



Specjalizacja w dziedzinie fizyki medycznej – rafa, na jakie natrafiamy

Paweł Kukołowicz

konsultant krajowy w dziedzinie fizyki medycznej

Znowelizowany program szkolenia specjalizacyjnego w dziedzinie fizyki medycznej jako najważniejszy cel kształcenia określa „przygotowanie specjalistycznej kadry fizyków do pracy w jednostkach ochrony zdrowia, w różnych dziedzinach medycyny”. Wśród kompetencji, jakie powinna uzyskać osoba po ukończeniu szkolenia specjalizacyjnego w dziedzinie fizyki medycznej i uzyskaniu tytułu, wymienione są również prowadzenie zajęć dydaktycznych oraz prac badawczych. Szkolenie powinno zatem pozwolić zarówno na podwyższenie swoich umiejętności praktycznych, jak i teoretycznych. Umiejętne połączenie tych dwóch kompetencji czyni dopiero z fizyka wartościowego specjalistę. Ma to bardzo istotne znaczenie w kontekście tego, że jak jest to m.in. zapisane w programie specjalizacji:

„Kandydat po ukończeniu specjalizacji w dziedzinie fizyki medycznej i otrzymaniu tytułu specjalisty uzyska szczególne kwalifikacje umożliwiające:

- 1) zajmowanie stanowiska kierownika zakładu (pracowni) fizyki medycznej.

Pełnienie funkcji kierownika zakładu fizyki medycznej wymaga od tej osoby nie tylko, aby umiała zorganizować pracę, ale, co jest nie mniej ważne, umiała odpowiedzieć na pytania, rodzące się wątpliwości związane z zakresem prac realizowanych przez kierowaną przez niego jednostkę. Z mojego długiego doświadczenia kierowania zakładem fizyki medycznej wynika, że wielokrotnie stawałem przed koniecznością odpowiedzi na pytania oraz rozwiązywania niestandardowych problemów, z którymi przychodzili zarówno lekarze, jak i fizycy. Oczywiście nie zawsze umiałem od razu na nie odpowiedzieć, ale w ogromnej większości przypadków potrafiłem szybko dotrzeć do informacji, które pozwalały mi, w dialogu z pytającymi, podjąć dobrą decyzję.

Nawiązując do poczynionych uwag na temat samego celu specjalizacji, chciałbym teraz nawiązać do doświadczeń zebranych z uczestniczenia w końcowych egzaminach specjalizacyjnych. Z tych doświadczeń wynika, że najczęściej porażka na egzaminie wynika z nieumiejętności połączenia wiedzy praktycznej i teoretycznej. O ile większość zdających wykazuje się wystarczającą wiedzą teoretyczną, pozwalającą im zdać egzamin teoretyczny, o tyle ponoszą porażkę na etapie egzaminu praktycznego. Szczególną trudność stanowi dla zdających wykonanie stosunkowo prostych obliczeń, interpretacja uzyskanych wyników

i krytyczne spojrzenie na wyniki. Wydaje się, że brak umiejętności łączenia przestrzeni praktyki i teorii wynika z warunków, w jakich realizowana jest codzienna praca. Podstawowym, i często jedynym, narzędziem w naszej pracy jest komputer, który niejako wyznacza zakres możliwych do wykonania czynności i sposób, w jaki możemy je wykonać. Ta uwaga nie odnosi się jedynie do planowania leczenia, w którą zaangażowana jest duża grupa fizyków medycznych. Posłużę się przykładem, aby wyjaśnić, na czym polega ów problem.

Pomiar procentowej dawki głębokiej dla wiązek elektronowych polega na pomiarze jonizacji wykonanej najczęściej komorą płaską w wodzie. Następnie jonizacja jest przeliczana na dawkę. Odbywa się to zwykle automatycznie, czasami (często?) poza świadomością wykonującego pomiary. Tymczasem kryje się za tym piękne uzasadnienie teoretyczne, teoria Bragga-Greya, co ważne, mająca swoje ograniczenia, z których należy sobie zdawać sprawę. Nie miejsce tutaj, aby wyjaśniać istotę sprawy, samą teorię. Ważne jest, aby zawsze korzystając z aplikacji komputerowej zdawać sobie z tego sprawę, znać i rozumieć teorię Bragga-Greya i oczywiście ponadto umieć wykonać obliczenia ręcznie lub co najmniej umieć powiedzieć, na czym te obliczenia polegają.

Chciałbym zwrócić uwagę na jeszcze jeden istotny problem, z jakim przychodzi zmierzyć się młodym fizykom medycznym, którzy słusznie, w rozpoczęciu specjalizacji, widzą szansę na rozwój swoich umiejętności. W wielu sytuacjach fizyk w swojej codziennej pracy ma styczność z bardzo ograniczonym zakresem zagadnień. Gdy pracuje w Zakładzie Medycyny Nuklearnej, to jego działalność jest ograniczona do medycyny nuklearnej, gdy pracuje w zakładzie diagnostyki – analogicznie. Nawet wtedy, gdy zajmuje się radioterapią, to niestety często w zakresie jego obowiązków znajduje się np. tylko planowanie leczenia. To poważnie ogranicza możliwości rozwoju takiej osoby. Oczywiście podnosi swoje umiejętności w jednej wąskiej dziedzinie, stając się w niej rzeczywiście specjalistą. Nie ma jednak zbyt wiele okazji do rozszerzania swoich horyzontów. Jak wszyscy wiemy, wiedza i umiejętności ulatują szybko, gdy nie wykorzystujemy zdobytych umiejętności. Warto jest zadbać, aby szczególnie młodzi fizycy medyczni mieli okazję do podejmowania działań na różnych polach, szczególnie w zakresie dozimetrii promieniowania jonizującego.



Dostrzegając problemy, na jakie natrafiają fizycy medyczni, którzy przystępują do egzaminu, do tego tekstu dołączam kilka zagadnień, z jakimi mogą się oni spotkać na egzaminie praktycznym z fizyki medycznej. Mam nadzieję, że to pomoże w przygotowaniach do tego trudnego wyzwania.

We wszystkich zadaniach pierwszy wymiar pola oznacza wymiar X, drugi Y. Wymiary pól są podane w izocentrum (za wyjątkiem współczynników TAR, gdzie wymiary pól są określone na głębokości, na jakiej określony jest współczynnik TAR). Dane potrzebne do rozwiązania zadań są umieszczone w tabelach 1, 2 i 3.

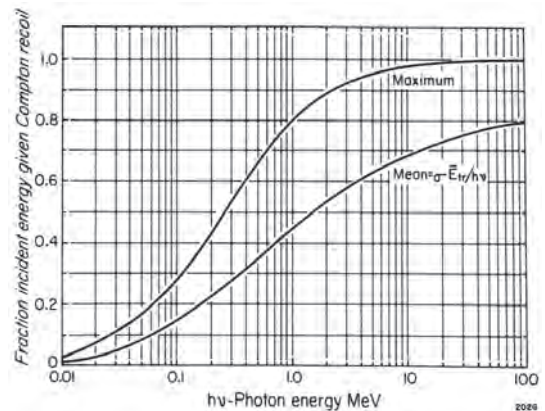
1. Pacjent jest napromieniany dwoma polami przeciwległymi przód tył 8×12 cm. Grubość ciała w osi centralnej wiązki wynosi 18 cm. Izocentrum znajduje się na głębokości 8 cm od przodu. Dawka w izocentrum wynosi 1 Gy z każdego pola. Proszę obliczyć liczbę jednostek monitorowych dla każdego pola.
2. Wykonano pomiar mocy dawki w powietrzu i w wodzie dla pola 8×8 cm. Pomiar w wodzie wykonano na głębokości 20 cm, gdy SSD = 90 cm. Moc dawki w wodzie wynosiła 76,6 cGy/min, moc dawki w powietrzu w punkcie oddalonym od źródła promieniowania o 100 cm wynosiła 124,2 cGy/min. Proszę wyznaczyć współczynnik Tissue Air Ratio dla pola kwadratowego o boku 8,8 cm na głębokości 20 cm.
3. Proszę obliczyć procentową dawkę głęboką dla pola 8×8 cm na głębokości 6 cm, gdy SSD = 100 cm.
4. Pacjent jest napromieniany jednym polem o rozmiarze 5 cm x 20 cm. Na głębokości 10 cm, w izocentrum podawana jest dawka 2,0 Gy. Środek rdzenia kręgowego znajduje się na głębokości 15 cm. Jaką dawkę otrzymuje środek rdzenia? Ile wynosi maksymalna dawka podawana pacjentowi?
5. Moc dawki na głębokości 10 cm w wodzie dla pola 10×10 cm, gdy SSD = 90 cm wynosi 1 cGy/MU. U pacjenta leczonego jednym polem na głębokości 10 cm dawka zlecona 2 Gy. Popełniono błąd i napromieniono pacjenta z odległości 100 cm. Proszę obliczyć dawkę, jaką otrzymał pacjent.
6. Planowano podać dawkę całkowitą 68 Gy w dawkach frakcyjnych 2 Gy. W objętości wysokich dawek znajdował się rdzeń kręgowy, który otrzymywał 75% dawki zleconej. Błąd w obliczeniach liczby jednostek monitorowych spowodował, że w 5 sesjach terapeutycznych dawka frakcyjna wynosiła 2,8 Gy. Proszę przeanalizować zaistniałą sytuację i zaproponować dalszy przebieg leczenia.
7. Proszę obliczyć współczynnik poprawkowy na niejednorodność dla punktu Q z rysunku 1. Proszę odnieść się do otrzymanego wyniku. Czy obliczona wartość zaniża, zawyża wartość współczynnika poprawkowego? Dlaczego?
8. W próżni umieszczono punktowe źródło fotonów. Emituje ono izotropowo 10^{12} fotonów na sekundę. Proszę obliczyć, po jakim czasie do obszaru czynnego komory cylindrycznej o długości 1 cm i promieniu wewnętrznym 0,5 cm wpadnie 10^6 fotonów. Oś komory jest ustawiona prostopadle do kierunku emisji fotonów.

9. Na rysunku pokazano zależność maksymalnej i średniej energii elektronów, jaką uzyskują w oddziaływaniu efektu Comptona. Proszę oszacować osłabienie fotonów o energii 6 MeV, które oddziaływały comptonowsko (dla średniej energii fotonów) przez płytkę aluminiową o grubości 1 cm. Gęstość aluminium wynosi $2,7 \text{ g/cm}^3$.

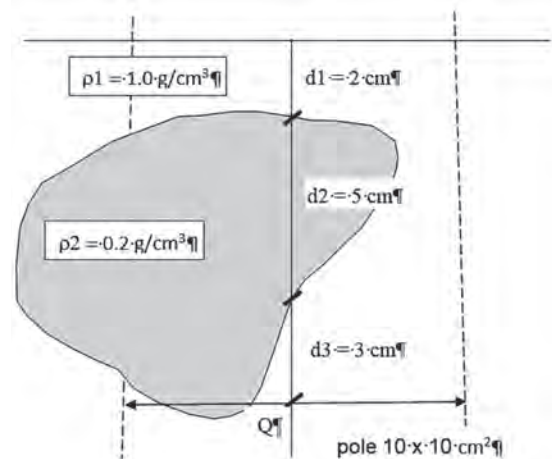
Masowy współczynnik osłabienia dla aluminium

Energia (MeV)	μ/ρ (cm^2/g)
3	0,0354
4	0,0311
5	0,0284

Energia maksymalna i średnia, jaką uzyskują elektrony w oddziaływaniu comptonowskim.



10. W czasie wykonywania testów systemu planowania leczenia zmierzono kilkakrotnie sygnał dla 50 MU dla pola 5×20 cm na głębokości 10 cm i w maksimum. Uzyskano wyniki (wartość średnia) 10 cm – 31,7 nC; 0,2 oraz max. 49,8 nC. Odchylenie standardowe wynosiło 0,3 nC. W pomiarze błąd systematyczny był do zaniedbania. Czy można uznać, że procentowa dawka głęboka jest zgodna z wprowadzoną do systemu (wprowadzone dane do systemu w tabeli 2)?



Rys. 1.

Źródło: H.E. Johns, J.R. Cunningham: *The Physics of Radiology, Fourth Edition, 1983.*



Tabela 1 Moc dawki dla wiązki 6 MV, SSD = 90 cm, głębokość 10 cm

X	Y										
	2	3	4	5	6	8	10	12	15	20	
2	0,782	0,803	0,814	0,821	0,824	0,829	0,833	0,836	0,839	0,842	
3	0,801	0,828	0,843	0,853	0,859	0,87	0,876	0,882	0,886	0,891	
4	0,813	0,846	0,861	0,875	0,883	0,895	0,903	0,91	0,916	0,923	
5	0,822	0,857	0,876	0,891	0,904	0,92	0,931	0,937	0,944	0,95	
6	0,829	0,866	0,889	0,904	0,919	0,937	0,95	0,957	0,965	0,973	
8	0,838	0,88	0,905	0,924	0,941	0,964	0,979	0,99	0,999	1,008	
10	0,844	0,889	0,917	0,938	0,956	0,982	1	1,012	1,023	1,036	
12	0,848	0,895	0,924	0,948	0,966	0,996	1,016	1,028	1,042	1,056	
15	0,852	0,901	0,933	0,957	0,979	1,01	1,031	1,047	1,062	1,078	
20	0,858	0,909	0,94	0,967	0,99	1,023	1,048	1,064	1,083	1,102	

Źródło: Materiał własny.

Tabela 2 Dawka głęboka dla wiązki 6 MV, SSD = 90 cm. W celu uzyskania procentowej dawki głębokiej należy wartości dawek głębokich pomnożyć przez 100%

głębokość	bok pola kwadratowego										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	20
2	0,978	0,982	0,983	0,986	0,988	0,99	0,989	0,986	0,987	0,987	0,985
3	0,92	0,929	0,932	0,936	0,941	0,945	0,945	0,943	0,945	0,947	0,947
4	0,862	0,872	0,879	0,886	0,891	0,897	0,898	0,9	0,902	0,903	0,907
5	0,809	0,82	0,827	0,836	0,842	0,848	0,85	0,854	0,859	0,863	0,868
6	0,755	0,768	0,778	0,785	0,794	0,803	0,806	0,811	0,818	0,822	0,829
7	0,708	0,721	0,732	0,739	0,748	0,758	0,761	0,768	0,775	0,782	0,791
8	0,665	0,675	0,686	0,695	0,705	0,716	0,72	0,728	0,737	0,745	0,754
9	0,62	0,634	0,643	0,654	0,665	0,675	0,68	0,69	0,697	0,708	0,719
10	0,582	0,593	0,604	0,616	0,626	0,636	0,641	0,651	0,66	0,671	0,683
11	0,545	0,556	0,568	0,578	0,588	0,597	0,603	0,616	0,625	0,637	0,652
12	0,511	0,522	0,534	0,543	0,554	0,565	0,571	0,582	0,592	0,605	0,62
13	0,479	0,489	0,501	0,51	0,521	0,531	0,537	0,55	0,562	0,574	0,588
14	0,449	0,459	0,47	0,48	0,491	0,501	0,507	0,519	0,529	0,545	0,559
15	0,422	0,433	0,441	0,452	0,462	0,472	0,478	0,491	0,502	0,515	0,53
16	0,398	0,406	0,415	0,424	0,433	0,443	0,449	0,463	0,475	0,488	0,504
17	0,373	0,382	0,39	0,398	0,408	0,418	0,424	0,437	0,449	0,462	0,479
18	0,35	0,358	0,366	0,376	0,386	0,395	0,401	0,413	0,424	0,439	0,454
19	0,329	0,337	0,346	0,354	0,363	0,372	0,378	0,389	0,4	0,414	0,431
20	0,309	0,317	0,326	0,333	0,342	0,351	0,356	0,368	0,381	0,392	0,41

Źródło: Materiał własny.

Tabela 3 Współczynniki TAR dla wiązki 6 MV. BSF – back scatter factor

głębokość (cm)	0	bok pola kwadratowego (cm)																	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	
BSF	1	1,032	1,041	1,049	1,055	1,060	1,064	1,068	1,070	1,073	1,075	1,077	1,079	1,081	1,082	1,083	1,086	1,087	
2	0,983	1,020	1,033	1,043	1,049	1,053	1,056	1,060	1,063	1,065	1,067	1,068	1,070	1,071	1,072	1,073	1,074	1,076	
3	0,940	0,980	0,998	1,011	1,019	1,025	1,029	1,034	1,039	1,042	1,044	1,046	1,048	1,049	1,051	1,052	1,054	1,056	
4	0,861	0,898	0,920	0,938	0,948	0,958	0,965	0,972	0,978	0,983	0,987	0,990	0,993	0,996	0,999	1,001	1,006	1,010	
5	0,824	0,859	0,880	0,900	0,912	0,923	0,932	0,940	0,947	0,952	0,956	0,960	0,964	0,967	0,971	0,974	0,980	0,985	
6	0,789	0,820	0,842	0,862	0,875	0,887	0,897	0,906	0,914	0,921	0,926	0,930	0,934	0,938	0,942	0,945	0,952	0,958	
7	0,755	0,783	0,805	0,824	0,838	0,852	0,864	0,875	0,883	0,890	0,895	0,899	0,904	0,908	0,913	0,917	0,925	0,932	
8	0,722	0,747	0,770	0,791	0,805	0,819	0,831	0,842	0,852	0,860	0,865	0,871	0,875	0,880	0,885	0,889	0,898	0,906	
9	0,691	0,714	0,736	0,756	0,771	0,786	0,798	0,809	0,818	0,827	0,833	0,839	0,844	0,850	0,855	0,860	0,870	0,880	
10	0,661	0,682	0,702	0,724	0,738	0,751	0,764	0,777	0,787	0,798	0,804	0,810	0,815	0,821	0,826	0,832	0,842	0,852	
11	0,633	0,651	0,669	0,692	0,707	0,722	0,734	0,746	0,757	0,767	0,774	0,780	0,786	0,792	0,798	0,803	0,814	0,825	
12	0,606	0,623	0,641	0,661	0,677	0,691	0,708	0,715	0,726	0,737	0,745	0,751	0,757	0,763	0,769	0,775	0,787	0,799	
13	0,579	0,597	0,615	0,632	0,647	0,661	0,675	0,687	0,699	0,709	0,717	0,723	0,730	0,736	0,742	0,748	0,760	0,771	
14	0,555	0,571	0,587	0,605	0,620	0,633	0,646	0,659	0,671	0,681	0,689	0,696	0,703	0,709	0,715	0,722	0,734	0,746	
15	0,531	0,545	0,559	0,578	0,593	0,606	0,619	0,631	0,643	0,653	0,662	0,669	0,675	0,682	0,688	0,695	0,707	0,720	
16	0,508	0,521	0,535	0,552	0,567	0,581	0,594	0,606	0,618	0,629	0,638	0,645	0,651	0,658	0,664	0,670	0,682	0,694	
17	0,486	0,499	0,512	0,527	0,542	0,556	0,569	0,580	0,591	0,601	0,611	0,618	0,625	0,631	0,638	0,644	0,657	0,670	
18	0,465	0,478	0,490	0,505	0,519	0,532	0,544	0,556	0,568	0,577	0,587	0,594	0,600	0,607	0,614	0,620	0,633	0,646	
19	0,445	0,457	0,469	0,484	0,497	0,509	0,521	0,533	0,544	0,554	0,564	0,571	0,578	0,584	0,591	0,597	0,610	0,622	

Źródło: Materiał własny.