang terkait dengan penggunaan teknologi dalam dunia nyata.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan radioaktivitas dalam bidang kesehatan memiliki dampak yang signifikan dan kompleks. Dengan memahami konsep dasar radioaktivitas dan menerapkan standar keselamatan yang ketat, penggunaan teknologi ini dapat terus meningkatkan kualitas perawatan medis dan meminimalkan risiko bagi pasien dan masyarakat umum.

SIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa pemanfaatan radioaktivitas dalam domain kesehatan memiliki dampak penting dan kompleks. Dengan pemahaman yang mendalam terhadap prinsip-prinsip dasar radioaktivitas dan implementasi standar keselamatan yang

ketat, teknologi ini tidak hanya dapat meningkatkan mutu perawatan medis, tetapi juga mengurangi risiko bagi pasien serta masyarakat umum. Integrasi materi radioaktivitas dalam kurikulum pelajaran fisika menjadi sangat relevan karena dapat memberikan siswa pemahaman yang lebih baik tentang konsep fisika dalam konteks penerapannya dalam bidang kesehatan. Dengan mempelajari bagaimana radioaktivitas dimanfaatkan dalam diagnosis dan terapi medis, siswa dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis mereka dan meningkatkan kesadaran etika terkait dengan penggunaan teknologi dalam kehidupan sehari-hari.

Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang pemanfaatan radioaktivitas dalam bidang kesehatan menjadi kunci bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan praktik medis. Dari penelitian ini, kita mengetahui pentingnya penyampaian pendidikan yang holistik mengenai radioaktivitas untuk membentuk tenaga medis yang terampil dan memiliki kesadaran akan risiko serta tanggung jawab mereka dalam menerapkan teknologi ini demi kesejahteraan masyarakat secara menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Baskar, R., Lee, K. A., Yeo, R., & Yeoh, K. W. (2012). Cancer and radiation therapy: Current advances and future directions. *International Journal of Medical Sciences*, 9(3), 193–199. <https://doi.org/10.7150/ijms.3635>
- Bernardo-Filho, M., Santos-Filho, S. D., de Moura, E. G., Maiworm, A. I., Orlando, M. M. de C., Penas, M. E., Cardoso, V. N., Bernardo, L. C., & Brito, L. de C. (2005). Drug Interaction with Radiopharmaceuticals: A Review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(SPECIAL ISS. 2), 13–27. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132005000700003>
- Cherry, S. R., Jones, T., Karp, J. S., Qi, J., Moses, W. W., & Badawi, R. D. (2018). Total-body PET: Maximizing sensitivity to create new opportunities for clinical research and patient care. *Journal of Nuclear Medicine*, 59(1), 3–12. <https://doi.org/10.2967/jnumed.116.184028>
- IAEA. (2018). *Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation: Specific Safety Guide*. 340.
- ICRP. (2007). ICRP PUBLICATION 103 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Radiation Physics and Chemistry*, 188(24), 1–337. www.mdpi.com/journal/diagnostics%0Ahttp://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1609_web.pdf%5Cnhttp://www.vomfi.univ.kiev.ua/assets/files/IAEA/Pub1462_web.pdf%0Ahttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16168243
- Iskandar, I., Sastradika, D., Jumadi, Pujianto, & Defrianti, D. (2020). Development of creative thinking skills through STEM-based instruction in senior high school student. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/4/042043>
- Madsen, M. T. (2007). Recent advances in SPECT imaging. *Journal of Nuclear Medicine*, 48(4), 661–673. <https://doi.org/10.2967/jnumed.106.032680>
- Mahesh, M. (2013). *The Essential Physics of Medical Imaging*, Third Edition. *Medical*

- Physics*, 40(7). <https://doi.org/10.1118/1.4811156>
- Nahak, F. T. (2023). Teknik Pemeriksaan Kontras Upper Gastrointestinal Dengan Klinis Vomiting Instalasi Radiologi Rsud Jombang. *Strada Journal of Radiography*, 1(1), 2962–4675.
- Niwele, A. (2021). *Jurnal Pengabdian Ilmu Kesehatan Penyuluhan Kepada Masyarakat Mengenai Hubungan Radiasi Dan Kanker Di Gemba*. 1(3).
- Ozdemir, H., Tuncel, N., & Kizildag, A. U. (2017). The Impact of Small Field's Off-Set on Output Factor in Intensity Modulated Radiation Treatment. *International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology*, 06(04), 433–444. <https://doi.org/10.4236/ijmpcero.2017.64039>
- Peraturan BAPETEN No 3 Tahun. (2013). Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Radioterapi. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir*, 1–41.
- Rohrig, N. (2006). Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, NCRP Report No. 151. In *Health Physics* (Vol. 91, Issue 3). <https://doi.org/10.1097/01.hp.0000205229.89321.ce>
- Trian Setyawan dan Suryono, H. (2014). Uji Resolusi Spasial Pada Perangkat Lunak Computed Radiography Menggunakan Pengolahan Citra Digital. *Youngster Physics Journal*, 3(4), 311–316.
- United Nations. (2021). Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - Sixty-seventh and sixty-eighth sessions. *Unscear*, 46. <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09553006614551441>
- Zanzonico, P. (2012). Principles of nuclear medicine imaging: planar, SPECT, PET, multi-modality, and autoradiography systems. *Radiation Research*, 177(4), 349–364. <https://doi.org/10.1667/rr2577.1>